

В.С. Пахомов

КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

СПРАВОЧНИК

в двух книгах

Книга 2

Москва, Наука и технологии, 2013

УДК 620.193: 66

ББК 34.66

П21

Пахомов В.С.

П21 Коррозия металлов и сплавов. Справочник в двух книгах.
Книга 2 — М.: Наука и технологии, 2013. — 544 с.; ил.
ISBN 978-5-93952-041-6

В справочнике обобщены результаты использования конструкционных материалов при разработке и ремонте аппаратуры, эксплуатируемой в агрессивных средах различных производств. Приводятся данные о сортаменте и коррозионном поведении металлических материалов в наиболее распространенных агрессивных средах, даются рекомендации по их выбору. Справочник содержит большое количество таблиц и графиков с линиями постоянной скорости коррозии, позволяющих определить допустимую концентрацию и температуру среды, при которых сохраняется выбранная скорость коррозии. Для большинства агрессивных сред в компактной графической форме представлены данные о конструкционных материалах, обладающих достаточной коррозионной стойкостью в заданных условиях.

Для инженерно-технических работников химической, нефтехимической и смежных отраслей промышленности, занимающихся проектированием, изготовлением, ремонтом и эксплуатацией технологического оборудования в агрессивных средах. Справочник полезен студентам старших курсов инженерных специальностей, занимающимся вопросами разработки аппаратуры в коррозионно-стойком исполнении.

УДК 620.193: 66

ББК 34.66

ISBN 978-5-93952-041-6

© Пахомов В.С., 2013

© ООО «Наука и технологии», 2013

РАЗДЕЛ III
КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ
МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ
В АГРЕССИВНЫХ СРЕДАХ

При выборе конструкционных или защитных материалов необходимо принимать во внимание их состав, свойства (прежде всего коррозионную стойкость, технологичность, прочностные характеристики) и экономичность.

Пригодность конструкционных материалов для оборудования в коррозионно-стойком исполнении, в первую очередь, зависит от состава агрессивной среды и условий его эксплуатации. Из внешних факторов в большинстве случаев наибольшее влияние на коррозию оказывают температурные и гидродинамические условия работы оборудования.

Состав и свойства агрессивной среды во многом определяют коррозионное поведение материалов. При этом нужно учитывать электропроводность и рН среды, окислительно-восстановительные свойства среды и характер образующихся продуктов коррозии и др., а также изменение свойств среды с изменением концентрации. Реальные технологические среды, как правило, являются многокомпонентными, поэтому необходимо обратить особое внимание на возможное воздействие (пассивирующее, депассивирующее, ингибирующее и т.п.) отдельных компонентов среды на металл. Кроме того, в средах часто содержатся различные примеси, которые могут оказать заметное влияние на коррозионное поведение металлов и сплавов. Для большинства представленных в настоящем справочнике агрессивных сред дается краткая характеристика их коррозионной активности, а в ряде случаев приводятся причины, которыми она обусловлена.

В справочной литературе обычно приводят сведения о коррозионной стойкости материалов в однокомпонентных средах при одной или нескольких температурах. Это не означает, что подобные сведения не могут быть использованы при выборе материалов для изготовления оборудования. В случае многокомпонентных сред для определения степени агрессивности технологической среды важно выявить компоненты, вызывающие ее коррозионную активность по отношению к рассматриваемым материалам. Такой подход позволяет, в первом приближении, по допустимой скорости коррозии в наиболее агрессивных составляющих технологической среды отобрать круг материалов, пригодных для изготовления или ремонта данного оборудования. Реальную скорость коррозии можно установить только по результатам испытаний в конкретных условиях эксплуатации. Поэтому для практического применения любые справочные сведения о коррозионном поведении материалов носят ориентировочный характер, даже если скорость коррозии приведена с высокой точностью. Кроме того, в большинстве практических случаев нет необходимости использовать точное значение скорости коррозии материала. Для решения инженерных задач обычно достаточно знать, что она не превышает некоторую допустимую величину.

С учетом этого в тех случаях, для которых имеются необходимые данные, сделана попытка представить сведения о скорости коррозии металлов и сплавов в наиболее компактной и удобной для практического использования форме. Такой формой являются диаграммы в координатах «концентрация—температура» с линией температуры кипения растворов различной концентрации при атмосферном давлении. Область диаграммы ниже этой линии разбита на отдельные участки, для которых указаны различные материалы, обладающие достаточной коррозионной стойкостью в выбранных условиях (за допус-

тиму скорость коррозии принята величина 0,1—0,2 мм/год). В ряде случаев подобные диаграммы содержат линии постоянной скорости коррозии (*изокорроды*). Условия, соответствующие сочетанию определенной концентрации среды и температуры, в области ниже конкретной изокорроды вызывают коррозию со скоростью, не превышающей указанную на изокорроде. Следует подчеркнуть, что приведенные в справочнике данные дают лишь представление о допустимых пределах изменения концентрации и температуры среды, при которых сохраняется выбранная скорость коррозии. Граничные ситуации всегда следует проверять коррозионными испытаниями, проведенными в реальных условиях эксплуатации материала.

Для оборудования, работающего в достаточно агрессивных средах (прежде всего в средах химической промышленности), в зависимости от его назначения можно ориентироваться на следующие допустимые скорости коррозии [1]:

Оборудование	Скорость коррозии, мм/год
Воздуховоды	0,05
Любые аппараты и машины	0,1
Любые аппараты и машины из нелегированных черных металлов	0,2
Менее ценная аппаратура несложной конструкции (емкости, мерники, отстойники) и газоходы	0,3
Материальные трубопроводы	0,5
Сменные детали (мешалки, детали насосов, вентиляторы, крышки аппаратов)	1,5
Те же детали из чугуна	3,0
Часто сменяемые детали (барботеры, сифоны и т.п.)	6,0

Применительно к некоторым средам (азотная кислота, серная кислота и др.) приведены предельные условия по концентрации и температуре, при которых можно применять те или иные конструкционные материалы.

Диаграммы дают сведения о вероятных скоростях коррозии материалов, и их нельзя рассматривать в качестве строгих данных. Кроме того, представленные на диаграммах данные не учитывают действие других факторов (движения раствора, наличия примесей в среде и т.п.). Поэтому для отобранных перспективных материалов всегда целесообразно провести дополнительные эксплуатационные испытания в промышленных условиях. Окончательный выбор материала проводят с учетом не только его коррозионной стойкости, прочностных, технологических и других параметров, но также технико-экономической эффективности.

Исходя из цен на готовые аппараты, все металлические материалы можно разделить на три класса [1]:

- I класс (высокая стоимость) Олово, серебро, высоконикелевые сплавы, титан
- II класс (средняя стоимость) Нержавеющие стали, никель, медь, бронзы, алюминий, монель-металл
- III класс (низкая стоимость) Сталь углеродистая, чугун, свинец, цинк

В случае общей равномерной коррозии оценка пригодности металлов и сплавов с учетом скорости коррозии и стоимости приведена в таблице. При локальной (питтинговой) коррозии материалы II и III классов не применяют.

Пригодность металлов, исходя из соотношения скорость коррозии—цена [1]

Оценка пригодности	Скорость коррозии, мм/год		
	I класс	II класс	III класс
Пригодны	0,00—0,08	0,00—0,13	0,00—0,23
Условно пригодны	0,08—0,15	0,13—0,30	0,23—0,80
Пригодны для кратковременного использования	0,15—0,25	0,30—0,50	0,80—1,4
Непригодны	>0,25	>0,5	>1,4

Выбирая конструкционный материал, необходимо также учитывать размеры и сложность оборудования. Если принять стоимость оборудования из углеродистой стали за единицу, то стоимость такого же оборудования из других материалов будет характеризоваться следующими повышающими коэффициентами [1]:

Оборудование	Хромоникелевая сталь	Алюминий
Емкости	4,0	2,4
Теплообменники	2,5	1,2 (1,5*)
Трубчатые испарители	3,5	—
Центрифуги	1,5	—
Вращающиеся вакуум-фильтры	2,5	—
Циклоны	2,5	1,7
Воздуходувки	3,5	2,0

*Для меди, бронзы и латуни.

Применение дорогостоящих материалов (титана, высоконикелевых сплавов, а в ряде случаев благородных металлов), вызванное отсутствием других металлов, обладающих нужной коррозионной стойкостью, приводит к существенным первоначальным затратам. Однако это обычно сопровождается значительным увеличением срока службы оборудования, и выбор таких материалов в конечном итоге может быть экономически оправданным.

Ниже приведены данные по коррозионному поведению различных металлических материалов в ряде агрессивных сред. Для сокращения библиографического списка в ссылках на приведенные данные указаны не первоисточники, а публикации, из которых они взяты.

Часть 11. Коррозионная стойкость металлов и сплавов в неорганических соединениях

ГЛАВА 33. МИНЕРАЛЬНЫЕ КИСЛОТЫ

33.1. Азотистая кислота — HNO_2

Азотистая кислота относится к слабым кислотам (константа ионизации $K = 4 \cdot 10^{-4}$ при 18°C) и существует только в виде разбавленных растворов. Растворы азотистой кислоты обладают окислительными свойствами, что способствует науглерожению и сохранению пассивного состояния металлов и обеспечивает большинству нержавеющей сталей высокую коррозионную стойкость.

Металлы и сплавы в азотистой кислоте обладают следующей стойкостью.

Углеродистые и низколегированные стали (Ст3, 09Г2С, 16Г2АФ, 15ХСНД и др.) в растворах азотистой кислоты разрушаются с высокой скоростью ($>1,3$ мм/год) даже при нормальной температуре [2, 3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 стойки в любых растворах азотистой кислоты до 100°C (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13 при температуре 20°C в 5%-ной кислоте нестойки, стали типа Х17—Х25 — стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [2].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т при обычной температуре в разбавленной (5%) азотистой кислоте стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [2, 4]. По данным работы [3], в таких условиях стали типа Х18Н10Т нестойки (скорость коррозии $>1,3$ мм/год), стали типа Х17Н13М2Т — удовлетворительно стойки до 100°C (скорость коррозии $0,05$ — $0,5$ мм/год).

Аустенитная сталь 10Х14Г14Н3 в 5%-ной кислоте при 20°C нестойка [2].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в растворах азотистой кислоты при обычной температуре отличаются высокой стойкостью (скорость коррозии $<0,01$ мм/год) [2]. По данным работы [3], в 5%-ной кислоте при 100°C сплавы обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии $<0,5$ мм/год).

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл при нормальной температуре стойки в очень разбавленных ($<0,5\%$) растворах азотистой кислоты [5], в более концентрированных растворах нестойки (скорость коррозии $>1,3$ мм/год) [3].

Алюминий в 5%-ной азотистой кислоте при комнатной температуре стоек [4], согласно работе [3] корродирует со скоростью $0,5$ — $1,3$ мм/год.

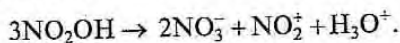
Другие металлы. Медь, латунь, бронза, свинец нестойки в растворах азотистой кислоты при обычной температуре [3].

33.2. Азотная кислота — HNO_3

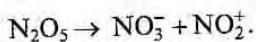
Азотная кислота является одной из наиболее распространенных сред, обладающих ярко выраженными окислительными свойствами. Это сильная кислота (константа ионизации $K = 43,6$ при 25°C). Азеотропный раствор концентрацией 68,4% кипит при максимальной для всех растворов температуре $121,9^\circ\text{C}$. В условиях анодной поляризации кислота достаточно трудно разлагается (потенциал разложения 1 н. раствора на платине равен 1,69 В).

Водные растворы кислоты образуют сложные системы, состав и свойства которых зависят от концентрации растворов [6]. В разбавленных растворах азотная кислота находится в состоянии ациформы $\text{H}[\text{NO}_3]$ и нормально диссоциирует на катионы водорода H^+ (с последующим образованием ионов гидроксония H_3O^+) и анионы NO_3^- . В 4%-ном растворе степень диссоциации кислоты $\alpha = 0,9$. В водных растворах средних концентраций азотная кислота частично находится в виде димера $(\text{HNO}_3)_2$. При концентрациях 40—80% в растворах присутствуют недиссоциированные молекулы азотной кислоты разной степени гидратации ($\text{HNO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ и $\text{HNO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Считается, что в растворах азотной кислоты концентрацией выше 85% нет свободной воды.

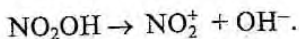
Начиная с 60%-ной концентрации значительно уменьшается степень диссоциации азотной кислоты в связи с переходом полной и димерной форм в псевдокислоту, по строению аналогичную эфирам (NO_2OH). Появляющаяся при концентрациях кислоты выше 40% эфирная форма в более концентрированных (>60%) растворах может подвергаться аутоионизации с образованием ионов гидроксония H_3O^+ , нитрония NO_2^+ и нитрата NO_3^- :



При концентрациях кислоты выше 93% начинает образовываться пентаоксид диазота N_2O_5 , который при концентрациях, близких к безводной кислоте (более 95%), диссоциирует на нитрат-ионы NO_3^- и ионы нитрония NO_2^+ :



С учетом изложенного электрохимические процессы в растворах азотной кислоты отличаются особой сложностью, и до настоящего времени механизм восстановления ее в катодных процессах точно не установлен. В концентрированной азотной кислоте высокопотенциальный катодный процесс поддерживают гомеополярные молекулы азотной кислоты, распадающиеся в электрическом поле катода на ионы нитрония и гидроксида:



При этом роль основного окислителя играют ионы нитрония, в результате восстановления которых образуются оксиды азота. Катионы водорода не могут вносить существенный вклад в высокопотенциальный катодный процесс, так как этому препятствуют гидроксид-ионы, образующиеся при распаде молекул псевдокислоты, и большая энергия активации процесса их разряда. Однако при уменьшении концентрации азотной кислоты роль катионов водорода в катодном процессе возрастает и при концентрации кислоты менее 17% становится

решающей. Таким образом, повышение концентрации азотной кислоты от 4 до 40% сопровождается переходом от преобладающего участия в катодном процессе катионов водорода к преобладающему участию в нем молекул кислоты.

При концентрациях азотной кислоты более 40% потенциал катодного процесса поддерживается восстановлением гидратированных молекул азотной кислоты, которые в прикатодной зоне превращаются в менее гидратированные и негидратированные гомеополлярные молекулы, взаимодействующие с электронами непосредственно на катоде. Увеличение количества гидратированных молекул азотной кислоты и уменьшение степени гидратации их с ростом концентрации кислоты приводит к повышению скорости катодного процесса. Можно полагать, что восстановление гидратированных молекул азотной кислоты способствует переводу металла в пассивное состояние, а восстановление негидратированных (и, возможно, минимально гидратированных) молекул — поддерживает его.

В растворах с концентрацией азотной кислоты выше 93% начинает образовываться пентаоксид диазота, который, диссоциируя, увеличивает количество ионов нитрония NO_2^+ . Последние, восстанавливаясь, могут смещать потенциал металла в транспассивную область, что вызывает интенсивный процесс коррозии. Роль азотной кислоты как сильного окислителя практически сводится к поддержанию высокоэффективного катодного процесса за счет восстановления ионов нитрония.

Коррозия металлов с отрицательными потенциалами (магний, цинк и др.) в азотной кислоте протекает с восстановлением катионов водорода, однако образующиеся атомы водорода не соединяются в молекулы, а реагируют с азотной кислотой, образуя соли аммония или гидроксилamina. Это способствует установлению более высокого потенциала по сравнению с процессом, когда конечным продуктом деполяризации является молекулярный водород. При разбавлении азотной кислоты ее окислительные свойства уменьшаются в большей степени, чем кислотные, и продукты деполяризации могут содержать газообразный водород.

При взаимодействии с азотной кислотой металлов с положительными потенциалами (серебро, медь и др.) наблюдается ускорение процесса коррозии ее продуктами, характерное для автокаталитических реакций. В этом случае катодный процесс начинается с восстановления катионов водорода, а возникающий атомарный водород реагирует с азотной кислотой с образованием молекул NO_2 и затем азотистой кислоты. Молекулы азотистой кислоты, реагируя с азотной кислотой, образуют две молекулы NO_2 , что в конечном итоге приводит к лавинообразной реакции, протекающей с большой скоростью.

Железо занимает промежуточное положение между указанными группами металлов, и при действии на него азотной кислоты реагирует с образованием как аммонийных солей, так и различных оксидов азота.

Таким образом, коррозионное поведение металлов в растворах азотной кислоты находится в тесной связи с ионно-молекулярным составом этих растворов.

На рис. 33.1 ориентировочно показаны области применения металлических материалов в зависимости от температуры и концентрации азотной кислоты, включая нитроолеум.



Рис. 33.1. Области применения металлических материалов в азотной кислоте:

1 — стали типа X17—X28, X18H10T, X17H13M2T; стали 08X22H6T, 08X21H6M2T; сплав ХН65МВ; титан BT1-0; цирконий; 2 — кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17; стали типа X25, X28, X18H10T, X17H13M2T; стали 08X22H6T, 08X21H6M2T, 20X23H13, 20X23H18; титан BT1-0; цирконий; тантал; платина; 3 — кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17; стали типа X17 (до 60 °С), X25, X28, X18H10T, X17H13M2T; стали 08X18Г8Н2Т, 08X22H6T (до 60%, 60 °С); титан BT1-0; цирконий; тантал; платина; 4 — кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17; стали 15X28, 08X22H6T, 12X18H9T, 08X18H10T, 08X18H12Б, 03X18H11, 10X17H13M2T, 10X17H13M3T (до 50%, $t_{\text{кпл}}$); 08X18H10T, 08X18H12Б (до 60%, 80 °С), 03X18H11 (до 65%, 100 °С), 20X23H13, 20X23H18; титан BT1-0; тантал; платина; 5 — кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17; стали 15X28, 08X22H6T, 08X18H10T, 08X18H12Б, 03X18H11, 10X17H13M2T, 10X17H13M3T, 20X23H13, 20X23H18; алюминий; цирконий; 6 — кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17; тантал; платина; золото; 7 — кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17; алюминий А0, А85; алюминиевые сплавы АМц, АД33, АД35, силумины АК, АЛ2, АЛ9; тантал; платина; золото; 8 — кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17; тантал; платина; золото

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали при нормальной температуре в растворах азотной кислоты концентрацией до 60% нестойки. Увеличение концентрации кислоты выше 70—80% вызывает пассивацию сталей, и скорость коррозии снижается (0,1 мм/год в 94%-ной HNO₃), дальнейшее повышение концентрации кислоты приводит к резкому увеличению скорости коррозии (2 мм/год в 97%-ной кислоте) [4, 7]. Такое же ускоряющее влияние на коррозию углеродистых сталей оказывает даже незначительное повышение температуры кислоты.

Серые чугуны подвергаются интенсивному разрушению в растворах азотной кислоты, причем скорость коррозии их значительно больше, чем скорость коррозии углеродистых сталей [3, 4].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в растворах азотной кислоты концентрацией до 35—40% (особенно при повышенных температурах) корродируют со скоростью 0,5—1,3 мм/год [3]. При концентрации кислоты выше 50—60% такие чугуны стойки до температуры кипения [3, 4, 8].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в любых растворах азотной кислоты при обычной температуре нестойки (скорость коррозии >1—3 мм/год) [3, 4].

Хромистые чугуны ЧХ28, ЧХ32 в растворах азотной кислоты концентрацией до 40—45% стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,5 мм/год) [9].

Таким образом, при повышенной температуре высококремнистые чугуны обладают хорошей стойкостью в более концентрированных растворах азотной

кислоты, а высокохромистые чугуны — в разбавленных растворах (рис. 33.2), что позволяет подобрать коррозионно-стойкий материал для изготовления литых изделий, эксплуатируемых в любых азотнокислых растворах.

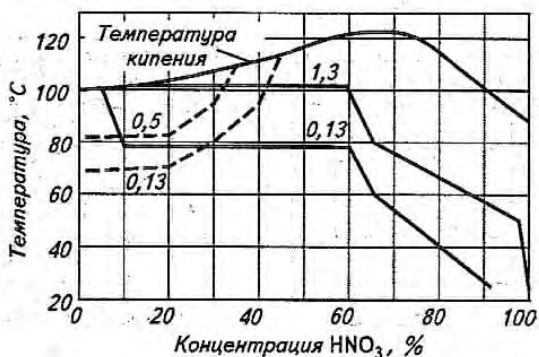


Рис. 33.2. Линии постоянной скорости коррозии (мм/год) чугунов ЧС15 (----) и ЧХ28 (—) в азотной кислоте [8, 10]

Высоколегированные стали. Хромистые стали в зависимости от содержания хрома существенно различаются по коррозионной стойкости в растворах азотной кислоты (рис. 33.3). Стали типа Х13 сохраняют достаточную стойкость в 20—40%-ных растворах азотной кислоты при температуре до 80 °С (рис. 33.4, а). С увеличением температуры скорость коррозии сталей значительно возрастает и при температуре кипения в 7—20%-ной кислоте превышает 1 мм/год [4, 7]. Большое количество углерода в сталях с 13% хрома сужает область условий применимости сталей в азотной кислоте. Такие стали (30Х13, 40Х13) стойки (скорость коррозии < 0,1 мм/год) в растворах концентрацией 10—30% при температуре не выше 60 °С (рис. 33.4, б).

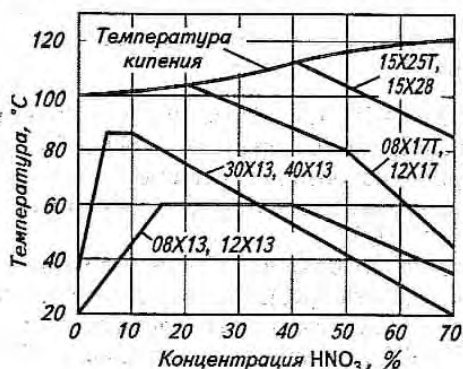


Рис. 33.3. Линии постоянной скорости коррозии (0,1 мм/год) хромистых нержавеющих сталей в азотной кислоте

Стали типа Х17 сохраняют стойкость в растворах азотной кислоты концентрацией менее 60—70% до температуры 70—80 °С. При температуре кипения

стали можно применять в растворах концентрацией до 25% (рис. 33.5, а), в более концентрированных (50%) растворах скорость коррозии достигает 0,3—0,6 мм/год. В концентрированной (90%) кислоте такие стали стойки лишь при нормальной температуре [12].

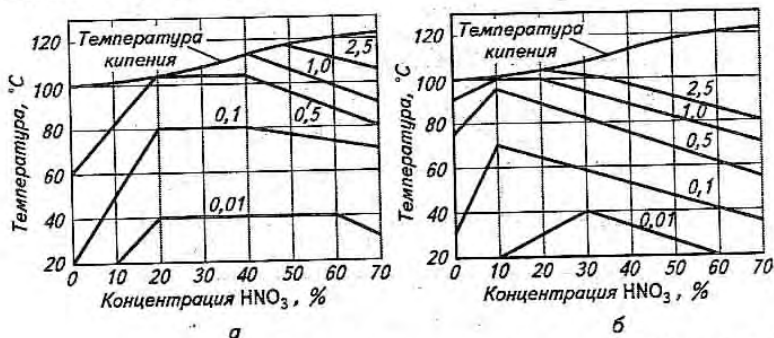


Рис. 33.4. Линии постоянной скорости коррозии (мм/год) сталей 08X13 (а) и 40X13 (б) в азотной кислоте [7]

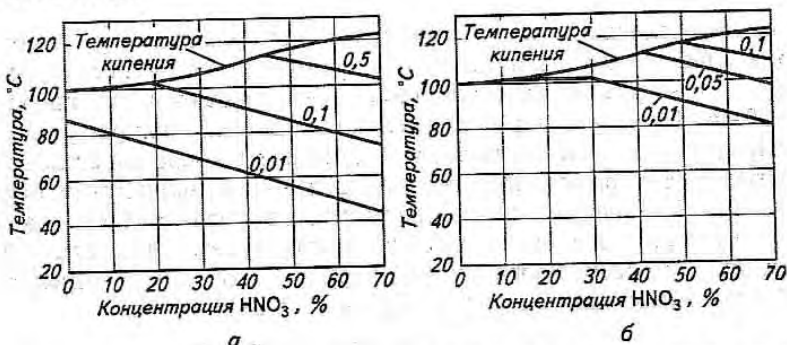


Рис. 33.5. Линии постоянной скорости коррозии (мм/год) хромистых сталей типа X17 (а) и X25 (б) в азотной кислоте [11]

Хромистые стали типа X25, X28. обладают высокой стойкостью в кипящих растворах азотной кислоты концентрацией до 40—45% (рис. 33.5, б), в 50—56%-ной кислоте скорость коррозии достигает 0,3 мм/год. В более концентрированных (до 70%) растворах стали остаются стойкими до 80 °С, при концентрации 80—95% — до 50 °С [12].

Хромоникелевые стали, содержащие 17—19% хрома и 9—11% никеля, стойки в растворах азотной кислоты средних концентраций не только при температуре кипения, но и при более высоких температурах (при повышенном давлении). Стали типа X18N10T в кислоте концентрацией до 70% при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3], при температуре кипения — со скоростью менее 1 мм/год [4]. В концентрированных (>80—90%) растворах такие стали в значительной степени теряют коррозионную стойкость (рис. 33.6). В 90%-ной кислоте при 75 °С скорость коррозии сталей 0,5—1,3 мм/год [3].

В концентрированных (85—98%) растворах азотной кислоты можно использовать аустенитные стали 02X8H22C6 и 015X14H19C6Б. Сталь 02X8H22C6 предназначена для эксплуатации в кислоте концентрацией $\geq 80\%$ при температуре до 80°C , сталь 015X14H19C6Б — при концентрации кислоты $\geq 85\%$ и температуре до 110°C [12].

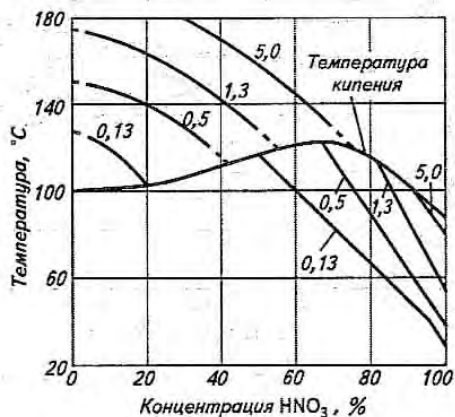


Рис. 33.6. Линии постоянной скорости коррозии (мм/год) сталей типа X18H10T в азотной кислоте [8]

Используя нержавеющие стали для изготовления сварного оборудования, работающего в азотной кислоте, необходимо учитывать возможность возникновения межкристаллитной и ножевой коррозии. Для предотвращения такого вида разрушения уменьшают содержание углерода в сталях или легируют их стабилизирующими элементами (титан, ниобий). При этом стали, содержащие ниобий, предпочтительнее сталей с титаном. В случаях возможного возникновения межкристаллитной коррозии рекомендуется применять хромоникелевые стали со сверхнизким содержанием углерода (03X18H11, 02X18H11), которые практически не подвержены межкристаллитной коррозии в азотно-кислых средах и сохраняют высокую стойкость к общей коррозии в широком диапазоне условий (рис. 33.7).



Рис. 33.7. Линии постоянной скорости коррозии (0,1 мм/год) хромоникелевых сталей 304 (типа 08X18H10T), 304L (типа 03X18H11) [13] и 2RE69 (02X25H22AM2) [данные Sandvik Steel] в азотной кислоте

Хромоникелевые стали типа X17H13M2T, дополнительно легированные молибденом, несколько менее стойки к воздействию азотной кислоты (рис. 33.8) и к тому же более дорогие, поэтому такие стали обычно не предназначены для эксплуатации в азотнокислых средах.

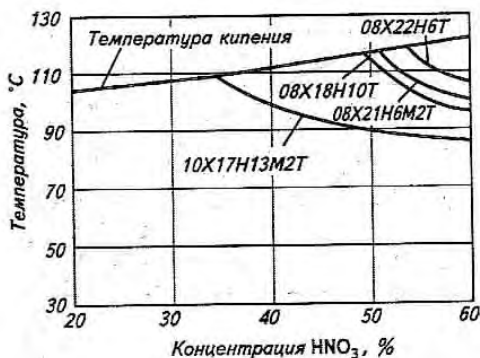


Рис. 33.8. Линии постоянной скорости коррозии (0,1 мм/год) хромоникелевых сталей в азотной кислоте [14]

Двухфазные аустенитно-ферритные стали с пониженным количеством никеля (08X22H6T, 03X23H6, 08X21H6M2T, 03X22H6M2 и др.) по коррозионной стойкости близки к аустенитным хромоникелевым сталям соответственно без молибдена и с молибденом (рис. 33.8) и являются их полноценными заменителями для использования в азотнокислых средах. Скорость коррозии стали 08X21H6M2T в 80%-ной кислоте при 65 °С и стали 03X23H6 в 56%-ной кислоте при температуре кипения не превышает 0,1 мм/год [15, 16]. С повышением температуры и концентрации кислоты увеличивается возможность возникновения межкристаллитной и ножевой коррозии сталей (рис. 33.9).

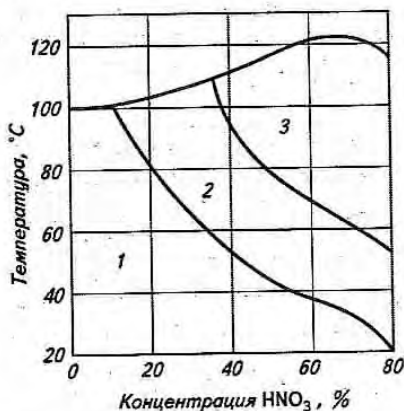


Рис. 33.9. Коррозия стали 08X22H6T в азотной кислоте [15]:

1 — равномерная коррозия 0,01 мм/год; 2 — межкристаллитная коррозия; 3 — межкристаллитная и ножевая коррозия

Частичная или полная замена никеля марганцем и азотом в хромоникелевых сталях позволяет снизить стоимость сталей при сохранении хорошей технологичности и достаточно высокой коррозионной стойкости. Поскольку стойкость таких сталей определяется содержанием хрома, то стали с 14% хрома (10X14Г14Н4Т, 10X14АГ15 и др.) стойки только в разбавленных растворах азотной кислоты при небольших температурах. Так, сталь 10X14Г14Н4Т сохраняет стойкость (скорость коррозии $\leq 0,1$ мм/год) в кислоте концентрацией до 20% при температуре до 80 °С [12, 15], сталь 07X13АГ20 — до 35% и 40 °С [15], сталь 03X13АГ19 — до 50—55% и 40—50 °С [17, 18]. При температуре кипения в кислоте концентрацией 20% и более сталь 10X14Г14Н4Т подвержена межкристаллитной коррозии [15].

Стали на хромоникелемарганцевой основе, содержащие 17—20% хрома (12X17Г9АН4, 08X18Г8Н2Т, 03X19АГ3Н10, 07X21Г7АН5 и др.), обеспечивают сочетание высокой коррозионной стойкости с хорошей технологичностью. Так, сталь 03X19АГ3Н10 по коррозионной стойкости в азотнокислых средах не уступает стали 03X18Н11, но обладает более высокими прочностными характеристиками, что позволяет снизить металлоемкость оборудования. Сталь 08X18Г8Н2Т, выгодно отличающаяся от стали 08X22Н6Т еще меньшим содержанием никеля, обладает высокой коррозионной стойкостью в азотной кислоте концентрацией до 60% при температуре до 80 °С (скорость коррозии $< 0,07$ мм/год) и достаточной стойкостью при кипении в растворах концентрацией до 30% (скорость коррозии 0,25 мм/год) [19]. Однако в кислоте концентрацией 10% и более при кипении сталь может подвергаться межкристаллитной коррозии [15].

Присутствие в растворах азотной кислоты хлорид-ионов создает условия для питтинговой коррозии нержавеющей сталей, возможность возникновения которой зависит от соотношения количества окислителя и активатора в растворе (рис. 33.10). В слабых растворах кислоты (до 2,5%) относительное минимальное количество хлоридов, приводящее к возникновению питтингов, остается неизменным, в то время как их абсолютное количество увеличивается с повышением концентрации кислоты. При концентрации азотной кислоты выше 3% уменьшается как абсолютное, так и относительное количество активаторов, вызывающее локальное разрушение нержавеющей стали. Кроме того, наличие хлоридов в азотной кислоте может вызывать смещение потенциала коррозии сталей в область частичной пассивированности, где растворение идет с высокой скоростью. Существуют граничные концентрации хлоридов, ниже которых стали типа X18Н10 остаются пассивными (рис. 33.11).

В более концентрированных растворах азотной кислоты для активирования сталей требуется большее количество хлоридов. В кислоте концентрацией 48—49%, содержащей 5 г/л хлорид-ионов, стали 12X18Н10Т, 08X22Н6Т, 03X23Н6, 08X21Н6М2Т, 08X18Г8Н2Т, 08X18Г8Н2М2Т при 50 °С корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год, а при температуре кипения скорость коррозии достигает 0,3—1 мм/год [22]. По данным работы [23], увеличение концентрации ионов Cl^- и F^- в 10—30%-ной HNO_3 приводит к росту скорости коррозии стали 12X18Н10Т, а в 98—100%-ной кислоте — к ее уменьшению и подавлению МКК. В кислоте концентрацией 40—95% указанные ионы практически не влияют на скорость коррозии стали. В растворах азотной кислоты, содержащих хлориды, целесообразно использовать хромоникелевые стали, дополнительно легированные молибденом.

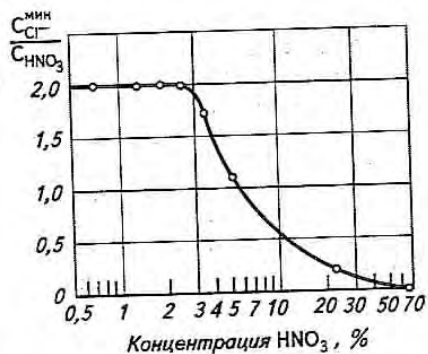


Рис. 33.10. Относительное минимальное количество хлорид-ионов в азотной кислоте, вызывающее питтинговую коррозию стали 12X18H10T при 20 °С [20]

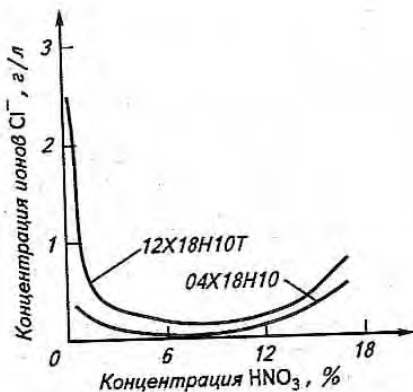


Рис. 33.11. Допустимое содержание ионов Cl^- в кипящих растворах азотной кислоты [21]

Высоколегированные стали, содержащие повышенное количество хрома и никеля, по коррозионной стойкости в растворах азотной кислоты не имеют существенных преимуществ перед хромоникелевыми сталями типа X18H10T, X17H13M2T (рис. 33.7, 33.12), но значительно уступают им по стоимости.

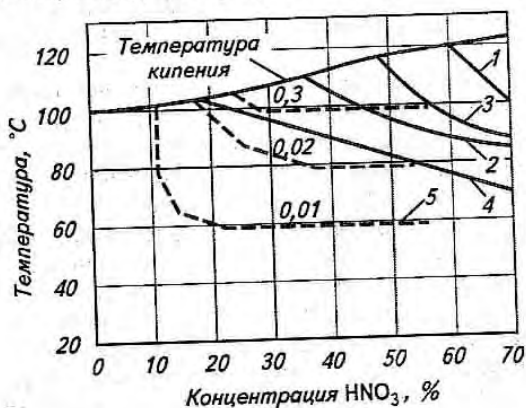


Рис. 33.12. Линии постоянной скорости коррозии (сплошные линии — 0,1 мм/год) в азотной кислоте сплавов и сталей [11, 14, 24, 25]:

1 — типа ХН40МДБ, 2 — 06ХН28МДТ, 3 — 08Х18Н10Т, 4 — 03Х18Н20С3М3ДЗБ, 5 — 03Х21Н21М4ГБ

Сталь 03Х21Н21М4ГБ в 10–65%-ной азотной кислоте при 95 °С корродирует со скоростью 0,07 мм/год [26], сталь 02Х25Н22АМ2 в кипящей 65%-ной кислоте — со скоростью менее 0,3 мм/год [27].

В ряде случаев по условиям эксплуатации технологического оборудования от нержавеющей сталей требуется не только высокая коррозионная стойкость, но и повышенная жаростойкость. Этим требованиям удовлетворяют некоторые хромоникелевые жаростойкие стали (10Х23Н18, 20Х25Н20С2 и др.), кото-

рые сохраняют коррозионную стойкость в растворах азотной кислоты средних концентраций до температуры кипения (рис. 33.13).

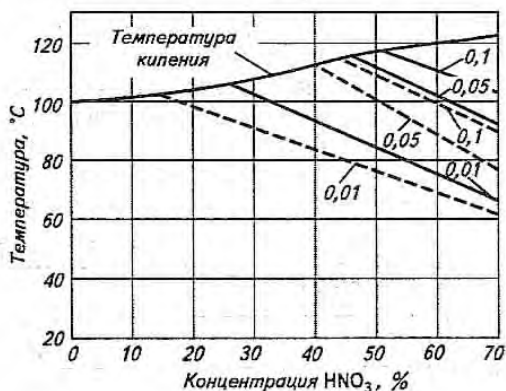


Рис. 33.13. Линии постоянной скорости коррозии (мм/год) хромоникелевых сталей 10X23H18 (—) и 20X25H20C2 (-----) в азотной кислоте [9, 11]

Сплавы на железоникелевой основе. Сплавы 06ХН28МДТ, ХН30МДБ в 65%-ной кислоте при 80 °С практически не подвергаются коррозии [28—30]. Сплав ХН40МДБ при температуре кипения стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) в азотной кислоте концентрацией менее 50%, дальнейшее повышение концентрации приводит к значительному росту скорости коррозии [31].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл при комнатной температуре подвергаются сильной коррозии в растворах азотной кислоты (в 10%-ной кислоте скорость коррозии превышает 1 мм/год) [3].

Сплавы никеля с хромом и молибденом (ХН63МБ, ХН65МВУ и др.) стойки в растворах азотной кислоты до средних концентраций при небольшой температуре (рис. 33.14). Скорость коррозии сплава ХН63МБ в 10, 20 и 30%-ной кислоте при температуре кипения составляет соответственно 0,02; 0,06 и 0,2 мм/год, сплава ХН65МВ в тех же условиях — 0,2; 0,6 и 1,3 мм/год. В кипящей 40%-ной кислоте скорость коррозии сплава ХН63МБ достигает 1 мм/год [33].

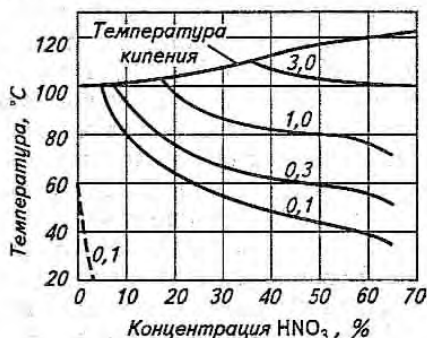


Рис. 33.14. Линии постоянной скорости коррозии (мм/год) сплавов Н70МФ (-----) и ХН65МВ (—) в азотной кислоте [14, 32]

Никельмолибденовые сплавы Н68М-ВИ, Н70МФВ-ВИ и др. стойки в азотной кислоте концентрацией менее 40% при температуре до 100 °С, в кислоте концентрацией менее 70% до температуры 50 °С [3].

Алюминий является одним из немногих металлов, пригодных для использования в концентрированной, в том числе дымящей, азотной кислоте. Он сохраняет высокую коррозионную стойкость только в концентрированных (>80%) растворах кислоты при небольшой температуре. С повышением температуры и разбавлением кислоты скорость коррозии алюминия быстро возрастает (рис. 33.15). Кроме того, в дымящей азотной кислоте скорость коррозии алюминия возрастает с увеличением скорости движения кислоты [8].

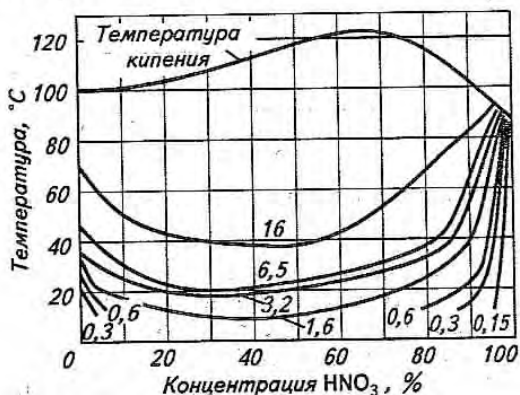


Рис. 33.15. Линии постоянной скорости коррозии (мм/год) чистого алюминия в азотной кислоте [7]

Коррозионное поведение алюминия в азотной кислоте сильно зависит от чистоты металла. Даже при небольшом легировании сплавы корродируют сильнее, чем чистый алюминий (рис. 33.15 и 33.16). При нормальной температуре в растворах азотной кислоты концентрацией до 70% в зависимости от чистоты алюминия скорость коррозии изменяется от 0,25 до 5,8 мм/год, а в кислоте концентрацией более 90% — не превышает 0,002 мм/год (при 50 °С до 0,2 мм/год) [12]. Кроме того, сварные соединения алюминия технической чистоты подвержены значительной межкристаллитной коррозии (на глубину 0,25 мм для алюминия А5 в 98%-ной HNO₃) [34]. Поэтому срок службы оборудования из алюминия высокой чистоты в среде концентрированной азотной кислоты в 3—5 раз больше, чем оборудования из технического алюминия.

Большинство сплавов алюминия обладают меньшей коррозионной стойкостью в азотной кислоте, чем алюминий. Скорость коррозии сплавов АМг3 и АМг5 в 98%-ной HNO₃ при 50 °С превышает соответственно 0,4 и 3 мм/год [35]. Лишь сплавы с кремнием (силумины) более стойки, чем алюминий.

Титан и сплавы титана. Титан обладает высокой коррозионной стойкостью в растворах азотной кислоты любой концентрации вплоть до температуры кипения и выше (рис. 33.17). Титан не подвергается перепассивации в сильноокислительных средах, и его целесообразно применять в азотной кислоте при температуре выше 100 °С. Скорость коррозии титана в 55%-ной кислоте

при температуре 250 °С не превышает 0,1 мм/год [36], в 65%-ной при 175 °С — 0,13 мм/год, в 80%-ной при 450 °С — 0,01 мм/год [7, 37]. Аппаратура из титана ВТ1-1 надежно работает в 40%-ной азотной кислоте при температурах 450 и 500 °С, если напряжения не превышают соответственно 70 и 25 МПа (скорость коррозии до 0,01 мм/год) [38].

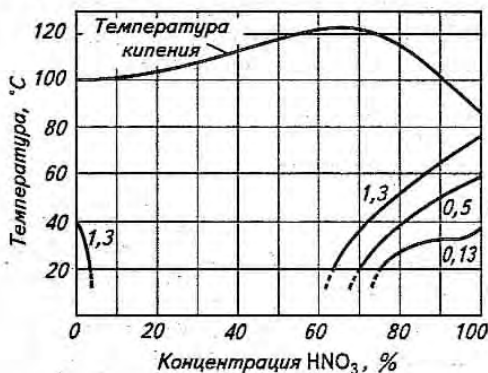


Рис. 33.16. Усредненные линии постоянной скорости коррозии (мм/год) сплавов алюминия с 1,2% Mn (типа АМц) и 2,5% Mg (типа АМг2) в азотной кислоте [8]

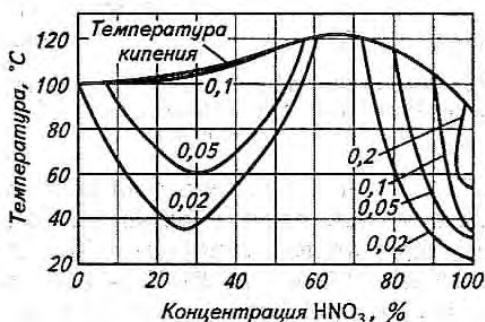


Рис. 33.17. Линии постоянной скорости коррозии (мм/год) титана в азотной кислоте [7]

Использование титана в дымящей азотной кислоте при недостаточном содержании воды и избытке диоксида азота (>2%) может привести к интенсивной экзотермической реакции и взрыву [39]. Возможность возникновения взрывной реакции зависит от содержания в кислоте диоксида азота и воды (рис. 33.18). Предельная концентрация диоксида азота, вызывающая такую реакцию в безводной красной дымящей кислоте, равна примерно 1% [10]. При концентрации азотной кислоты менее 80% взрывная реакция титана невозможна [39].

В азотной кислоте концентрацией 58% при 60 °С скорость коррозии сплава ОТ4 менее 0,01 мм/год, сплава ВТ14 при 80 °С — не превышает 0,05 мм/год. При этом сплавы не подвергаются межкристаллитной коррозии и пиррофорным реакциям. Скорость коррозии сплава АТЗ в 40 и 80%-ной

кислоте при 450 °С не более 0,05 мм/год [37]. Сплав BT5-1 по коррозионной стойкости в этих условиях не уступает технически чистому титану. В красной дымящей азотной кислоте сплавы титана подвержены коррозионному растрескиванию.

Сплав титана 4200, содержащий 0,2% палладия, по коррозионной стойкости в растворах азотной кислоты практически не отличается от чистого титана, а сплав 4201, содержащий 30% молибдена, сохраняет достаточную коррозионную стойкость только при небольших температурах (рис. 33.19).

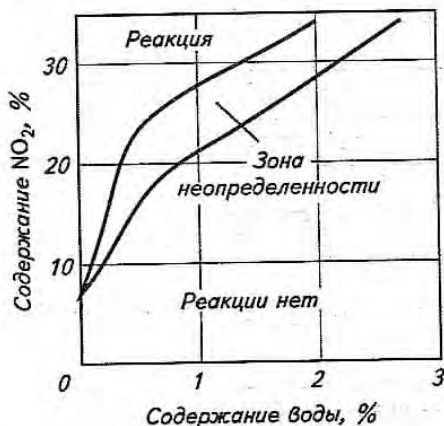


Рис. 33.18. Влияние состава дымящей азотной кислоты на возможность взрывной реакции с титаном [39]

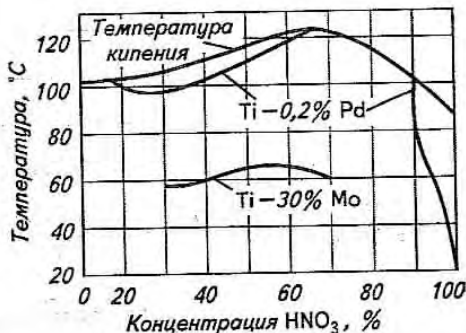


Рис. 33.19. Линии постоянной скорости коррозии (0,1 мм/год) сплавов титана в азотной кислоте [7]

Другие металлы. Тантал, ниобий, платина отличаются высокой коррозионной стойкостью в азотной кислоте при любых концентрациях до температуры кипения [3, 40]. В растворах концентрацией менее 70% тантал, ниобий и цирконий сохраняют высокую стойкость до 250 °С [41], при концентрации более 80% — до 100 °С [3]. В концентрированной азотной кислоте, содержащей свободный диоксид азота, на цирконии протекают пиррофорные реакции, сопровождающиеся возгоранием или взрывом.

Золото сохраняет стойкость (скорость коррозии <0,05 мм/год) в азотной кислоте концентрацией менее 50% до 75 °С [3]. С повышением температуры и концентрации кислоты скорость коррозии возрастает и в 70%-ной кислоте при температуре кипения достигает 0,15 мм/год [40]. В дымящей кислоте даже при нормальной температуре золото корродирует со скоростью до 0,5 мм/год [2, 3].

Серебро, свинец, медь и сплавы меди (латунь, бронза, мельхиор, нейзильбер и др.) в азотнокислых растворах не обладают коррозионной стойкостью и практически не применяются в этих средах [3, 5].

В табл. 33.1 приведены предельные сочетания температуры и концентрации азотной кислоты для некоторых металлов и сплавов, при которых они сохраняют достаточную коррозионную стойкость.

Таблица 33.1. Предельные условия применения металлов и сплавов в азотной кислоте

Материал	Концентрация, %	Температура, °С	Источник
Алюминий	>90	50—70	[1, 40]
Золото	50	Кип.	[40]
	70	100	[10, 40]
Платина	95	100	[10]
Сплав:			
06ХН28МДТ	35	Кип.	[14]
	65	80	[28—30]
ХН30МДБ	65	80	[28—30]
ХН40МДБ-ВИ	40	Кип.	[27]
ХН58В	58	Кип.	
ХН65МВ	3—10	Кип.	[14, 33]
	40	50	[3]
	60	35	[14]
Н70МФВ	40	100	[3]
	70	50	
Сталь:			
02Х8Н22С6	>80	80	[12]
10Х13	60	50	[3]
03Х13АГ19	50	50	[17, 18]
07Х13АГ20	30	40	[12, 15]
10Х14Г14Н4Т	10	80	[12, 15, 27]
015Х14Н19С6Б	>85	110	[27]
10Х17Н13М2Т	35	100 — кип.	[3, 14]
	60	80	
08Х18Г8Н2Т	30	Кип.	[19]
	60	80	
12Х18Н10Т	30	100	[3]
	60	80	[12]
08Х18Н10Т	60	80	[27]
03Х18Н11	45	140	[27, 36]
	65	100 — кип.	[10, 27]
	80	60	[10]
	99	20	
02Х18Н11	40	120	*
	60—65	100	
	85	70	
15Х18Н12С4ТЮ	В 98	50	[12]

Материал	Концентрация, %	Температура, °С	Источник
08Х22Н6Т	30	80	[36]
	60	60—85	[27, 36]
	70	30	[36]
03Х23Н6	30	120	[27]
	70	100	
03Х21Н21М4ГБ	55	80	[42]
	65	95	[26]
10Х23Н18	70	100	[9, 11]
20Х25Н20С2	70	90	[9, 11]
02Х25Н22АМ2	65	100	[27]
Титан ВТ1-0	60—70	Кип.	[3, 10, 12]
Тантал	100	200	[1]
	100	Кип.	[3, 40]
Цирконий	65	Кип.	[28, 43]
Чугун:	40	70—80	[10, 40]
ЧС15, ЧС17	40—100	100 — кип.	[3, 4, 8]

*Данные Л.П. Лозовацкой.

33.3. Борная кислота — H_3BO_3

Борная кислота ограниченно растворима в воде. Она образует растворы концентрацией 4,9% при температуре 21 °С и 28,1% при 99,5 °С. Дальнейшее увеличение концентрации кислоты и температуры приводит к образованию HBO_2 в растворах борной кислоты. При температуре 107,5 °С раствор $\text{H}_3\text{BO}_3 + \text{HBO}_2$ имеет концентрацию 36,7%, при 120 °С раствор концентрацией 52,4% содержит только HBO_2 .

Борная кислота диссоциирует по кислотному типу: $\text{H}_3\text{BO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + [\text{B}(\text{OH})_4]^-$, но является очень слабой кислотой (при 20 °С константа диссоциации $K_1 = 7,3 \cdot 10^{-10}$, $K_2 = 1,8 \cdot 10^{-13}$, $K_3 = 1,6 \cdot 10^{-14}$). С увеличением концентрации кислоты при диссоциации образуются полиборатные анионы $[\text{B}_3\text{O}_3(\text{OH})_4]^-$, $[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4]^{2-}$ и др. В очень малой степени борная кислота проявляет амфотерные свойства.

Из-за неокислительного характера растворов кислоты сохранение пассивного состояния металлов при коррозии может быть обеспечено только за счет растворенного кислорода, участвующего в катодном процессе.

Металлы и сплавы в борной кислоте обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали в растворах борной кислоты концентрацией до 10% при обычной температуре корродируют со скоростью 0,5—1,3 мм/год [3], при температуре кипения — до 3 мм/год [44].

Серые чугуны нестойки в любых растворах борной кислоты даже при обычной температуре [44].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3 в любых растворах борной кислоты при обычной температуре стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) [45], при температуре 100 °С — удовлетворительно стойки (скорость коррозии <0,5—1 мм/год) [3, 4].

Хромистые чугуны ЧХ28, ЧХ32 в насыщенном растворе кислоты стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 100 °С, в расплаве кислоты при 250 °С — нестойки [40].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13 в разбавленных растворах (до 3%) стойки до температуры кипения, в кислоте концентрацией 5% — при небольших температурах. Стали, содержащие 17—25% хрома, в растворах концентрацией до 50% сохраняют высокую стойкость до 100 °С [4, 40]. В насыщенном растворе при 100 °С скорость коррозии сталей типа Х17 может достигать 1 мм/год [40].

Хромоникелевые аустенитные стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т практически не корродируют в любых растворах борной кислоты до 100 °С [1, 4, 40]. С повышением температуры коррозия увеличивается, и при 150 °С в 30—50%-ной кислоте скорость коррозии сталей достигает 0,5—1,2 мм/год, в более концентрированной кислоте превышает 1,3 мм/год [3, 40].

Двухфазные аустенитно-ферритные стали (12Х21Н5Т, 08Х22Н6Т, 08Х18Г8Н2Т) сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год) в разбавленных и насыщенных растворах кислоты до температуры 100 °С [1, 15].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ стойки в любых растворах борной кислоты до 80 °С [45], в растворах концентрацией до 5% — при температуре кипения [1]. По данным работы [3], в 10%-ной кислоте до температуры 200 °С скорость коррозии сплавов менее 0,1 мм/год, в более концентрированных растворах — менее 0,5 мм/год.

Никель и сплавы никеля. Никель и монель-металлы сохраняют стойкость в любых растворах кислоты до температуры кипения [45]. По данным работы [3], при 100 °С в кислоте концентрацией до 40—50% скорость коррозии этих металлов менее 0,5 мм/год. В расплаве кислоты никель и монель-металлы нестойки [4, 40].

Никельхромовые сплавы типа ХН58В обладают высокой стойкостью в насыщенном растворе борной кислоты до 100 °С [46]. Никелевые сплавы типа Н70МФВ и ХН65МВУ стойки в кислоте концентрацией до 80% при температуре до 200 °С [3]. Никельмолибденовый сплав типа ХН65МВУ стоек в расплаве кислоты при 800 °С [46].

Медь и медные сплавы. Медь и бронзы (алюминиевые, оловянистые) в разбавленных (5%) растворах стойки до 100 °С, а без доступа воздуха в растворах любой концентрации до 150 °С [1] (кремнистые бронзы до 70 °С [40]). Латунни в растворах концентрацией до 70—80% при температуре до 150 °С корродируют со скоростью менее 0,5 мм/год [3].

Алюминий. Алюминий и сплавы типа АЛ2, АМг2, АМц в разбавленных (5%) растворах борной кислоты при нормальной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [46], при 60 °С скорость коррозии может достигать 0,5—1 мм/год [1, 2].

Свинец. Свинец и сурмянистые сплавы свинца отличаются хорошей стойкостью в растворах борной кислоты при нормальной температуре. В 5%-ной

кислоте при 20 °С скорость коррозии свинца <0,1 мм/год, при 100 °С скорость коррозии может достигать 1 мм/год [1, 2]. В растворах борной кислоты, подкисленных серной кислотой, свинец и его сплавы с сурьмой сохраняют стойкость до 90 °С [40].

Титан стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) в растворах борной кислоты концентрацией менее 50% до температуры кипения [3, 39].

Другие металлы. Серебро в любых растворах кислоты сохраняет высокую стойкость (скорость коррозии <0,05 мм/год) при нормальной температуре и корродирует со скоростью до 0,5 мм/год при 100 °С [3].

Тантал в любых растворах кислоты отличается высокой стойкостью (скорость коррозии <0,05 мм/год) при температуре до 100 °С [1—3].

Платина стойка (скорость коррозии <0,05 мм/год) как в растворах, так и в чистых расплавах борной кислоты при любых условиях. Однако в расплаве кислоты, содержащей восстановители (например, винную кислоту), платина нестойка и становится хрупкой [3, 40].

33.4. Бромоводородная кислота — HBr

Бромид водорода хорошо растворим в воде (210 г в 100 г воды при 10 °С) и образует достаточно концентрированные (67,7%) растворы бромоводородной кислоты. Азеотропный раствор концентрацией 47,6% кипит при 126 °С (максимальная температура кипения для всех растворов кислоты).

Бромоводородная кислота — одна из самых сильных (константа ионизации $K = 1 \cdot 10^9$ при 25 °С) неорганических кислот восстановительного характера. Низкопотенциальный катодный процесс осуществляется в основном за счет восстановления катионов водорода. Другая особенность растворов бромоводородной кислоты — образование при диссоциации (степень диссоциации 4%-ного раствора $\alpha = 0,9$) значительных количеств ионов Br^- , являющихся достаточно сильными депассиваторами. Например, по отношению к титану их депассивирующее действие сильнее, чем ионов Cl^- [39]. Все это затрудняет возникновение и сохранение пассивного состояния металлов и сплавов в растворах кислоты.

При анодной поляризации кислота относительно легко разлагается (потенциал разложения 1 н. раствора на платине равен 0,94 В).

На рис. 33.20 ориентировочно показаны области применения металлических материалов в зависимости от температуры и концентрации бромоводородной кислоты.

Углеродистые стали и серые чугуны не обладают коррозионной стойкостью в любых растворах бромоводородной кислоты даже при обычной температуре [1, 3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3 при нормальной температуре в растворах кислоты концентрацией до 40%, содержащих следы окислителей (Fe^{3+} , Cu^{2+} , O_2 и др.), стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год), но с повышением температуры до 100 °С становятся нестойкими [1, 3, 40].

Высоколегированные стали. Хромистые стали нестойки в растворах бромоводородной кислоты [1, 4, 40].



Рис. 33.20. Области применения металлических материалов в растворах бромоводородной кислоты:

1 — стали 10X17H13M2T, 10X17H13M3T, сплав 03XH28MДТ (до 1%); медь, Al-бронза, Sn-бронза (без аэрации); сплавы ХН65М-ВИ, Н70МФВ-ВИ; титановые сплавы 4200, 4201; тантал; платина (без окислителей); металлы платиновой группы (кроме палладия); золото; 2 — кремнистые чугуны (ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3); стали 10X17H13M2T, 10X17H13M3T; сплав 03XH28MДТ; медь; Al-бронза; Sn-бронза (без аэрации); бронза Бр.КМц3-1; сплавы ХН65М-ВИ, Н70МФВ-ВИ; титан и сплавы 4200, 4201; тантал; платина (без окислителей); металлы платиновой группы (кроме палладия); золото; 3 — медь; Al-бронза; Sn-бронза (без аэрации); сплавы ХН65М-ВИ, Н70МФВ-ВИ; тантал; платина (без окислителей); родий, осмий, рутений, иридий (до 100 °С); золото; 4 — медь (без аэрации); сплав Н70МФВ-ВИ; тантал; осмий, платина, родий (до 30 °С); иридий, рутений (до 100 °С); золото; 5 — осмий, платина, родий (до 30 °С); иридий, рутений (до 100 °С); тантал; золото

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т при обычной температуре нестойки в растворах бромоводородной кислоты [1, 3, 4]. Стали, дополнительно легированные молибденом, типа Х17Н13М2Т в очень разбавленных (1%) растворах стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [1]. Высоколегированные стали в растворах бромоводородной кислоты подвергаются не только интенсивной питтинговой коррозии, но и коррозионному растрескиванию.

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ сохраняют коррозионную стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения только в очень разбавленных (1%) растворах кислоты [1]. В более концентрированных растворах сплавы нестойки при обычной температуре [3].

Никель и сплавы никеля. Никель и монель-металл корродируют с высокой скоростью в растворах бромоводородной кислоты [1, 3].

Никельмолибденовые сплавы типа Н65М, Н70МФВ при температуре кипения корродируют со скоростью до 0,1 мм/год в 6%-ной кислоте и со скоростью до 0,3 мм/год в 40%-ной кислоте [47]. По данным источника [3], такие сплавы в растворах кислоты концентрацией 10—50% при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,5—1,3 мм/год, в наиболее агрессивной 20%-ной кислоте скорость коррозии может возрастать до 3 мм/год [1].

Сплавы типа ХН65МВУ при температуре кипения в 6%-ной кислоте корродируют со скоростью менее 0,5 мм/год, в 40%-ной кислоте — со скоростью 1—2 мм/год [1].

Медь и медные сплавы. Медь и бронзы, не содержащие цинк, относительно стойки (скорость коррозии <1 мм/год) в деаэрированных растворах кислоты

любой концентрации до температуры кипения. Кремнистая бронза БрКМц3-1 отличается высокой стойкостью (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год) в разбавленных (6%) растворах при обычной температуре [40]. Латунь и медноникелевые сплавы нестойки в бромоводородной кислоте [1, 3].

Свинец при нормальной температуре относительно стоек (скорость коррозии < 1 мм/год) в разбавленных (до 15%) растворах кислоты [3, 40].

Титан и сплавы титана. Титан при нормальной температуре стоек (скорость коррозии $< 0,05$ мм/год) в разбавленных (до 20%) растворах бромоводородной кислоты, азрированных или содержащих небольшие количества окислительных ионов (Fe^{3+} , Cu^{2+} и др.) [3, 39, 40]. В очень разбавленных (0,5%) растворах титан можно применять до 100°C [48].

Сплавы титана 4200, 4201 в разбавленных (до 6%) растворах кислоты сохраняют высокую коррозионную стойкость до температуры кипения (скорость коррозии $< 0,03$ мм/год). В кипящей 40%-ной кислоте сплавы подвергаются сильной коррозии (скорость коррозии сплава 4201 достигает $1,3$ мм/год) [47].

Благородные металлы. Золото и металлы платиновой группы (за исключением палладия) при нормальной температуре в концентрированной бромоводородной кислоте обладают очень высокой стойкостью (скорость коррозии золота $0,001$ мм/год). Палладий в этих условиях корродирует со скоростью $2,7$ мм/год. При повышении температуры до 100°C иридий, родий и рутений сохраняют высокую коррозионную стойкость (скорость коррозии $< 0,001$ мм/год), осмий корродирует со скоростью $0,08$ мм/год, платина — со скоростью $0,2$ мм/год [4, 10].

Другие металлы. Тантал стоек (скорость коррозии $< 0,05$ мм/год) в любых растворах бромоводородной кислоты до температуры кипения [3]. В 47%-ном растворе при 124°C скорость коррозии тантала менее $0,005$ мм/год, ниобия — менее $0,02$ мм/год [49].

Цирконий при нормальной температуре в разбавленных (10%) растворах бромоводородной кислоты корродирует со скоростью до $0,5$ мм/год, в более концентрированных растворах — нестойк [3, 48].

Алюминий, олово, серебро неприменимы в любых растворах бромоводородной кислоты даже при нормальной температуре [1, 3, 4].

33.5. Иодоводородная кислота — HI

Иодид водорода хорошо растворяется в воде с образованием достаточно концентрированных растворов иодоводородной кислоты. Азеотропный раствор кислоты концентрацией 56,9% кипит при максимальной для всех растворов температуре 127°C . В определенных условиях кислота легко разлагается (потенциал разложения 1 н. раствора на платине равен $0,52$ В). При обычной температуре кислота постепенно окисляется молекулярным кислородом.

Иодоводородная кислота — очень сильная (константа ионизации $K = 1 \cdot 10^{11}$ при 25°C) восстановительная кислота (более сильная, чем HBr и HCl). В водных растворах иодоводородная кислота диссоциирует (степень диссоциации 6,4%-ного раствора $\alpha = 0,9$) с образованием ионов I^- , являющихся депассиваторами для металлов, находящихся в пассивном состоянии. Катодный процесс в растворах иодоводородной кислоты осуществляется при небольших потенциалах в основном за счет восстановления катионов водорода. Все это затруд-

няет возникновение и сохранение пассивного состояния металлов и сплавов в растворах кислоты.

На рис. 33.21 ориентировочно показаны области применения металлических материалов в зависимости от температуры и концентрации иодоводородной кислоты.

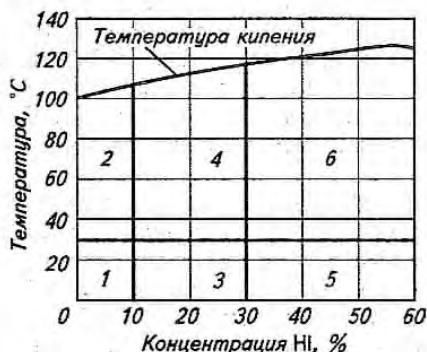


Рис. 33.21. Области применения металлических материалов в растворах иодоводородной кислоты:

1 — кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3; стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т, сплав 03ХН28МДТ, никель, монель-металл (до 1%); сплавы ХН65М-ВИ, Н70МФВ-ВИ; свинец; титан и титановые сплавы 4200, 4201; цирконий; тантал; металлы платиновой группы (кроме палладия); золото; 2 — кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3; сплавы ХН65М-ВИ, Н70МФВ-ВИ (до 60 °С); титан и титановые сплавы 4200, 4201; цирконий; тантал; иридий; родий, рутений; золото; 3 — кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3; сплавы ХН65М-ВИ, Н70МФВ-ВИ; титан; цирконий; тантал; металлы платиновой группы (кроме палладия); золото; 4 — кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3 (до 100 °С); сплавы ХН65М-ВИ (до 50—70 °С), Н70МФВ-ВИ (до 80—100 °С); титан, цирконий (до 100 °С); тантал; иридий; родий, рутений (до 100 °С); золото; 5 — кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3 (до 50%); титан; цирконий (до 50%); тантал (до 40%); металлы платиновой группы (кроме палладия); золото; 6 — кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3 (до 50%); титан; тантал (до 40%, 100 °С); иридий; родий, рутений (до 100 °С); золото

Углеродистые стали и серые чугуны нестойки в растворах иодоводородной кислоты [1]. При обычной температуре в 10%-ной кислоте скорость коррозии углеродистой стали 0,5—1,3 мм/год [3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3 в растворах иодоводородной кислоты концентрацией менее 50% стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 100 °С [3] (по данным справочника [1], стойки только в очень разбавленных (до 1%) растворах при обычной температуре).

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13, Х17 нестойки в иодоводородной кислоте [1, 40].

Хромоникелевые аустенитные стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т при нормальной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) только в очень разбавленных (до 1%) растворах кислоты [1]. В деаэрированных растворах концентрацией до 10%, не содержащих свободного иода и других окислителей, скорость коррозии сталей 0,1—0,5 мм/год [3, 40].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в растворах иодоводородной кислоты концентрацией до 10%, не содержащих свободного иода, при

нормальной температуре стойки (скорость коррозии $<0,05$ мм/год), в концентрированных растворах при температуре до 50°C корродируют со скоростью $0,05$ — $0,5$ мм/год [3].

Никель и сплавы никеля. Никель и монель-металл в деаэрированных растворах иодоводородной кислоты концентрацией до 10%, не содержащих свободного иода, стойки (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) при обычной температуре, в концентрированных растворах — при температуре до 100°C [3, 40, 48].

Никельмолибденовые сплавы типа Н65М, Н70МФВ в любых растворах иодоводородной кислоты при температуре до 100°C обладают удивительной стойкостью (скорость коррозии $0,1$ — $0,5$ мм/год). Сплавы типа ХН65МВУ в любых растворах кислоты с такой же скоростью корродируют при температуре до 75°C [1, 3, 40].

Медь и медные сплавы. Медь и алюминиевая латунь стойки при комнатной температуре (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) в растворах кислоты концентрацией до 10% без доступа воздуха или других окислителей. Оловянистая и свинцовистая латуни нестойки в иодоводородной кислоте [3, 40].

Медноникелевые сплавы, содержащие 11—33% никеля, в деаэрированных растворах иодоводородной кислоты концентрацией до 10% стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) при нормальной температуре, в концентрированной кислоте стойки до 100°C [3, 48].

Свинец при обычной температуре стоек (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) в разбавленных (до 10%) растворах кислоты [2, 3].

Титан стоек в растворах иодоводородной кислоты концентрацией до 60% при температуре до 100°C (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [3]. В концентрированных растворах, в том числе при доступе воздуха, но в отсутствие более сильных окислителей, титан стоек до температуры кипения (скорость коррозии $<0,2$ мм/год) [48].

Благородные металлы. Золото и металлы платиновой группы, кроме палладия и в некоторой степени осмия, при нормальной температуре в концентрированной (57%) иодоводородной кислоте обладают высокой стойкостью (скорость коррозии золота и платины до $0,01$ мм/год, осмия — $0,1$ мм/год [43], палладия — более 3 мм/год [3]). При повышении температуры до 100°C золото, иридий, родий и рутений сохраняют высокую стойкость (скорость коррозии $<0,01$ мм/год). Осмий, палладий в этих условиях нестойки [1]. В 10%-ной кислоте при температуре кипения скорость коррозии палладия менее $0,1$ мм/год [40].

Другие металлы. Цирконий стоек в растворах иодоводородной кислоты концентрацией до 50% при температуре до 100°C (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [3].

Тантал инертен по отношению к разбавленным растворам иодоводородной кислоты (скорость коррозии при температуре кипения $<0,01$ мм/год) [1].

Серебро мало применимо в любых растворах кислоты (скорость коррозии при обычной температуре $0,1$ — $0,5$ мм/год) [3].

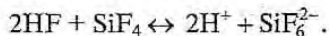
Алюминий при нормальной температуре нестойк в иодоводородной кислоте [1, 3, 40].

33.6. Кремнефтороводородная кислота — H_2SiF_6

Кремнефтороводородная кислота как индивидуальное соединение не существует. В водных растворах также нет молекулярной формы кислоты. Рас-

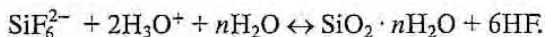
творы кремнефтороводородной кислоты являются растворами тетрафторида кремния в воде или в плавиковой кислоте.

Кремнефтороводородная кислота относится к сильным кислотам с высокой концентрацией катионов H^+ и по силе не уступает серной кислоте. Высокая концентрация катионов водорода в растворах обусловлена резким усилением электролитической диссоциации HF в результате связывания анионов фтора в относительно прочный комплексный ион SiF_6^{2-} :



Устойчивость аниона SiF_6^{2-} в водных растворах обусловлена образованием ионов гидроксония H_3O^+ . Водные растворы кремнефтороводородной кислоты являются сложной многокомпонентной системой, содержащей ряд фторокомплексов кремния и кремневу кислоту. Отношение содержания фтора к содержанию кремния (фторное число) в растворах обычно составляет 4—6. При фторном числе, равном 5, 30—40% фтора содержится в виде SiF_6^{2-} , 60—70% — в виде $SiF_5(OH_2)^-$ и примерно 4% — в виде $SiF_4(OH_2)_2$.

Гексафторосиликат-ион SiF_6^{2-} в растворах подвергается кислотному гидролизу:



С повышением температуры и разбавлением кислоты степень гидролиза увеличивается.

Максимальная концентрация кремнефтороводородной кислоты около 61%, при этом в растворе содержится 38,7% H_2SiF_6 и 22,9% HF . Температура кипения такого раствора 89,5 °С. 30%-ный раствор кислоты содержит 29,7% H_2SiF_6 и 0,76% HF и кипит при температуре 107,3 °С.

Агрессивность растворов кремнефтороводородной кислоты значительно возрастает из-за присутствия фтороводородной кислоты. Образующиеся при диссоциации кислоты ионы SiF_6^{2-} и особенно F^- являются депассиваторами для металлов, находящихся в пассивном состоянии. Повышение агрессивности кислоты с ростом температуры, очевидно, связано с образованием ионов F^- вследствие гидролиза кремнефтороводородной кислоты (особенно в разбавленных растворах).

Коррозионная активность растворов кремнефтороводородной кислоты сильно зависит от избытка или недостатка фтора по сравнению со стехиометрическим соотношением содержаний фтора и кремния ($F:Si = 6:1$). При увеличении этого соотношения скорость коррозии даже высоколегированных сплавов резко возрастает (так, при 60 °С скорость коррозии сплава 06ХН28МДТ при соотношении фтора и кремния 7:1 увеличивается в 15 раз, а сплава ХН63МБ при соотношении 10:1 — в 10 раз). Поэтому для оценки коррозионной стойкости сталей и сплавов, эксплуатируемых в этой среде, недостаточно знать только концентрацию кислоты, поскольку основным фактором, определяющим коррозионное поведение материалов, является соотношение содержаний фтора и кремния.

Следует также учитывать, что с увеличением концентрации кислоты уменьшается растворимость кислорода в ней.

На рис. 33.22 ориентировочно показаны области применения металлических материалов в зависимости от температуры и концентрации кремнефтороводородной кислоты.



Рис. 33.22. Области применения металлических материалов в растворах кремнефтороводородной кислоты:

1 — никелевый чугун (нирезист); стали 12X18H10T (до 2%), 10X17H13M2T, 10X17H13M3T; сплавы 03XН28МДТ, 06XН28МДТ, ХН30МДБ, ХН40МДБ, ХН63МБ, ХН65МВУ, Н65М, Н70МФВ; никель; монель-металл; медь; томпак; полутомпак; алюминиевая латунь; алюминиевая и кремнистая бронза (при деаэрации); свинец; серебро; молибден; вольфрам; металлы платиновой группы; 2 — никелевый чугун (нирезист); стали 10X17H13M2T, 10X17H13M3T (до 50 °С); сплавы 03XН28МДТ, 06XН28МДТ, ХН30МДБ, ХН40МДБ, ХН63МБ, ХН65МВУ, Н65М, Н70МФВ (до 50 °С); томпак; полутомпак; свинец (до 40 °С); серебро; молибден; вольфрам (до 80 °С); металлы платиновой группы; 3 — никелевый чугун (нирезист); никель, монель-металл, алюминиевые и оловянистые бронзы (до 30 °С); сплавы ХН63МБ, ХН65МВУ (до 50 °С); Н65М, Н70МФВ (до 30 °С); свинец (до 40 °С); серебро; молибден; вольфрам; металлы платиновой группы; 4 — алюминиевые и оловянистые бронзы, никель (до 30%, 25 °С); монель-металл (до 40%, 30 °С); сплавы ХН63МБ, ХН65МВУ (до 30 °С); свинец (до 40 °С); серебро; молибден; вольфрам (до 40%); металлы платиновой группы; 5 — серебро (до 80 °С); молибден; вольфрам (до 40%, 80 °С); платина; палладий (до 90 °С)

Углеродистые стали и серые чугуны. Стали и чугуны как нелегированные, так и среднелегированные, не обладают коррозионной стойкостью в кремнефтороводородной кислоте.

Высоколегированные чугуны (кроме никелевых чугунов типа нирезист) нестойки в этой кислоте.

Чугуны, содержащие 14—17% Ni, 2—6% Cr, 5—7% Cu, в кремнефтороводородной кислоте концентрацией менее 20% сохраняют стойкость (скорость коррозии < 0,5 мм/год) до 60—70 °С [3] (при концентрации менее 10% — до температуры кипения [40]). В 22%-ной деаэрированной кислоте при 60 °С скорость коррозии чугунов менее 0,01 мм/год [5].

Высоколегированные стали. Хромистые стали нестойки в кремнефтороводородной кислоте [1, 50].

Хромоникелевые аустенитные стали типа X18H10T, X17H13M2T нестойки в кремнефтороводородной кислоте. В растворах концентрацией до 2% при температуре 50—70 °С стали типа X18H10T корродируют со скоростью до 1—1,4 мм/год, стали типа X17H13M2T — со скоростью 0,1—0,5 мм/год [50—52]. Такие стали стойки в растворах концентрацией менее 10% при температуре до 50 °С [3].

Аустенитная сталь с марганцем 10X14Г14Н4Т при температуре 50—70 °С удовлетворительно стойка (скорость коррозии <0,2 мм/год) в растворах концентрацией до 2%, в более концентрированных растворах — нестойка [50].

Двухфазные стали 08X22Н5Т, 08X21Н6М2Т при температуре 50—70 °С в разбавленных (до 2%) растворах нестойки [50, 53]. В 10%-ной H_2SiF_6 при соотношении F:Si до 6:1 сталь 08X21Н6М2Т при температуре 60 °С стойка (скорость коррозии <0,1 мм/год) [53], при температуре 80 °С — нестойка [54].

Высоколегированная сталь 03X21Н21М4ГБ при температуре до 60 °С стойка (скорость коррозии <0,1 мм/год) в растворах концентрацией менее 2%, в 3%-ной кислоте корродирует со скоростью более 0,4 мм/год [51, 55]. По другим данным [55, 56], эта сталь сохраняет стойкость (скорость коррозии 0,2 мм/год) в 10%-ной H_2SiF_6 при соотношении F:Si до 6:1 и температуре до 80 °С.

Присутствие фтороводородной кислоты в растворах значительно снижает коррозионную стойкость сталей.

Сплавы на железоникелевой основе. Сплав 06ХН28МДТ можно применять в кремнефтороводородной кислоте концентрацией до 10% при температуре до 60 °С и соотношении F:Si до 6:1 (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [3, 50, 56]. Повышение температуры увеличивает скорость коррозии сплава (в 1%-ной кислоте при 80 °С скорость коррозии ~1 мм/год [53, 54]).

Сплав ХН30МДБ в 5%-ной кислоте при 80 °С разрушается со скоростью 0,3 мм/год, в 10%-ной кислоте — со скоростью 0,6 мм/год [51]. По данным работы [27], высокой стойкостью в растворах кремнефтороводородной кислоты обладает сплав ХН40МДБ-ВИ. Сплав ХН40МДТЮ в кислоте концентрацией менее 10% стоек (скорость коррозии 0,1 мм/год) до 40—50 °С [52].

Никель и сплавы никеля. Никель при нормальной температуре в кремнефтороводородной кислоте концентрацией до 20% корродирует со скоростью менее 0,1—0,25 мм/год [3, 7], при концентрации 40—60% — со скоростью менее 0,5 мм/год [7]. В 10%-ной кислоте при 70 °С скорость коррозии никеля более 1 мм/год [3, 57].

Монель-металл в кремнефтороводородной кислоте концентрацией до 40% при нормальной температуре стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) [7]. С повышением температуры до 70 °С в 10—15%-ной кислоте монель-металл нестойк [57]. При действии растягивающих напряжений монель-металл в растворах кремнефтороводородной кислоты подвержен коррозионному растрескиванию [1, 3].

Никельмолибденовые сплавы Н65М-ВИ, Н70МФВ-ВИ при обычной температуре сохраняют коррозионную стойкостью (скорость коррозии <0,1 мм/год) в растворах концентрацией до 20—30% [7, 44], в более концентрированных растворах скорость коррозии сплавов 0,05—0,5 мм/год [3]. При температуре 50 °С сплавы стойки в растворах концентрацией до 10% [7, 44]. В 10%-ной кислоте при 70 °С сплав Н65М нестойк [57].

Никельхромомолибденовые сплавы типа ХН63МБ, ХН65МВ в любых растворах кремнефтороводородной кислоты при нормальной температуре корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3]. В растворах концентрацией менее 20% сплавы стойки при температуре до 40—50 °С (рис. 33.23). В 10%-ной кислоте при соотношении F:Si до 6:1 и 60 °С скорость коррозии сплава ХН63МБ составляет 0,1 мм/год, в 20%-ной кислоте — 0,2 мм/год. При повышении температуры до 80 °С в 10%-ной кислоте сплав остается стойким [53, 56], в 20%-ной кислоте скорость коррозии возрастает до 0,4 мм/год [51]. Скорость коррозии сплава

ХН65МВ в растворах концентрацией до 15% при 50 °С не превышает 0,1 мм/год, при концентрации 20% и температуре 80 °С — около 0,9 мм/год [52].

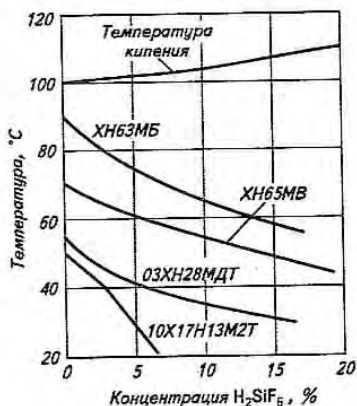


Рис. 33.23. Линии постоянной скорости коррозии (0,1 мм/год) сплавов на железоникелевой и никелевой основе в кремнефтороводородной кислоте [27]

Никельмолибденовые и никельхромомолибденовые сплавы в растворах кремнефтороводородной кислоты подвержены коррозионному растрескиванию [3].

Медь и медные сплавы. Медь при нормальной температуре стойка только в очень разбавленных растворах кислоты (в 6%-ной кислоте скорость коррозии 0,2 мм/год [7]). В растворах концентрацией до 50% скорость коррозии меди 0,5—1,3 мм/год [3].

Латуни с содержанием цинка менее 20% стойки в кислоте концентрацией менее 6% при температуре до 40 °С [40]. Алюминиевая латунь в деаэрированных растворах концентрацией менее 10% стойка до 50 °С [3].

Бронзы алюминиевые, кремнистые при обычной температуре можно применять в деаэрированных растворах кислоты концентрацией до 30% [1, 40].

Свинец отличается высокой стойкостью в любых растворах кремнефтороводородной кислоты при температуре до 40 °С (в 60%-ной кислоте при 40 °С скорость коррозии <0,01 мм/год [7]). С повышением температуры, особенно в разбавленных растворах кислоты, коррозия быстро увеличивается, и в 10%-ной кислоте при 70 °С свинец нестойк [1, 57].

Другие металлы. Серебро можно применять в любых растворах кремнефтороводородной кислоты при температуре до 100 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Металлы платиновой группы сохраняют высокую коррозионную стойкость во всех растворах кремнефтороводородной кислоты. Платину можно применять до температуры кипения (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3], палладий практически не подвергается коррозии до 90 °С [7, 40].

Алюминий, титан, тантал нестойки в кремнефтороводородной кислоте при нормальной температуре [1, 3, 58].

В табл. 33.2 приведены предельные сочетания температуры и концентрации кремнефтороводородной кислоты для некоторых металлов и сплавов, при которых они сохраняют достаточную коррозионную стойкость.

Таблица 33.2. Предельные условия применения сталей и сплавов в кремнефтороводородной кислоте

Материал	Концентрация, %	Температура, °С	Источник
Сплав:			
06ХН28МДТ	10	60	[56]
	25	60	[59]
ХН30МДБ	10	70	[51]
ХН63МБ	10	60	[56]
ХН63МБ	10—20	80	[51]
Сталь:			
12Х18Н10Т	0,2	60	[51]
10Х17Н13М2Т	0,2	60	[51]
08Х21Н6М2Т	0,2	60	[51]
03Х21Н21М4ГБ	10	60	[56]

33.7. Олеум — $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{SO}_3$

Олеум представляет собой раствор SO_3 в безводной серной кислоте. Концентрация олеума может достигать 100% (практически жидкий SO_3). Коррозионную активность олеума см. в п. 33.8 (серная кислота).

Области применения металлических материалов в зависимости от температуры и концентрации олеума ориентировочно показаны на рис. 33.24.

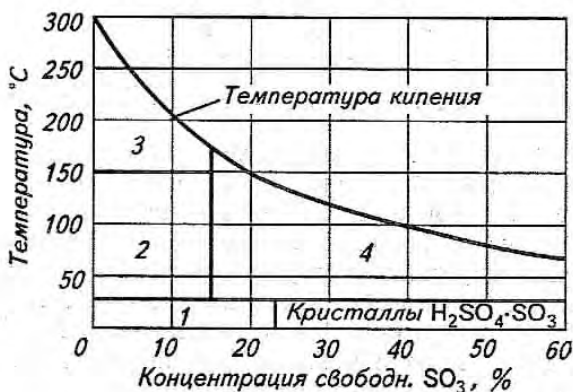


Рис. 33.24. Области применения металлических материалов в олеуме:

1 — хромистые чугуны ЧХ28, ЧХ32; никелевый чугун (нирезист); стали типа Х17 (>10%), Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т; сплавы 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ, ХН63МБ, ХН65МВУ; алюминий (>10%); платина; золото; 2 — хромистые чугуны ЧХ28, ЧХ32 (до 100 °С); никелевый чугун (нирезист), стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т, стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т (до 60 °С); сплавы 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ (до 100 °С); ХН63МБ, ХН65МВУ (до 90 °С); платина; золото; 3 — платина; золото; 4 — углеродистая сталь (до 45%, 70 °С); хромистые чугуны ЧХ28, ЧХ32 (до 100 °С); никелевый чугун (нирезист); стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т (до 60 °С); сплавы 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ (до 80 °С); ХН63МБ, ХН65МВУ (до 30%); платина, золото

Углеродистые стали и серые чугуны. С увеличением концентрации олеума скорость коррозии углеродистых сталей возрастает и достигает максимума (~2,3 мм/год при нормальной температуре) в олеуме, содержащем 18% свободного SO_3 [1]. Дальнейшее увеличение концентрации олеума ведет к снижению скорости коррозии, и при содержании более 30% свободного SO_3 скорость коррозии не превышает 0,1 мм/год [60]. Повышение температуры значительно ускоряет коррозию сталей, и они сохраняют достаточную стойкость лишь при небольших температурах (рис. 33.25). В напряженном состоянии углеродистые стали могут подвергаться коррозионному растрескиванию и их не рекомендуют применять в олеуме.

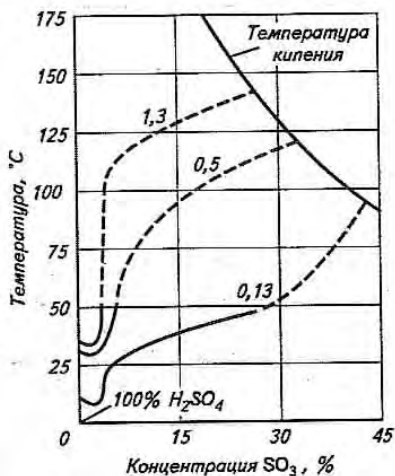


Рис. 33.25. Линии постоянной скорости коррозии (мм/год) углеродистой стали в олеуме [8]

Серые чугуны более стойки в олеуме, чем углеродистые стали. При 20 °С скорость коррозии чугуна в 24%-ном олеуме менее 0,1 мм/год, стали — около 0,3 мм/год. В олеуме любой концентрации при нормальной температуре скорость коррозии чугуна не превышает 0,9 мм/год [60]. Однако при длительном воздействии концентрированного олеума в чугуне появляются трещины. Это обусловлено взаимодействием SO_3 с кремнием, находящимся в чугуне, и окислением его до диоксида кремния. Последний занимает больший объем, чем кремний, что приводит к возникновению внутренних напряжений, деформации и растрескиванию чугуна. По этой причине серые чугуны не рекомендуют использовать в олеуме.

Высоколегированные чугуны. Высоколегированные кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3 в олеуме, содержащем до 20% SO_3 , стойки до 50 °С (скорость коррозии <0,5—1 мм/год) [1, 3]. Однако, подобно серым чугунам, кремнистые чугуны подвержены растрескиванию, и их не рекомендуют использовать в олеуме [8, 44].

Хромистые чугуны ЧХ28, ЧХ32 стойки в олеуме как при нормальной, так и при повышенной температуре (скорость коррозии в олеуме, содержащем 10—70% SO_3 , при температуре до 70—100 °С не превышает 0,1 мм/год [61]).

Никелевый чугун (нирезист) обладает высокой стойкостью в олеуме. Скорость коррозии чугуна, легированного 16% Ni, 2% Cr, 6% Cu, в 15%-ном олеуме при 260 °С менее 0,4 мм/год, чугуна, легированного 30% Ni и 3% Cr, — менее 0,1 мм/год [40].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X13 в олеуме, содержащем до 20% SO₃, при обычной температуре корродируют со скоростью 0,1—0,5 мм/год [1]. Стали с 17% Cr в олеуме, содержащем 11—60% SO₃, сохраняют стойкость (скорость коррозии ~0,1 мм/год) только при нормальной температуре [40].

Хромоникелевые стали типа X18H10T, X17H13M2T в олеуме удовлетворительно стойки до 200 °С (скорость коррозии <0,5 мм/год) [3, 45]. В 60%-ном олеуме при температуре до 70 °С скорость коррозии сталей менее 0,1 мм/год [1, 62]. В олеуме, содержащем 20—22% SO₃, при температуре до 95 °С стали 12X18H10T, 08X22H6T стойки (скорость коррозии менее 0,1 мм/год) [15, 63].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в олеуме, содержащем менее 60% SO₃, сохраняют стойкость до 150 °С (скорость коррозии <0,5 мм/год) [20], в олеуме, содержащем менее 20% SO₃, — удовлетворительно стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,3 мм/год) [1].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл нестойки в олеуме при обычной температуре [1, 3].

Никельмолибденовые сплавы типа Н70МФВ в концентрированном олеуме стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 50 °С, сплавы типа ХН65МВУ — удовлетворительно стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,5 мм/год) [3]. В олеуме, содержащем 25% SO₃, сплавы типа ХН65МВУ стойки до температуры кипения [40].

Алюминий и алюминиевые сплавы (кроме дуралюмина) при нормальной температуре в олеуме, содержащем 10—40% SO₃, удовлетворительно стойки (скорость коррозии <0,25 мм/год) [7].

Другие металлы. Золото, платина в олеуме обладают высокой стойкостью до 200—250 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [1, 3].

Тантал при комнатной температуре стоек в олеуме, содержащем до 20% SO₃ (скорость коррозии <0,01 мм/год), при повышении температуры до 70 °С — нестойк [1].

Медь и медные сплавы, свинец, олово, титан, серебро нестойки в олеуме при обычной температуре [3, 40].

В табл. 33.3 приведены предельные сочетания концентрации и температуры олеума для некоторых металлов и сплавов, при которых они сохраняют достаточную коррозионную стойкость.

Таблица 33.3. Предельные условия применения металлов и сплавов в олеуме

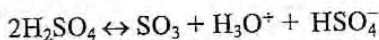
Материал	Концентрация, %	Температура, °С	Источник
Алюминий	40	30	[40]
Золото	10	200	[8, 40]
	>10	Кип.	[62]
Платина	Любая	Кип.	[8, 40]

Материал	Концентрация, %	Температура, °С	Источник
Сплав:			
типа ХН28МДТ	15	100	[8]
	>15	60	[45]
типа ХН65МВУ	25	Кип.	[40]
Сталь:			
углеродистая типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т	>20	Кип.	[62]
	15	100	[8]
10Х23Н13, 20Х23Н18	>15	70	[45, 62]
	Любая	60	[45]
Тантал	15	50	[64]
Чугун:			
типа нирезист ЧХ28	20	120	[40]
	20	40	[40]
ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3	20	60	[40]
	60	80	[40]

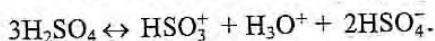
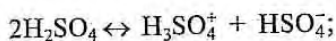
33.8. Серная кислота — H_2SO_4

Серная кислота представляет собой раствор SO_3 в воде. Азеотропный раствор концентрацией 98,3% кипит при максимальной для всех растворов температуре 339,8 °С. Температура кипения 100%-ной кислоты 296,2 °С. Столь высокая температура кипения концентрированных растворов серной кислоты делает возможным образование конденсирующегося электролита на корродирующей поверхности даже при температуре 200—300 °С и протекание процесса коррозии по электрохимическому механизму.

На коррозионное поведение металлов в серной кислоте большое влияние оказывает ионно-молекулярный состав ее растворов. При концентрации до 50% серная кислота может диссоциировать с образованием ионов H^+ и SO_4^{2-} (при 25 °С константа ионизации $K_2 = 1,2 \cdot 10^{-2}$). Практически во всех растворах кислоты происходит ее диссоциация с образованием анионов HSO_4^- (при 25 °С константа ионизации $K_1 = 1 \cdot 10^3$), и в разбавленных растворах кислота диссоциирована нацело. Однако степень такой диссоциации сильно уменьшается в концентрированных растворах и составляет 0,4 в 93%-ной кислоте и 0,04 — при концентрации 99%. Образование ионов HSO_4^- в 100%-ной серной кислоте может происходить за счет самодиссоциации:



и реакций автопротолиза:



В результате примерно 0,3% безводной кислоты диссоциировано, а основная масса (99,7%) ее представляет собой в сильной степени ассоциированное вещество с длинными, цепевидными молекулами, образованными за счет водородных связей. При повышении температуры эти цепочки разрушаются и возникают отдельные молекулы H_2SO_4 .

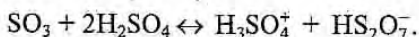
Добавление воды к 100%-ной кислоте приводит к взаимодействию серной кислоты с водой как с основанием:



с образованием гидросульфата гидроксония $[H_3O^+]HSO_4$. Серная кислота концентрацией 84,4% соответствует моногидрату $H_2SO_4 \cdot H_2O$, который представляет собой гидросульфат гидроксония. Дальнейшее разбавление кислоты приводит к образованию других гидратов гидросульфата гидроксония ($H_2SO_4 \cdot 2H_2O$ и $H_2SO_4 \cdot 4H_2O$). Отдельные молекулы H_2SO_4 в заметном количестве присутствуют в серной кислоте концентрацией 75% и выше.

Олеум в зависимости от концентрации и температуры может содержать соединения: $H_2SO_4 \cdot SO_3$ (дисерная кислота), $H_2SO_4 \cdot 2SO_3$, $H_2SO_4 \cdot 3SO_3$ и др. С увеличением концентрации олеума сильно снижается его температура кипения. В олеуме, содержащем 45% SO_3 , дисерная кислота ($H_2S_2O_7$) уже при температуре около 35 °С кристаллизуется, а в олеуме, содержащем 60–65% SO_3 , при температуре около 0 °С кристаллизуется соединение $H_2SO_4 \cdot 2SO_3$.

В олеуме возможно образование ионов по схеме:

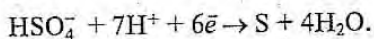
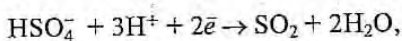


По окислительным свойствам растворы серной кислоты можно разделить на два типа [65]. Растворы первого типа концентрацией менее 70% при температуре до 110–130 °С характеризуются низкими окислительными свойствами. Более концентрированные растворы (второго типа) при температуре выше 60–100 °С обладают сильными окислительными свойствами. Растворы концентрацией более 85% являются окислительными и при нормальной температуре.

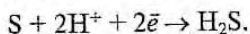
В качестве окислителя в растворах первого типа преимущественно выступают катионы H^+ . Повышение концентрации кислоты приводит к появлению молекул H_2SO_4 , в которых S^{6+} обычно восстанавливается до SO_2 , но в определенных условиях может восстанавливаться до элементарной серы и даже до H_2S . Это обеспечивает концентрированным растворам серной кислоты и олеуму сильные окислительные свойства. В растворах промежуточных концентраций восстанавливаться могут оба окислителя с преобладающим участием одного из них в зависимости от состава раствора и температурных условий.

Увеличение количества недиссоциированных молекул H_2SO_4 при повышении температуры концентрированных растворов кислоты еще больше усиливает их окислительную способность. Так, в продуктах восстановления 98%-ной кислоты при 50 °С присутствуют водород, сера и сероводород, а при более высокой температуре получают сера и диоксид серы. При температуре 280 °С в катодном процессе образуется только диоксид серы [65]. Переход к образованию серы и затем диоксида серы указывает на усиление окислительных свойств серной кислоты при повышении температуры.

Основные катодные процессы в концентрированных растворах серной кислоты связаны с восстановлением не только сольватированных протонов, но и анионов HSO_4^- [66, 67]:



При этом возможно дальнейшее восстановление образующейся серы [66]:



Кроме того, в катодном процессе могут восстанавливаться катионы водорода и молекулы кислорода. Однако при повышении концентрации серной кислоты роль кислорода как окислителя снижается, поскольку уменьшается его растворимость в кислоте и он не может вносить ощутимый вклад в суммарный катодный процесс.

Во всех случаях чем активнее металл, тем глубже степень восстановления серной кислоты. Поэтому при коррозии активных металлов кислота главным образом восстанавливается до сероводорода, но в случае металлов с очень отрицательными потенциалами даже в концентрированных растворах кислоты в продуктах ее восстановления может присутствовать водород [65]. Менее отрицательные металлы (алюминий, железо и др.) реагируют с концентрированной серной кислотой при восстановлении ее до серы, образуя пленки сульфатов и оксидов. Металлы с положительными потенциалами (медь, серебро и др.) в концентрированных растворах серной кислоты (особенно при высокой температуре) корродируют с образованием диоксида серы.

Концентрированные растворы серной кислоты и олеум обладают также сильным водоотнимающим свойством.

Области применения металлических материалов в зависимости от температуры и концентрации серной кислоты ориентировочно показаны на рис. 33.26.

Углеродистые стали и серые чугуны в большинстве растворов серной кислоты разрушаются с высокой скоростью даже при нормальной температуре (рис. 33.27). Лишь в очень концентрированных (более 70—80%) растворах их скорость коррозии становится удовлетворительной. Повышение коррозионной стойкости железоуглеродистых сплавов в концентрированных растворах серной кислоты связывают с образованием на поверхности сплавов оксидной или солевой (сульфатной) защитной пленки. Движение кислоты способствует разрушению пленок и увеличивает скорость коррозии сплавов, поэтому скорость потока кислоты в трубах не должна превышать 0,3 м/с [40].

Обычно углеродистые стали и чугуны применяют в концентрированной (80—100%) серной кислоте при обычной температуре (скорость коррозии < 0,5 мм/год) [3]. При этом модифицированный чугун со сферидальным графитом обладает большей коррозионной стойкостью, чем серый чугун.

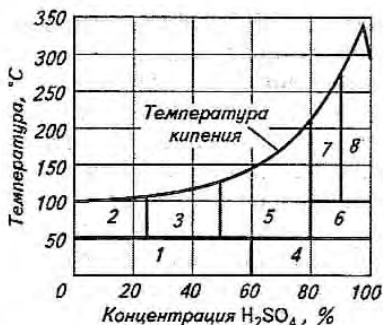


Рис. 33.26. Области применения металлических материалов в серной кислоте:

1 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС15М4, ЧС17, ЧС17М3; стали типа Х17Н13М3Т (до 10%); стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т (до 5%), 03Х21Н21М4ГБ, 02Х21Н25М5ДБ (до 30%), 03Х24Н6АМ3 (до 50%); сплавы 03ХН28МДТ, ХН30МДБ, ХН40МДБ, ХН63МБ, ХН65МВУ, Н70МФВ; монель-металл; красная латунь; Sn-латунь; Pb-латунь; Al-бронза (без азарции); Sn-бронза; Si-бронза; свинец; титан (до 5%); титановые сплавы 4200 (до 15%), 4201 (до 50%); молибден; серебро; тантал; цирконий; платина и металлы платиновой группы; золото; 2 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС15М4, ЧС17,

ЧС17М3; стали типа Х17Н13М3Т (до 5%); стали 03Х21Н21М4ГБ (до 80 °С), 03Х24Н6АМ3 (до 35%, 90 °С); сплавы 03ХН28МДТ; ХН30МДБ (до 70 °С); ХН40МДБ; ХН63МБ, ХН65МВУ (до 90 °С); Н70МФВ; монель-металл; Al-бронза (без азарции); Sn-бронза, Si-бронза (до 70 °С); свинец; титановые сплавы 4200 (до 5%), 4201; молибден; серебро; тантал; цирконий; платина и металлы платиновой группы; золото; 3 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС15М4, ЧС17, ЧС17М3; сплавы 03ХН28МДТ, ХН40МДБ, ХН63МБ, ХН65МВУ (до 80 °С); Н70МФВ; монель-металл (до 80 °С); Al-бронза (без азарции); Si-бронза (до 70 °С); свинец; молибден; серебро; тантал; цирконий; платина и металлы платиновой группы; золото; 4 — серый чугун, ковкий чугун (>80%); хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32 (>85%); кремнистый чугун ЧС15, ЧС15М4, ЧС17, ЧС17М3 (до 95%); стали типа Х17Н13М3Т (>80%); стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т, 02Х21Н25М5ДБ, 03Х24Н6АМ3 (до 98%); сплавы 03ХН28МДТ, ХН40МДБ, ХН63МБ (до 98%); ХН65МВУ, Н70МФВ (до 93%); свинец, сурьмянистый свинец (до 90%); молибден (до 95%); тантал; цирконий (до 75%); платина и металлы платиновой группы; золото; 5 — хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32 (>80%, до 100 °С); кремнистый чугун ЧС15, ЧС15М4, ЧС17, ЧС17М3 (до 120 °С); сталь 03Х24Н6АМ3 (до 90 °С); сплавы 03ХН28МДТ, ХН40МДБ, ХН63МБ, ХН65МВУ, Н70МФВ (до 80 °С); свинец (до 100 °С); молибден (до 65%); тантал; цирконий (до 60%); платина; золото; 6 — ковкий чугун (>90%); кремнистый чугун ЧС15, ЧС15М4, ЧС17, ЧС17М3 (до 95%); стали 03Х24Н6АМ3 (до 90%, 90 °С), 03Х21Н21М4ГБ (до 95%, 70 °С); сплавы 03ХН28МДТ (до 80 °С), ХН63МБ (до 98%, 90 °С), ХН65МВУ (до 93%, 70 °С), Н70МФВ (до 93%), свинец (до 90%, 80 °С); тантал; платина и металлы платиновой группы (кроме палладия); золото; 7 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС15М4, ЧС17, ЧС17М3 (до 150 °С); сплавы ХН63МБ, ХН65МВУ (до 90%, 80 °С); Н70МФВ (до 120 °С); тантал, платина (до 200 °С); иридий, осмий (до 250 °С); золото; 8 — серый чугун (до 97%, 300 °С); кремнистый чугун ЧС15, ЧС15М4, ЧС17, ЧС17М3 (до 95%, 200 °С); тантал, платина (до 200 °С); иридий, осмий, золото (до 250 °С)

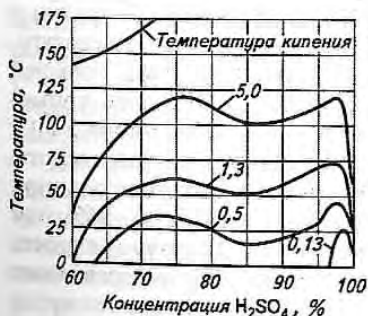


Рис. 33.27. Линии постоянной скорости коррозии (мм/год) углеродистой стали в серной кислоте [8]

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 сохраняют высокую коррозионную стойкость в серной кислоте при любых концентрациях и температурах. Максимальная скорость коррозии (~0,5 мм/год) чугуна типа ЧС15 наблюдается в 30%-ной кипящей кислоте (рис. 33.28). Однако при концентрации кислоты выше 60% скорость коррозии чугуна снижается до 0,03 мм/год [10]. Дополнительное легирование кремнистых чугунов 3—4% молибдена повышает их коррозионную стойкость (скорость коррозии чугуна типа ЧС15М4 в 40%-ной кипящей кислоте менее 0,2 мм/год [40]). В деаэрированной серной кислоте концентрацией менее 70% высококремнистые чугуны стойки до 100 °С, при концентрации 90—98% — до 200—300 °С (скорость коррозии <0,5 мм/год) [3].

Высокохромистые чугуны ЧХ28, ЧХ32 при нормальной температуре обладают достаточной стойкостью только в растворах серной кислоты концентрацией более 75—80% (в 80%-ной кислоте скорость коррозии около 0,1 мм/год). При повышении температуры до 50 °С стойкость чугунов сохраняется только в кислоте концентрацией 95—98% [7]. Дополнительное легирование высокохромистых чугунов 2% молибдена несколько расширяет область условий удовлетворительной стойкости таких чугунов в серной кислоте (рис. 33.29).

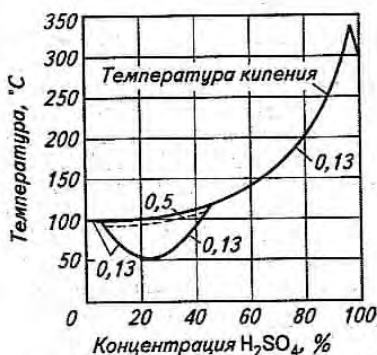


Рис. 33.28. Линии постоянной скорости коррозии (мм/год) кремнистого чугуна типа ЧС15 в серной кислоте [8]

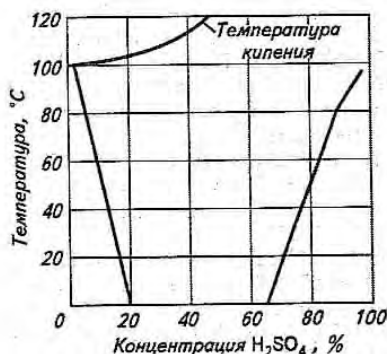


Рис. 33.29. Линии постоянной скорости коррозии (1,3 мм/год) в серной кислоте высокохромистых чугунов с 2% Мо [10]

Высоконикелевые аустенитные чугуны, дополнительно легированные до 6% хрома и до 8% меди (нирезисты), можно применять в очень разбавленных и концентрированных растворах серной кислоты при небольшой температуре. При этом нирезисты с шаровидным графитом обладают несколько большей стойкостью, чем нирезисты с пластинчатым графитом. Наибольшее применение нашел высоконикелевый чугун, содержащий 14—17% Ni, около 2% Cr и 7% Cu, скорость коррозии которого почти во всех растворах серной кислоты при 30 °С не превышает 1,5 мм/год [68]. Скорость коррозии такого чугуна при 50—60 °С в кислоте концентрацией до 25% менее 1 мм/год [8], в 80—96%-ной кислоте — до 0,5—0,8 мм/год [3, 40]. При нормальной температуре скорость коррозии чугуна ЧН15Д7 в растворах концентрацией до 10% не превышает 0,3 мм/год.

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X17—X25 во всех растворах серной кислоты разрушаются с высокой скоростью даже при комнатной температуре (скорость коррозии в 3%-ной кислоте более 1 мм/год, при концентрации 85—98% — более 0,5 мм/год [2]). Незначительное повышение температуры сильно увеличивает коррозию сталей.

Хромоникелевые аустенитные стали типа X18N10T сохраняют достаточную стойкость только в слабых и концентрированных растворах серной кислоты при небольшой температуре. При этом с повышением температуры область коррозионной стойкости сталей значительно сужается (рис. 33.30), что ограничивает практическое использование хромоникелевых сталей в качестве коррозионно-стойких материалов в сернокислых средах.

Дополнительное легирование хромоникелевых сталей молибденом несколько расширяет условия применимости таких сталей, особенно в разбавленных растворах серной кислоты (рис. 33.31). Поэтому аустенитные стали типа X17N13M2(3)T можно использовать в очень разбавленных (1—2%) растворах до 70 °С, в растворах концентрацией менее 5% — до 50—60 °С. В концентрированных растворах (75—95%) такие стали стойки до 50 °С, при концентрации выше 95% их можно применять до 80 °С [5].

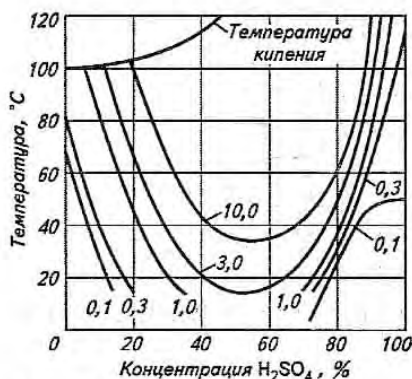


Рис. 33.30. Линии постоянной скорости коррозии (мм/год) стали типа 10X18N10T в серной кислоте [69]

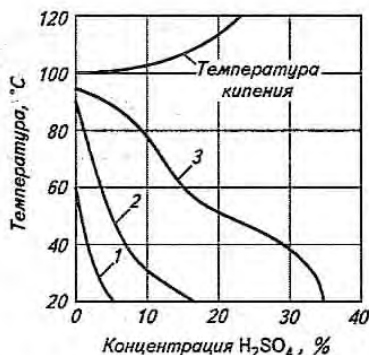


Рис. 33.31. Линии постоянной скорости коррозии (0,1 мм/год) сталей типа 08X18N10T (1), 08X17N13M2T (2) и 10X17N13M3T (3) в серной кислоте [10]

Сталь 03X18N20С3М3Д3Б стойка в растворах серной кислоты концентрацией до 90% при небольшой температуре (рис. 33.32). С повышением температуры скорость коррозии стали возрастает, но остается удовлетворительной (<0,25 мм/год) при 80 °С в кислоте концентрацией до 60% [70]. К тому же эта сталь отличается повышенной стойкостью в наиболее агрессивных 40—60%-ных растворах кислоты.

Из высоколегированных сталей, обладающих высокой коррозионной стойкостью в серной кислоте, наибольшее применение нашла сталь 03X21N21M4ГБ (рис. 33.33). Сталь можно использовать (скорость коррозии <0,1 мм/год) в кислоте концентрацией до 20—30% при температуре 50—80 °С, концентрацией выше 85% — при 40—70 °С [27, 42]. При 80 °С в 92%-ной кислоте скорость коррозии стали менее 0,3 мм/год, в 30%-ной — сталь нестойка [26].

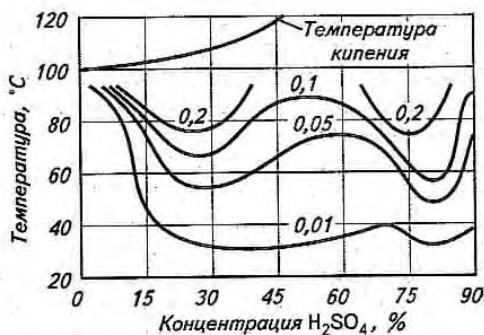


Рис. 33.32. Линии постоянной скорости коррозии (мм/год) стали 03X18H20C3M3ДЗБ в серной кислоте [70]

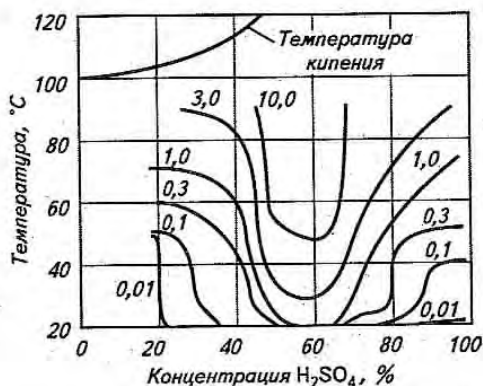


Рис. 33.33. Линии постоянной скорости коррозии (мм/год) стали 03X21H21M4ГБ в серной кислоте [42]

Аустенитная сталь 02X21H25M5ДБ сохраняет высокую стойкость (скорость коррозии $< 0,03$ мм/год) при температуре 60°C в растворах серной кислоты концентрацией до 30% и в 60–93%-ной кислоте [71]. Сталь можно использовать до 80°C в сернокислых средах, содержащих значительные количества фторид- и хлорид-ионов, а также в условиях интенсивного эрозионного воздействия среды.

В сернокислых средах, в том числе содержащих ионы-активаторы, вместо сталей типа X17H13M2(3)Т целесообразно использовать особо низкоуглеродистую сталь 02X25H22AM2, обладающую повышенной прочностью и коррозионной стойкостью (рис. 33.34).

Сталь 03X13AG19 в 5%-ной серной кислоте при температуре 50°C подвергается неравномерному растрескиванию при скорости коррозии $0,4$ мм/год [18].

Двухфазные аустенитно-ферритные стали 08X22H6Т, 03X23H6, 08X21H6M2Т и 03X22H6M2 по стойкости близки к соответствующим аустенитным хромоникелевым сталям и сталям с молибденом (рис. 33.35). Скорость коррозии двухфазных сталей в серной кислоте концентрацией до 5%

и 93—98% при 50 °С не превышает 0,2 мм/год [1, 2]. По данным работы [72], в 93%-ной кислоте при 70 °С и в 98%-ной при 60 °С скорость коррозии указанных сталей (кроме стали 08Х22Н6Т) менее 0,1 мм/год. Сталь 08Х22Н6Т в 93%-ной кислоте корродирует со скоростью до 0,2 мм/год. Сталь 03Х23Н6 стойка в растворах кислоты концентрацией до 10% при 80 °С, концентрацией 15% — при 50 °С и концентрацией 20% — при 30 °С (скорость коррозии <0,2 мм/год).

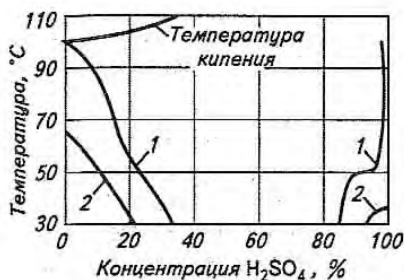


Рис. 33.34. Линии постоянной скорости коррозии (0,1 мм/год) сталей 2RE69 (02Х25Н22АМ2) (1) и 03Х17Н14М2 (2) в серной кислоте [данные Sandvik Steel]

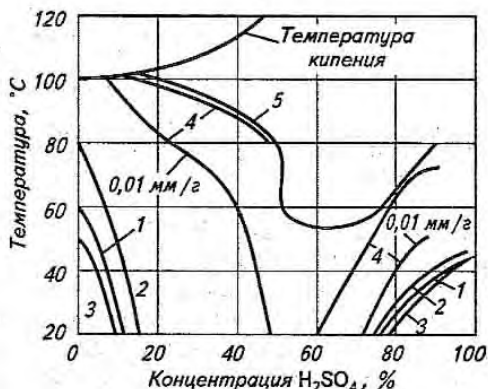


Рис. 33.35. Линии постоянной скорости коррозии (0,1 мм/год) сталей 08Х22Н6Т (1), 08Х21Н6М2Т (2), 10Х17Н13М2Т (3), 03Х24Н6АМ3 (4) и сплава 06ХН28МДТ (5) в серной кислоте [14, 27]

Лучшей стойкостью в растворах серной кислоты обладает низкоуглеродистая азотсодержащая сталь 03Х24Н6АМ3. Эта аустенитно-ферритная сталь имеет значительно большую стойкость по сравнению со сталью 10Х17Н13М2Т, содержащей 13% Ni, и не уступает сплаву 06ХН28МДТ с 28% Ni (см. рис. 33.35). Сталь сохраняет высокую стойкость (скорость коррозии ~0,1 мм/год) в разбавленной (10—35%) и концентрированной серной кислоте при температуре до 90 °С [27].

Двухфазные аустенитно-ферритные хромомарганцевые стали 08Х18Г8Н2Т и 08Х18Г8Н3М2Т обладают достаточной стойкостью лишь в концентрированных (>80—85%) растворах серной кислоты и только при комнатной температуре. В 93%-ной кислоте скорость коррозии стали 08Х18Г8Н2Т менее 0,01 мм/год, в 70%-ной кислоте — 0,4 мм/год [15, 73].

Сплавы на железоникелевой основе. Сплавы 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ имеют одинаковую стойкость к общей коррозии в серной кислоте, но последний сплав меньше подвержен межкристаллитной коррозии за счет пониженного содержания углерода. При температуре до 60 °С оба сплава отличаются хорошей стойкостью в кислоте любой концентрации (рис. 33.36). По справочным данным [1], при 80 °С скорость коррозии сплавов в 10—60%-ной кислоте не превышает 0,2 мм/год, в 80—90%-ной кислоте — около 0,3 мм/год и лишь при концентрации 65—75% она несколько больше 1 мм/год.

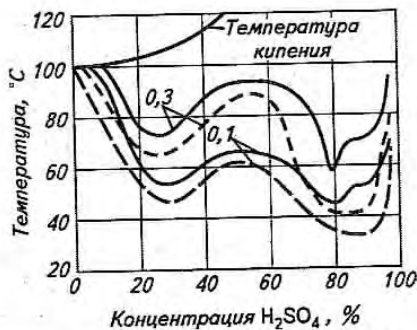


Рис. 33.36. Линии постоянной скорости коррозии (мм/год) стали 2RK65 (типа 02X21H25M5ДБ) (-----) и сплава Sanicro 28 (типа ХН30МДБ) (—) в серной кислоте [данные Sandvik Steel]

Сплавы ХН30МДБ, ХН40МДБ, содержащие повышенные количества хрома, никеля и молибдена, в сернокислых средах обладают достаточно высокой стойкостью, в том числе в наиболее агрессивных концентрациях кислоты (рис. 33.36, 33.37). К тому же в отличие от сплавов типа ХН28МДТ они сохраняют стойкость при наличии в кислоте таких коррозионно-активных примесей, как хлориды и фториды. Скорость коррозии сплава ХН30МДБ при концентрации серной кислоты до 60% и температуре 80 °С не превышает 0,2 мм/год [29], сплава ХН40МДБ — 0,1 мм/год; в кипящих растворах концентрацией до 40% скорость коррозии этого сплава достигает 0,4 мм/год [31].

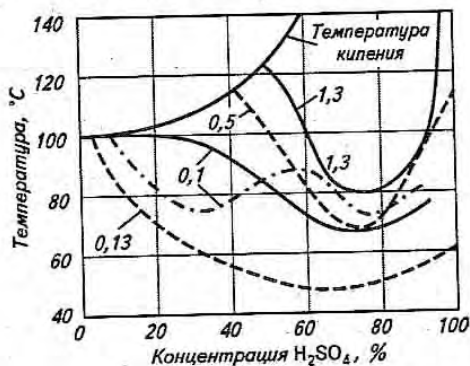


Рис. 33.37. Линии постоянной скорости коррозии (мм/год) сплавов типа ХН28МДТ (—), ХН40МДБ (-----) и ХН40МДТЮ (— · —) в серной кислоте [8, 14, 24]

Сплав ХН40МДТЮ, отличающийся повышенными механическими характеристиками, сохраняет коррозионную стойкость в растворах серной кислоты концентрацией до 60% при температуре до 80 °С (см. рис. 33.37). Лишь в диапазоне концентраций 20—30% скорость коррозии сплава несколько возрастает (до 0,15—0,2 мм/год) [27].

Жаростойкий сплав на железоникелевой основе ХН45Ю в кипящей 94%-ной серной кислоте при 316 °С нестойк [74].

Никель и сплавы никеля. Коррозионное поведение никеля в растворах серной кислоты зависит от наличия в них окислителей. В разбавленных (до 20%) деаэрированных растворах при комнатной температуре скорость коррозии никеля не превышает 0,1 мм/год [10]. Аэрация и повышение температуры значительно усиливают коррозию никеля. При 30 °С в 5%-ной деаэрированной серной кислоте скорость коррозии никеля ~0,25 мм/год, в аэрированной такой же кислоте он нестойк [40]. Поэтому даже при комнатной температуре никель не рекомендуют [68] применять в серной кислоте концентрацией выше 10%.

Сплавы никеля с медью (НМЖМц 28-2,2-1,5 и др.) обладают большей стойкостью, чем чистый никель. Их можно применять (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) в деаэрированной серной кислоте концентрацией до 60% при температуре 100 °С, в аэрированных растворах концентрацией до 80% при температуре до 80—100 °С [3].

Сплавы на основе никеля (Н65М-ВИ, Н70МФВ-ВИ, ХН63МБ, ХН65МВ, ХН65МВУ и др.) сохраняют высокую стойкость в широком диапазоне температур и концентраций серной кислоты (рис. 33.38).

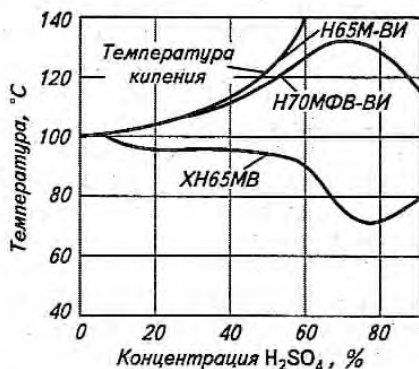


Рис. 33.38. Линии постоянной скорости коррозии (0,1 мм/год) никелевых сплавов в серной кислоте [27]

Сплав Н70МФВ-ВИ стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) в растворах концентрацией 10—50% до температуры кипения, при концентрации 50—93% — до 95 °С. В разбавленных (1—10%) растворах серной кислоты, не обладающих окислительными свойствами, скорость коррозии сплава возрастает и при 70 °С достигает 0,2 мм/год [27, 75]. В этом случае целесообразно применять сплав Н65М-ВИ, отличающийся от сплава Н70МФВ-ВИ более высоким содержанием молибдена и обладающий большей коррозионной стойкостью в средах восстановительного характера.

Сплавы ХН65МВ, ХН65МВУ имеют одинаковую коррозионную стойкость и могут применяться в серной кислоте концентрацией 1—93% до 70 °С, при температуре кипения — только в разбавленных (до 30%) растворах. Сплав ХН63МБ стоек в серной кислоте концентрацией 20—98% при температуре до 90 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [27].

Медь и медные сплавы редко используют в сернокислых средах, поскольку их коррозионное поведение сильно зависит от концентрации кислоты, тем-

пературы, скорости потока и особенно от наличия окислителей и условий аэрации. Последний фактор способствует усиленному растравливанию металла вблизи ватерлинии.

Большое влияние конкретных условий эксплуатации на коррозию меди не позволяет предложить какие-либо общие рекомендации по ее применению в серной кислоте. Скорость коррозии меди в растворах с близкой концентрацией может различаться в десятки раз [60]. Следует отметить, что достаточную стойкость медь может иметь в кислоте низкой концентрации (при контакте с воздухом и температуре 50 °С скорость коррозии ~0,5 мм/год [40]). По данным источника [76], в кислоте концентрацией 10—40% при температуре до 60 °С и в концентрированной (96%) азерируемой кислоте при 50 °С медь нестойка [7]. Согласно работе [3] медь удовлетворительно стойка (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) независимо от аэрации в кислоте концентрацией до 50% при температуре 80—100 °С.

Сплавы меди с алюминием, оловом, кремнием (бронзы) более стойки в растворах серной кислоты низкой и средней концентрации. Бронзы лучше меди противостоят окислительному действию кислорода воздуха, растворенного в кислоте. Кремнистые и марганцовистые бронзы в 3—70%-ной серной кислоте при температуре до 70 °С корродируют со скоростью менее 0,2 мм/год [7]. По данным работы [76], в кислоте концентрацией 10—40% при температуре до 60 °С марганцовистая бронза нестойка. Оловянистые бронзы в тех же условиях корродируют со скоростью 0,3—1,3 мм/год [60, 76]. Коррозия указанных бронз усиливается в районе ватерлинии и при перемещении кислоты. В концентрированной серной кислоте кремнистые и оловянистые бронзы сохраняют достаточную стойкость до 40—50 °С (скорость коррозии ~0,2 мм/год) [60].

Алюминиевые бронзы (7—12% Al) остаются стойкими в деаэрированной серной кислоте концентрацией до 60% при температуре 80 °С (рис. 33.39). Их можно применять в кислоте концентрацией менее 80% при температуре до 100 °С (скорость коррозии <0,5 мм/год) [77]. В движущейся (<3 м/с) 50%-ной кислоте при 110 °С и в 65%-ной кислоте при 85 °С алюминиевые бронзы корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [60]. В концентрированной серной кислоте коррозия алюминиевых бронз резко увеличивается с повышением температуры. Бронза Бр.А10 в 95%-ной кислоте при 20 °С корродирует со скоростью 0,27 мм/год, при 50 °С — нестойка [7]. В азерируемой кислоте концентрацией 10—40% при температуре до 60 °С алюминиевая (7,5% Al) бронза нестойка [76].

Медноникелевые сплавы (10—30% Ni) стойки лишь в разбавленных деаэрированных растворах серной кислоты при нормальной температуре. В условиях аэрации по коррозионной стойкости они практически близки к чистой меди (в 4%-ной кислоте при обычной температуре мельхиор МНЖМц30-1-1 корродирует со скоростью 0,6 мм/год, медь — со скоростью 0,7 мм/год [40]).

Алюминиевые и мышьяковистые латуни (59—93% Cu) в серной кислоте нестойки. Оловянистые и свинцовистые латуни (70—80% Cu) в кислоте концентрацией менее 50% стойки до 100 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

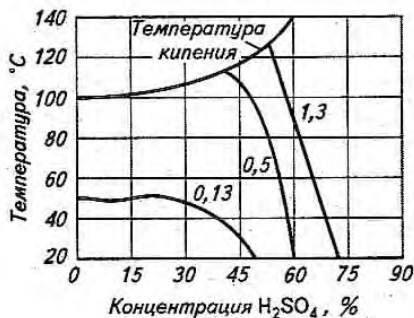


Рис. 33.39. Линии постоянной скорости коррозии (мм/год) алюминиевой бронзы (10% Al) в деаэрированной серной кислоте [8]

Алюминий относительно стоек только в разбавленных растворах серной кислоты. По данным работы [77], его можно применять в растворах концентрацией до 15% при температуре до 40 °С, по другим данным [5] — только до 5% при 30 °С. При этом коррозия алюминия сильно зависит от чистоты металла. Скорость коррозии технического чистого алюминия в 5—10%-ной кислоте при нормальной температуре составляет 0,2—0,3 мм/год [7], но может достигать 1 мм/год [1]. В деаэрированных растворах серной кислоты алюминий нестойк [3].

Сплавы алюминия, как правило, корродируют с большей скоростью, чем чистый алюминий.

Свинец обладает высокой стойкостью в широком диапазоне температур и концентраций серной кислоты (рис. 33.40). В кислоте концентрацией до 50% свинец стоек до температуры кипения, при концентрации 50—75% — до температуры 120 °С (скорость коррозии <0,13 мм/год [5]). Дальнейшее повышение концентрации кислоты сильно увеличивает коррозию свинца. В 93—94%-ной кислоте при 20 °С свинец корродирует со скоростью 0,5—0,6 мм/год, при 100 °С — нестойк [44].

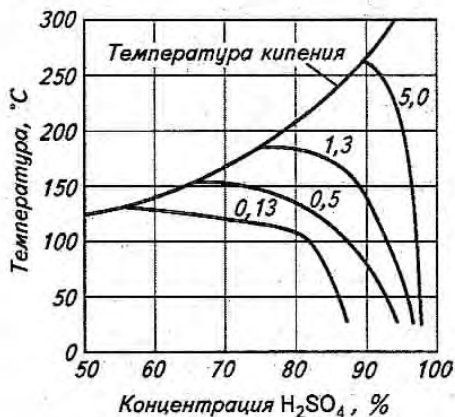


Рис. 33.40. Линии постоянной скорости коррозии (мм/год) свинца в серной кислоте [8]

Поскольку коррозионная стойкость свинца в серной кислоте связана с образованием на его поверхности защитной пленки сульфата свинца, условия, способствующие нарушению целостности пленки, приводят к увеличению коррозии металла. Такие условия могут иметь место, например, при перемешивании кислоты. Движение серной кислоты со скоростью до 0,1 м/с не влияет на коррозию свинца, а повышение ее до 1,6 м/с приводит к пропорциональному возрастанию скорости коррозии за счет эрозийного разрушения защитной пленки сульфата свинца. Так, при нормальной температуре повышение скорости движения 20%-ной кислоты от 0,5 до 1,5 м/с увеличивает скорость коррозии свинца от 0,05 до 0,26 мм/год [78]. При более высоких скоростях движения коррозия увеличивается значительно быстрее.

Сурьмянистый свинец (4—10% Sb) сохраняет стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год) в серной кислоте любой концентрации при нормальной температуре. С повышением температуры коррозии усиливается и сплавы сохраняют достаточную стойкость (скорость коррозии <0,2 мм/год) при концентрации кислоты до 75% и температуре до 100 °С [59, 60, 76].

Титан и сплавы титана. Титан стоек лишь в очень разбавленных (до 5%) растворах серной кислоты при температуре до 35—40 °С [79, 80] (рис. 33.41). Скорость коррозии титана в 5%-ной кислоте при 50 °С превышает 0,6 мм/год [2]. При 60 °С титан можно применять только в растворах концентрацией менее 3% [67], при 100 °С титан неприменим в серной кислоте.

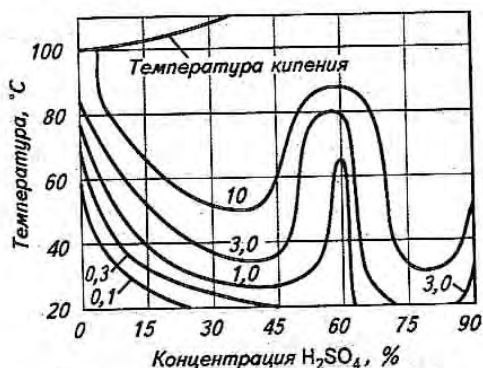


Рис. 33.41. Линии постоянной скорости коррозии (мм/год) титана типа ВТ1-00 в серной кислоте [80]

Большинство сплавов титана в серной кислоте корродируют сильнее, чем чистый титан. Сплав АТ при повышенных температурах сохраняет достаточную стойкость только в очень разбавленной кислоте (в 0,5%-ной H₂SO₄ при 250 °С скорость коррозии сплава 0,2 мм/год [81]).

Легирование титана 0,2—0,3% палладия (сплав 4200) или 30—34% молибдена (сплав 4201) значительно расширяет диапазон коррозионной стойкости титана в серной кислоте (рис. 33.42). Сплав 4200 сохраняет достаточную стойкость в разбавленных (5%) растворах до 150 °С (скорость коррозии 0,3 мм/год [81]), в растворах концентрацией до 40% — при температуре до 40—50 °С (рис. 33.43). Сплав 4201 в кислоте концентрацией 15—40% при температуре

125 °С корродирует со скоростью до 0,2 мм/год, в 5%-ной кислоте при 150 °С — со скоростью 0,25 мм/год, при 175 °С — нестойк [81].

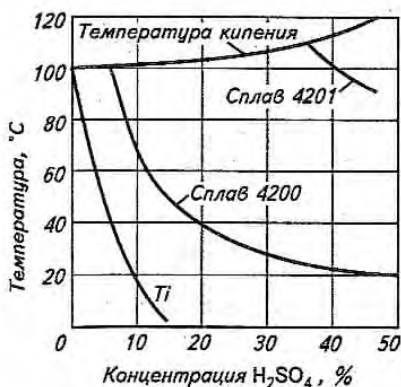


Рис. 33.42. Линии постоянной скорости коррозии (0,1 мм/год) титана и его сплавов в серной кислоте [39]

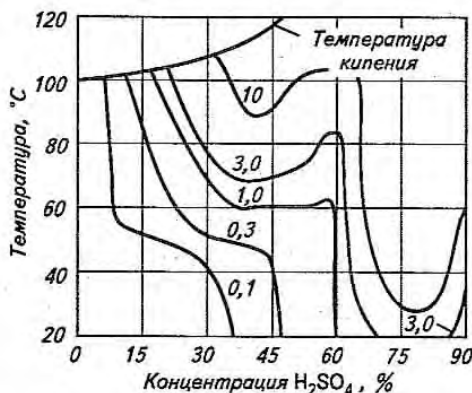


Рис. 33.43. Линии постоянной скорости коррозии (мм/год) титанового сплава 4200 в серной кислоте [79]

Цирконий в серной кислоте концентрацией менее 70% можно применять до температуры кипения [5, 41]. С увеличением концентрации кислоты коррозия быстро возрастает (рис. 33.44), и в 75%-ной кислоте при 100 °С металл разрушается со скоростью около 0,6 мм/год [83]. Сплавы циркония Э-110, Э-125 в серной кислоте концентрацией до 60% стойки при температуре кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [84].

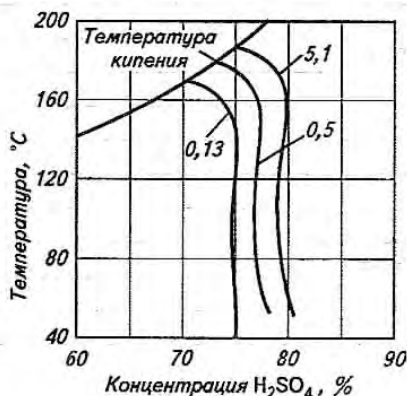


Рис. 33.44. Линии постоянной скорости коррозии (мм/год) циркония в серной кислоте [82]

Серебро в серной кислоте при повышенных температурах стойко (скорость коррозии <0,1 мм/год) в растворах средних концентраций: при температуре кипения в растворах концентрацией до 25%, при 100 °С — до 50%, при 70 °С — до 60% [3, 5]. Концентрированная (96%) серная кислота при комнатной тем-

пературе вызывает коррозию серебра со скоростью около 0,15 мм/год [68]. По данным источника [3], в серной кислоте концентрацией более 70% серебро нестойко при обычной температуре.

Другие металлы. Молибден стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) в серной кислоте концентрацией менее 20% до 200 °С, менее 60% — до температуры кипения, менее 95% — до 70 °С [8, 41].

Тантал в серной кислоте концентрацией до 70% можно применять при температуре кипения [5, 41]. В концентрированной (95—98%) кислоте при 200 °С скорость коррозии тантала менее 0,05 мм/год [79], при 250 °С — 0,3 мм/год [10].

Золото и металлы платиновой группы (кроме палладия) отличаются очень высокой стойкостью в серной кислоте любой концентрации даже при повышенных температурах. В концентрированной кислоте при 250 °С скорость коррозии указанных металлов <0,1 мм/год, при 100 °С — 0,01 мм/год [2, 3]. Золото, платину и ее сплавы с иридием или родием в кислоте концентрацией до 75% можно применять при температуре кипения [5]. Палладий в концентрированной серной кислоте подвергается заметной коррозии уже при умеренных температурах (при 100 °С скорость коррозии до 0,5 мм/год) [2].

Коррозионная стойкость металлов и сплавов в серной кислоте определяется не только природой металла или составом сплава, но также концентрацией кислоты и температурными условиями. В табл. 33.4 приведены предельные сочетания концентраций и температуры кислоты для некоторых металлов и сплавов, при которых они сохраняют достаточную коррозионную стойкость.

Таблица 33.4. Предельные условия применения металлов и сплавов в серной кислоте

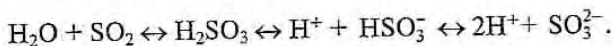
Материал	Концентрация, %	Температура, °С	Источник
Бронза алюминиевая, кремнистая, марганцовистая, оловянистая	60	70—80	[7, 8, 60]
	85	40	[59, 77]
Золото	75	Кип.	[2]
	95	200—250	[2, 5]
Ниобий	3—10	250—300	[85]
Платина	75	Кип.	[2]
	95	200—250	[2, 5, 62]
Свинец, сурьмянистый свинец	50	Кип.	[5]
	75	120	[5, 77]
	75—93	80	[77]
Серебро	25	Кип.	[3, 5]
	50	100	[3, 5]
Сплав:			
03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ	Любая	60	[14]
		80	[1]
ХН40МДБ-ВИ	90 (кроме 55%)	80	[27]
ХН40МДТЮ, ХН63МБ		80	[17, 27]

Материал	Концентрация, %	Температура, °С	Источник
ХН65МВ, ХН65МВУ	30	Кип.	[17]
	20—98	90	[27]
Н65М-ВИ	93	70	[17]
	Н70МФВ-ВИ	50	Кип.
		93	95
НМЖМц 28-2,5-1,5	40	Кип.	[14]
	80	80—100	[3]
4200 (Ti — 0,2% Pd)	15	60	[79, 81]
	15—30	40	[79, 81]
4201 (Ti — 30% Mo)	40	125	[81]
Сталь:			
углеродистая	75—100	20—40	[77]
			[14]
08X18H10, 12X18H10T	5	20	[14]
	70—100	40	[77]
08X17H13M2T, 10X17H13M3T	25	75	[17]
	75—100	60	[77]
08X22H6T, 08X21H6M2T	5	80	[59]
	10	50—60	[2]
	18	20	[14]
03X18H20C3M3ДЗБ	60	70	[70]
	75—90	60	[70]
03X21H21M4ГБ	60	80	[17]
	93—98	70—80	[17, 60]
02X21H25M5ДБ	В 95	70	[17, 30]
Тантал	10	250—300	[85]
	70	Кип.	[41, 79]
	98	200	[86]
Цирконий	60	Кип.	[41, 82]
Чугун:			
серый	75—100	20—40	[77]
			[5, 77]
ЧС 15, ЧС 17, ЧС15М4, ЧС17М3	Любая	Кип.	[5, 77]

33.9. Сернистая кислота — H_2SO_3

Сернистая кислота представляет собой раствор диоксида серы, обладающего хорошей растворимостью в воде (13,3% при 10 °С; 9,4% — 20 °С; 5,5% — 40 °С; 3,2% — 60 °С; 2,1% — 80 °С; 1,8% — 90 °С). Однако кислота существует только в виде разбавленных растворов, поскольку с повышением температуры усиливается десорбция диоксида серы и при температуре кипения может произойти полное его удаление из раствора.

Сернистая кислота относится к слабым кислотам (при 25 °С $K_1 = 1,58 \cdot 10^{-2}$, $K_2 = 6,31 \cdot 10^{-8}$) и в водных растворах может диссоциировать с образованием катионов H^+ и анионов HSO_3^- , SO_3^{2-} . Кроме того, в растворах постоянно присутствует значительное количество свободного диоксида серы, поэтому имеет место равновесие:



Сернистая кислота является непрочным соединением и на воздухе медленно окисляется кислородом с образованием серной кислоты.

Сернистая кислота обладает очень сильными восстановительными свойствами, что препятствует наступлению и сохранению пассивного состояния металлов.

Металлы и сплавы в сернистой кислоте обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны при нормальной температуре нестойки в любых растворах сернистой кислоты [2—4].

Высоколегированные чугуны. Высококремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в разбавленных растворах сернистой кислоты при обычной температуре корродируют со скоростью 0,5—1,3 мм/год [3]. Дополнительное легирование чугунов молибденом (ЧС15М4, ЧС17М3) обеспечивает им стойкость в разбавленных растворах кислоты до 130 °С (скорость коррозии 0,1 мм/год) [61].

Хромистые чугуны ЧХ28, ЧХ32 как в разбавленных (5%), так и в насыщенных растворах сернистой кислоты при температуре до 60 °С подвергаются коррозии со скоростью 1—1,5 мм/год [2, 4].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) и чугуны типа нирезист в разбавленных растворах кислоты при 20 °С разрушаются со скоростью 0,5—1,3 мм/год [3, 4].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х25 в разбавленных (2%) растворах сернистой кислоты при 20 °С корродируют со скоростью 0,5—1 мм/год, при повышении температуры до 50 °С — нестойки. В более концентрированных (20%) растворах стали нестойки при нормальной температуре [2].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т при обычной температуре сохраняют стойкость в любых растворах сернистой кислоты (скорость коррозии 0,1 мм/год) [2, 3, 15], в насыщенном растворе при температуре до 100 °С — нестойки [2]. В этих условиях стали типа Х17Н13М2Т остаются стойкими (скорость коррозии 0,1 мм/год) [2]. По данным работ [4, 59], такие стали в насыщенных растворах стойки до 200 °С.

Двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т, 08Х18Г8Н2Т при обычной температуре сохраняют стойкость в любых растворах сернистой кислоты (скорость коррозии 0,1 мм/год) [2, 3, 15], при температуре до 100 °С в насыщенном растворе — нестойки [2].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ удовлетворительно стойки в любых растворах сернистой кислоты до 100 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3]. В насыщенном растворе кислоты сплавы можно применять до 150—200 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3, 5].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл в растворах сернистой кислоты нестойки [3, 4].

Сплавы типа ХН65МВУ, Н70МФВ можно применять в любых растворах сернистой кислоты до 100 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [1, 3].

Медь и медные сплавы. Медь при обычной температуре в растворах сернистой кислоты концентрацией до 5—8% стойка (скорость коррозии <0,2 мм/год) [1, 2, 4]. Сернистая кислота вызывает слабую коррозию бронз и латуней [59, 68, 87], но сильно (до 2,5 мм/год) разрушает мельхиоры [5]. В 10%-ной кислоте при 20 °С оловянистая латунь корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год, мельхиор — со скоростью 0,5—1,3 мм/год [3]. Алюминиевая бронза в такой кислоте применима до 150 °С [87].

Алюминий при нормальной температуре в растворах сернистой кислоты концентрацией до 10% корродирует со скоростью менее 0,2 мм/год [1, 2, 4], в насыщенном растворе — со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Свинец обладает высокой стойкостью (скорость коррозии <0,05 мм/год) в любых растворах сернистой кислоты до 100 °С [3]. В разбавленных (до 5%) растворах кислоты свинец и его сплавы с сурьмой сохраняют удовлетворительную стойкость до 130 °С (скорость коррозии 0,3—0,5 мм/год) [61]. По данным работы [87], в сернистой кислоте любой концентрации свинец и его сплавы применимы до температуры кипения.

Титан в любых растворах сернистой кислоты стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) до температуры 75 °С [3].

Другие металлы. Серебро, платина, золото в любых растворах сернистой кислоты и цирконий в разбавленной (10%) кислоте остаются стойкими (скорость коррозии <0,05 мм/год) при температуре до 100 °С [3].

В табл. 33.5 приведены предельные сочетания концентрации и температуры сернистой кислоты для некоторых металлов и сплавов, при которых они сохраняют достаточную коррозионную стойкость.

Таблица 33.5. Предельные условия применения металлов и сплавов в сернистой кислоте

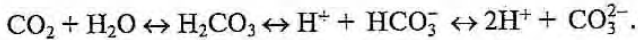
Материал	Концентрация, %	Температура, °С	Источник
Алюминий	1	100	[62]
	10	30	[1—4]
Бронза алюминиевая	10	150	[87]
Золото	Любая	100	[3, 62]
Латунь оловянистая	10	30	[3]
Медь	5	30	[62]
Платина	Любая	100	[3]
Свинец, сурьмянистый свинец	Любая	100	[3]
	Любая	Кип.	[61, 87]
Серебро	Любая	100	[3]
Сплав:			
03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ	Любая	100	[3, 5]
ХН65МВУ, Н70МФВ-ВИ	Любая	100	[1, 3]

Материал	Концентрация, %	Температура, °С	Источник
Сталь:			
08X18H10, 08X22H6T, 08X21H6M2T	Любая	30	[2, 3, 15]
08X17H13M2T, 10X17H13M3T	Любая	100	[2, 62]
10X23H13, 20X23H18	Любая	30	[45]
Титан	Любая	75	[3]
Цирконий	10	100	[3]
Чугун:			
ЧС15М4, ЧС17М3	5—10	130	[61]
ЧХ28, ЧХ32	5	30	[2, 4]

33.10. Угольная кислота — H_2CO_3

Угольная кислота образуется при растворении диоксида углерода в воде (при 0 °С один объем воды поглощает 1,7 объема CO_2 , при 20 °С — 0,88 объема, при 80 °С — 0,28 объема). Растворимость CO_2 сильно уменьшается с повышением температуры и, наоборот, сильно возрастает с повышением давления. Растворенный диоксид углерода лишь в небольшом количестве превращается в угольную кислоту (менее 1% от общего количества CO_2).

Угольная кислота относится к слабым кислотам и в незначительной степени диссоциирует на ионы. С учетом этого в водном растворе существует равновесие:



Константа диссоциации угольной кислоты по первой ступени с учетом общего количества диоксида углерода в растворе как в форме CO_2 , так и в виде угольной кислоты равна $4,5 \cdot 10^{-7}$, а по второй ступени — $4,7 \cdot 10^{-11}$. Таким образом, угольная кислота лишь в очень незначительной степени диссоциирует на ионы H^+ и HCO_3^- , а ионы CO_3^{2-} в растворах практически отсутствуют.

При оценке силы угольной кислоты концентрацию ионов H^+ относят к общему количеству растворенного CO_2 , т.е. считают, что весь растворенный диоксид углерода находится в виде H_2CO_3 . Если сопоставлять количество катионов водорода с концентрацией действительно имеющих в растворе недиссоциированных молекул H_2CO_3 , то угольная кислота должна быть значительно более сильной. По имеющимся оценкам, угольная кислота по силе сопоставима с муравьиной кислотой и значительно сильнее уксусной кислоты.

Угольная кислота не обладает окислительными свойствами и образует слабокислые растворы, что препятствует возникновению и сохранению пассивного состояния металлических материалов. С другой стороны, в ряде случаев при коррозии металлов образуются вторичные продукты, представляющие собой соли угольной кислоты (гидрокарбонаты и карбонаты). Если большинство гидрокарбонатов растворимы в воде, то карбонаты почти всех металлов (за ис-

ключением калия, натрия, рубидия и цезия, а также аммония) нерастворимы. Образующиеся на корродирующей поверхности осадки карбонатов могут заметно тормозить коррозию.

Металлы и сплавы в угольной кислоте обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны заметно корродируют в растворах угольной кислоты, особенно при аэрации. С уменьшением pH растворов скорость коррозии значительно возрастает (от 0,1 мм/год при pH 5,4 до 0,7 мм/год при pH 4,0). В таких условиях серые чугуны применимы в качестве конструкционного материала для оборудования, работающего при воздействии растворов угольной кислоты.

Особенно сильно увеличивается коррозия с повышением температуры и давления. В растворе, насыщенном диоксидом углерода, при 70 °С и давлении 0,25 МПа скорость коррозии углеродистых сталей достигает 3 мм/год [46]. Кроме того, стальная аппаратура, контактирующая с растворами угольной кислоты, подвергается местной коррозии, особенно по ватерлинии (глубина отдельных язв растет со скоростью 0,6—0,8 мм/год [44]).

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3 применимы в любых растворах угольной кислоты при всех температурах (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в растворах угольной кислоты стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) при любой температуре [3]. Никелевый аустенитный чугун типа нирезист (12—15% Ni; 5—8% Cu; 2—4% Cr) в насыщенном растворе при 95 °С корродирует со скоростью до 0,5 мм/год [88].

Высоколегированные стали типа X13—X28, X18N10T, X17N13M2T сохраняют высокую стойкость (скорость коррозии <0,05 мм/год) в любых растворах угольной кислоты при температуре до 100 °С [3, 45], а также в растворах кислоты при повышенной температуре (55 °С) и давлении (1,3 МПа) [2].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ остаются стойкими (скорость коррозии <0,05 мм/год) в любых растворах угольной кислоты при температуре до 100 °С [3, 45].

Никель и сплавы никеля. Растворенный в воде диоксид углерода вызывает незначительную коррозию никеля при температуре до 100 °С (скорость коррозии <0,15 мм/год) [40, 45]. Растворы, насыщенные диоксидом углерода и воздухом, могут оказывать разрушающее действие на никель. Агрессивность таких растворов зависит от состава газовой смеси над раствором и условий (давления, температуры). При давлении 0,25 МПа в интервале температур 50—120 °С усиление коррозии никеля происходит при содержании в смеси от 40 до 90% (об.) диоксида углерода [68]. При меньшем содержании CO₂ в смеси скорость коррозии никеля незначительна (например, 0,025 мм/год при 65 °С и 30% CO₂ в смеси). По мере увеличения содержания диоксида углерода в смеси скорость коррозии никеля сначала возрастает, а затем снижается. Максимальная скорость коррозии (2,4 мм/год) возникает при 70 °С и 70% CO₂ в смеси. При содержании в смеси 80% CO₂ даже при 100 °С скорость коррозии снижается до 1,1 мм/год [46]. По данным работы [3], в любых растворах угольной кислоты при температуре 100 °С скорость коррозии никеля 0,5—1,3 мм/год.

Коррозионное поведение медноникелевых сплавов подобно поведению никеля, но они обладают большей стойкостью, чем никель. Скорость коррозии монель-металла в воде, насыщенной газовой смесью 30% CO₂ + воздух, при

70 °С и давлении 0,25 МПа составляет 0,02 мм/год, в тех же условиях в воде, насыщенной смесью, содержащей 70% CO_2 , — 1 мм/год [20]. При содержании в смеси 30—80% CO_2 и давлении 3,7 МПа монель-металл стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) при температуре до 100 °С [3].

Сплавы никеля с хромом и железом (13—16% Cr; 6,5—7% Fe) в тех же условиях корродируют со скоростью <0,05 мм/год [3, 46].

Медь и медные сплавы. Медь в растворах, насыщенных диоксидом углерода, при обычной температуре корродирует со скоростью ~0,25 мм/год [40], в аэрированных растворах — со скоростью 0,5—1,3 мм/год [3].

Латуни и бронзы более стойки, чем медь. Однако повышенные концентрации растворов угольной кислоты могут вызвать обесцинкование латуней с большим содержанием цинка. Латунь Л60 и оловянистая бронза (4% Sn) без цинка в воде, насыщенной CO_2 , при 50 °С корродируют со скоростью около 0,02 мм/год. Стойкость алюминиевых бронз (БрА5, БрА7) в этих условиях еще выше (скорость коррозии <0,006 мм/год) [40].

Коррозионное поведение медноникелевых сплавов в растворах угольной кислоты сильно зависит от условий эксплуатации (содержания CO_2 , температуры и давления). Скорость коррозии сплава МН30 в воде, насыщенной газовой смесью 30% CO_2 + воздух, при температуре 70 °С и давлении 0,25 МПа составляет 0,02 мм/год, а в тех же условиях в воде, насыщенной смесью 70% CO_2 + воздух, увеличивается до 0,3 мм/год [40]. По данным работы [3], в любых деаэрированных растворах угольной кислоты при обычной температуре мельхиоры обладают высокой стойкостью (скорость коррозии <0,05 мм/год).

Алюминий в растворах угольной кислоты стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) только при нормальной температуре [3]. Повышение температуры до 50—60 °С увеличивает скорость коррозии алюминия до 1,3—3 мм/год [3, 40].

Сплавы алюминия, не содержащие медь, ведут себя подобно алюминию. Обычные литейные алюминиевые сплавы менее стойки в растворах угольной кислоты, чем алюминий (скорость коррозии сплава АЛ2 достигает 0,5 мм/год [46]).

Свинец при коррозии в растворах угольной кислоты образует гидроксосоле $\text{Pb}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$, но не на поверхности металла, а в растворе. Это не препятствует дальнейшему процессу разрушения, поэтому свинец ограниченно применим в растворах угольной кислоты. В воде, насыщенной диоксидом углерода и воздухом, при обычной температуре свинец нестойк [40], в деаэрированных насыщенных растворах — стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) при температуре до 100 °С [3].

Другие металлы. Титан, тантал стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) в растворах угольной кислоты при температуре до 100 °С [3].

Олово стойко в аэрированных растворах угольной кислоты до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40].

33.11. Фосфорная кислота — H_3PO_4

Фосфорную кислоту получают экстракционным и термическим методами. В основе экстракционного метода лежит разложение природных фосфатов серной кислотой. Получаемая экстракционная фосфорная кислота содержит большое количество агрессивных примесей и по коррозионной активности намного превосходит термическую фосфорную кислоту.

При термическом методе получения фосфорной кислоты природные фосфаты восстанавливают до свободного фосфора, который затем сжигают, а полученный пентаоксид дифосфора растворяют в воде:



Получаемая термическая фосфорная кислота отличается большей чистотой и повышенной концентрацией.

33.11.1. Термическая фосфорная кислота

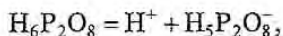
Фосфорная (ортофосфорная) кислота очень хорошо растворяется в воде. При растворении пентаоксида дифосфора в 100%-ной фосфорной кислоте образуется так называемая суперфосфорная кислота (фосфоолеум). Для удобства принято в высококонцентрированных растворах фосфорной кислоты указывать содержание пентаоксида дифосфора (100%-ная фосфорная кислота содержит 72,4% P_2O_5).

С увеличением концентрации растворов фосфорной кислоты повышается температура их кипения, особенно резко при концентрации кислоты более 65% (47% P_2O_5) — 100%-ная фосфорная кислота кипит при температуре 177 °С. При нагреве происходит концентрирование фосфорной кислоты до достижения азеотропной смеси с содержанием 91,1—92,1% P_2O_5 , кипящей при максимальной для всех растворов температуре 864 °С. С повышением концентрации водных растворов фосфорной кислоты сильно увеличивается их вязкость (особенно при температуре ниже 60—70 °С) и уменьшается электропроводность (кроме разбавленных растворов концентрацией менее 15%). Такие изменения свойств фосфорной кислоты обусловлены составом и строением растворов кислоты.

В растворах фосфорной кислоты существуют водородные связи между тетраэдрическими ионами PO_4^{3-} . В разбавленных растворах происходит гидратация фосфат-ионов, связывающая до пяти молекул воды на одну молекулу кислоты. В растворах концентрацией более 40% отсутствуют свободные молекулы воды. Вхождение молекул воды в структуру ослабляет водородные связи между анионами. Так, в 54%-ной H_3PO_4 фосфат-ионы связаны с водой прочнее, чем друг с другом. В концентрированных растворах фосфорной кислоты водородные мостики объединяют всю жидкость в единую макромолекулярную структуру [89—91].

Наличие водородных связей между молекулами фосфорной кислоты и образование в растворах ассоциатов различного состава и строения приводит к экстремальной зависимости степени диссоциации кислоты от ее концентрации (с минимумом в 1 М H_3PO_4). Это связано с присутствием в растворе молекул димера $H_6P_2O_8$, которые при ионизации образуют анионы $H_5P_2O_8^-$ [92]. Причем константа диссоциации димера значительно больше ($K = 0,3$), чем константа диссоциации H_3PO_4 первой ступени ($K_1 = 0,007$).

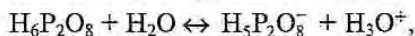
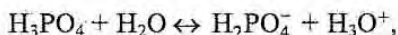
В разбавленных растворах фосфорная кислота является слабой кислотой, но в концентрированных растворах из-за образования димера $H_6P_2O_8$, диссоциирующего по реакции



она обладает весьма большой кислотностью. Так, при 25 °С растворы кислоты, содержащие 30 и 55% P₂O₅, имеют значение pH соответственно -0,25 и -1,1.

В растворах фосфорной кислоты существуют по крайней мере две протонные кислоты — мономер и димер. Мономер фосфорной кислоты является трехосновной сильной кислотой по первой ступени диссоциации ($K_1 = 7 \cdot 10^{-3}$), средней силы по второй ступени ($K_2 = 8 \cdot 10^{-8}$) и очень слабой по третьей ступени диссоциации ($K_3 = 4,8 \cdot 10^{-13}$). В растворах фосфорной кислоты при pH 1 присутствуют практически только молекулы недиссоциированной кислоты, при увеличении pH до 4,5 сосуществуют молекулы H₃PO₄ и анионы H₂PO₄⁻, а при pH 4,5 раствор содержит в основном ионы H₂PO₄⁻. С повышением температуры содержание свободной H₃PO₄ несколько увеличивается, а количество ионов H₂PO₄⁻ уменьшается [93—95].

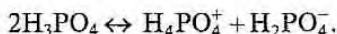
В разбавленных растворах фосфорной кислоты переход протона от одной молекулы к другой происходит через промежуточное образование катиона оксония [96]:



В концентрированных растворах кислоты таких ионов, способных свободно перемещаться, нет, но протоны могут перемещаться между молекулами конденсированных фосфорных кислот с образованием ионов типа H₄PO₄⁺:



Кроме того, с увеличением концентрации кислоты возрастает ее самопроизвольная диссоциация:

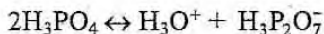


Все это приводит к увеличению удельной электропроводности растворов с повышением концентрации кислоты.

Таким образом, в разбавленных растворах фосфорной кислоты устойчивыми реакционноспособными образованиями являются ионы H₃O⁺ и H₂PO₄⁻, а в более концентрированных растворах — комплексы H₄PO₄⁺ и H₅P₂O₈⁻.

При нагревании растворы ортофосфорной кислоты вначале концентрируются, теряя воду, а затем происходит дегидратация кислоты с образованием дифосфорной H₄P₂O₇, метафосфорных (HPO₃)_n и ряда полифосфорных (H_{n+2}P_nO_{3n+1}) кислот. Температура перехода одной формы кислоты в другую повышается с ростом давления паров воды над растворами. По данным источника [90], агрегаты поликислот появляются в растворах фосфорной кислоты концентрацией 80% и выше.

В ряде случаев ионная дегидратация кислоты по реакции



может приводить к частичному обезвоживанию прианодного слоя и затруднению пассивации корродирующего металла [96].

Для фосфорной кислоты не характерны окислительные и восстановительные свойства. Однако, не принимая непосредственного участия в окислительно-восстановительных реакциях, она может существенно влиять на окислительно-восстановительные свойства других компонентов растворов (например, повышать окислительную способность ионов Cr^{6+} , Mo^{6+} и восстановительную способность ионов Fe^{2+} [97]).

Анионы фосфорной кислоты легко адсорбируются на поверхности ряда металлов. Адсорбируемость анионов растет в ряду $\text{PO}_4^{3-} < \text{HPO}_4^{2-} < \text{H}_2\text{PO}_4^-$ [98] в результате разной прочности их связи с водой. С катионами металлов анионы фосфорной кислоты образуют три ряда солей, растворимость которых падает с увеличением степени замещенности в фосфатах и температуры растворов. Адсорбируемость фосфатов и способность их образовывать нерастворимые соли являются одними из важнейших свойств фосфорной кислоты, влияющих на коррозию металлов.

Фосфорная кислота является неокислительной агрессивной средой, сложная структура которой, обусловленная возникновением ассоциатов различного состава и строения, изменяется с температурой и концентрацией кислоты.

Изменение состава и низкая окислительная способность растворов фосфорной кислоты затрудняют возникновение и сохранение пассивного состояния металлов. В результате при повышении температуры металл может переходить из пассивного состояния в активно-пассивное или активное состояние с увеличением скорости коррозии на порядок величины и более. Предельная температура сохранения металлом пассивного состояния (предельная температура самопассивации) зависит от природы металла, состава сплава и условий эксплуатации (концентрации кислоты, скорости движения, наличия теплопередачи и др.). Область устойчивого пассивного состояния сталей расширяется при увеличении содержания хрома в них и дополнительном легировании никелем, молибденом и медью. Так, в 50%-ной фосфорной кислоте для нержавеющих сталей 08X17T, 12X18N10T, 10X17N13M2T, 08X22N6T и 08X21N6M2T предельная температура самопассивации равна соответственно 74, 83, 89, 87 и 90 °C, а в кислоте концентрацией 90% — соответственно 67, 75, 81, 81 и 83 °C [99]. По данным работы [100], в 80%-ной кислоте переход в активно-пассивное состояние стали 08X18N10T происходит при температуре 70 °C, стали 10X17N13M2T — при 80 °C, сталей 08X22N6T, 08X21N6M2T — при 90 °C и сплава 06XN28MDT — при 110 °C. По нашим данным, минимальные значения температуры самопассивации соответствуют растворам, содержащим 58—62% P_2O_5 . В условиях теплоотдачи от металла к растворам кислоты в зависимости от величины температурного перепада предельная температура самопассивации сталей снижается на 10 °C и более [99].

Наибольшей агрессивностью по отношению ко многим материалам (коррозионно-стойкие стали, сплавы на железоникелевой и никелевой основе) обладает кислота концентрацией 54—63% P_2O_5 . При содержании P_2O_5 свыше 64% появляются конденсированные полимерные фосфорные кислоты, и коррозионная активность среды существенно снижается. При повышении температуры фосфорной кислоты коррозионно-стойкие стали и сплавы могут пе-

реходить из пассивного состояния в активное состояние, что сопровождается резким увеличением скорости коррозии.

Образующиеся при дегидратации другие виды фосфорных кислот также оказывают влияние на коррозионное поведение металлов, поскольку дифосфорная кислота более агрессивна, чем орто- и метафосфорная кислоты.

Эти особенности физико-химических свойств фосфорной кислоты определяют специфику электрохимического и коррозионного поведения металлов в ее растворах. Области применения металлических материалов в зависимости от температуры и концентрации чистой (термической) фосфорной кислоты ориентировочно показаны на рис. 33.45.

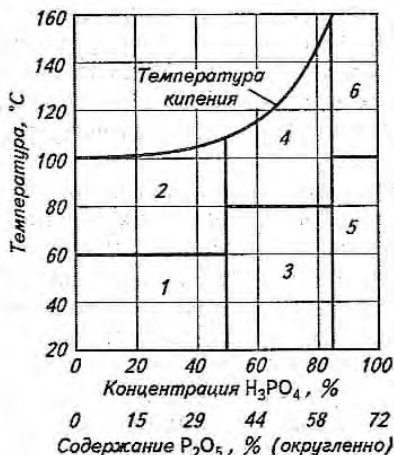


Рис. 33.45. Области применения металлических материалов в фосфорной кислоте:

1 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС15М4, ЧС17, ЧС17М3; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; стали типа X17—X28, X18Н10Т, X17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т, 03Х21Н21М4ГБ; сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ, ХН30МДБ, ХН40МДБ-ВИ, ХН40МДТЮ, ХН65МВ, ХН65МВУ, Н70МФВ-ВИ; монель-металлы; латунь; бронза; мельхиор; свинец; титан (до 35%, 30 °С); титановые сплавы 4200 (до 10%), 4201 (до 15%); цирконий; ниобий; тантал; молибден; серебро; платина; золото; 2 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС15М4, ЧС17, ЧС17М3; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; стали типа X25—X28, X18Н10Т (до 30%); X17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т, 03Х21Н21М4ГБ (до 100 °С); сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ, ХН30МДБ, ХН40МДБ-ВИ (до 40%); ХН40МДТЮ (до 80 °С), ХН65МВ, ХН65МВУ, Н70МФВ-ВИ; монель-металл (до 90 °С); свинец; титановые сплавы 4200 (до 10%), 4201 (до 15%); цирконий, ниобий (до 40%); тантал; молибден; серебро; платина; золото; 3 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС15М4, ЧС17, ЧС17М3; стали типа X25—X28 (до 50 °С); X18Н10Т (до 80%, 60 °С); X17Н13М2Т (до 80%); стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т, 03Х21Н21М4ГБ; сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ, ХН30МДБ, ХН40МДТЮ (до 70%); ХН65МВ, ХН65МВУ, Н70МФВ-ВИ; монель-металл; свинец; титановый сплав 4201 (до 70%); цирконий (до 60 °С); ниобий; тантал; молибден; серебро; платина; золото; 4 — стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т (до 100 °С); 03Х21Н21М4ГБ (до 70%, 100 °С); сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ, ХН30МДБ, ХН65МВ, ХН65МВУ (до 100 °С); Н70МФВ-ВИ; свинец; сурьмянистый свинец (до 120 °С); цирконий (до 70%, 100 °С); ниобий (до 100 °С); тантал; молибден; серебро (до 140 °С); платина; золото; 5 — стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т (до 90%); 03Х21Н21М4ГБ; сплавы ХН65МВ, ХН65МВУ, Н70МФВ-ВИ; молибден; тантал; серебро (до 90%); платина; золото; 6 — сталь 03Х21Н21М4ГБ (до 120 °С); сплавы ХН65МВ, ХН65МВУ (до 150 °С); Н70МФВ-ВИ (до 140 °С); тантал, молибден (до 90%, 150 °С); платина (до 200 °С); золото (до 90%, 120 °С)

Углеродистые стали и серые чугуны нестойки в фосфорной кислоте [3]. В 0,5%-ной кислоте при температуре 38 °С скорость коррозии углеродистой стали более 1 мм/год, а серого чугуна при концентрации кислоты 3% и температуре 20 °С — 0,6 мм/год [7].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3 при обычной температуре стойки в любых растворах фосфорной кислоты [3]. Повышение температуры сильно увеличивает коррозию, и в кислоте концентрацией 10—40% такие чугуны применимы до температуры кипения, а при концентрации 40—80% — до 90 °С (скорость коррозии 0,1 мм/год) [10, 46, 101]. В 80%-ной кислоте при 110 °С скорость коррозии кремнистых чугунов возрастает до 1,8 мм/год [60]. Аэрация растворов фосфорной кислоты усиливает коррозию чугунов. В деаэрированных растворах при температуре до 100 °С скорость коррозии кремнистых чугунов 0,1—0,5 мм/год [3].

Хромистые чугуны ЧХ28, ЧХ32 сохраняют стойкость в растворах фосфорной кислоты концентрацией менее 45% до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [60, 101, 102].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13 при обычной температуре стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) в фосфорной кислоте концентрацией до 90%, а при температуре 85 °С только в разбавленных (<5%) растворах. При температуре кипения в растворах концентрацией менее 10% скорость коррозии таких сталей достигает 1 мм/год [2].

Увеличение содержания хрома в сталях до 17% расширяет диапазон условий их коррозионной стойкости. Стали типа Х17 стойки в растворах концентрацией менее 50% до 80 °С [103] и в растворах концентрацией менее 85% до 50 °С [2]. В 80%-ной кислоте при 120 °С такие стали нестойки [60].

Хромистые стали типа Х25—Х28 при нормальной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) в растворах фосфорной кислоты концентрацией до 90% [2], при температуре кипения — до 50% [7, 61, 102]. В растворах концентрацией 70—80% при температуре 130 °С скорость коррозии сталей возрастает до 0,3 мм/год [60], при концентрации 105% и температуре 120 °С — до 0,5 мм/год [2].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) в растворах фосфорной кислоты концентрацией менее 80% при температуре до 80 °С [7, 15, 100]. Однако необходимо учитывать, что при концентрации кислоты 50—80% температура самопассивации сталей типа Х18Н10Т около 80—70 °С, сталей типа Х17Н13М2Т — около 90—80 °С [99, 100]. Сочетание предельных условий по температуре и концентрации кислоты может вызвать переход сталей в активно-пассивное состояние и нестабильность их коррозионного поведения. Поэтому при температуре кипения стали типа Х18Н10Т остаются стойкими только в растворах концентрацией менее 30—35% [2, 46], стали типа Х17Н13М2Т — менее 45—50% [2, 40, 46]. В более концентрированных растворах стали находятся в активно-пассивном или активном состоянии, и скорость коррозии их возрастает до 0,5 мм/год и более [2, 7] (рис. 33.46, 33.47). В кислоте концентрацией 98—100% при температуре 120 °С стали типа Х16Н15М3 корродируют со скоростью 1—1,5 мм/год [106, 107].

В условиях деаэрации при температуре ниже 100 °С стали типа Х18Н10Т обладают удовлетворительной стойкостью в растворах фосфорной кислоты

концентрацией до 50%, стали типа X17H13M2T — в растворах концентрацией до 70% (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [3].

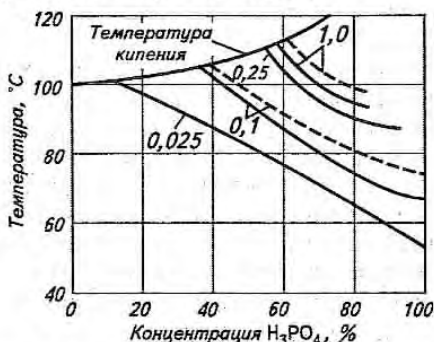


Рис. 33.46. Линии постоянной скорости коррозии (мм/год) сталей типа X18H10T (—) и X17H13M2T (----) в фосфорной кислоте [14, 44, 104, 105]

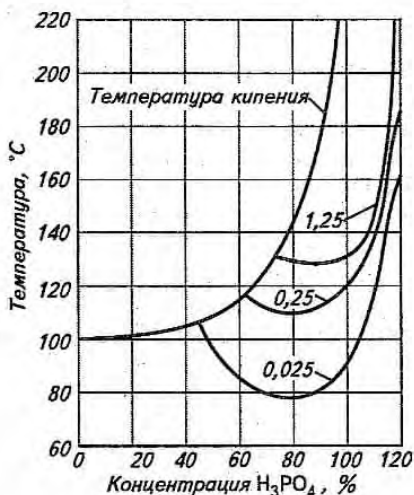


Рис. 33.47. Линии постоянной скорости коррозии (мм/год) сталей типа X17H13M2(3)T в фосфорной кислоте [3]

Аустенитную сталь 03X21H21M4ГБ можно применять (скорость коррозии <0,1 мм/год) в фосфорной кислоте концентрацией до 80% при 100 °С и от 80 до 114% при 120 °С [17]. По данным работ [17, 60, 107], сталь остается стойкой в 115%-ной кислоте при 160 °С. Однако в работе [107] отмечают, что в 73%-ной кислоте скорость коррозии стали возрастает почти до 1 мм/год, и рекомендуют применять сталь при воздействии кислоты концентрацией 70 и 115% при температуре не выше 100 °С.

Двухфазные стали 08X22H6T, 08X21H6M2T по коррозионной стойкости в фосфорной кислоте близки к аустенитным хромоникелевым сталям, и их можно применять в растворах концентрацией до 80% при 80 °С [7, 27, 100]

(по данным работы [15], до 90% при 100 °С). При температуре кипения стали остаются стойкими в растворах концентрацией до 40—50% [7, 100].

Хромомарганцевоникелевые стали 10X14Г14Н4Т, 08X18Г18Н2Т, 03X20Н16АГ6 стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) только в разбавленных растворах фосфорной кислоты. При температуре кипения сталь 08X18Г18Н2Т стойка в 10—20%-ной кислоте [2, 15]. При 80 °С сталь 10X14Г14Н4Т стойка в растворах концентрацией до 10% [17], сталь 03X20Н16АГ6 — до 50% [103].

Безникелевая аустенитная сталь 03X13АГ19 обладает высокой стойкостью (скорость коррозии 0,01 мм/год) в 10%-ной кислоте при температуре 50 °С [18].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) в растворах фосфорной кислоты концентрацией до 40% при температуре кипения [100], при концентрации 25—80% — до 100 °С [28, 29]. Увеличение концентрации до 80—85% и температуры до 110 °С приводит к переходу сплавов в активно-пассивное состояние и, соответственно, к нестабильной скорости растворения (от 0,1 до 0,5 мм/год) [7, 100]. Сплавы сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год) в полифосфорной кислоте концентрацией 106—108% при 120 °С, 112% — при 140 °С и 116% — при 160 °С [108].

Сплав ХН30МДБ в фосфорной кислоте обладает такой же коррозионной стойкостью, как и сплав 06ХН28МДТ, но в отличие от последнего сварные соединения сплава ХН30МДБ не подвержены ножевой коррозии [109]. В кислоте концентрацией 25—80% при температуре до 100 °С скорость коррозии сплава ХН30МДБ около 0,02 мм/год [29, 30].

Сплав ХН40МДБ стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) в растворах концентрацией до 40—50% при температуре кипения (рис. 33.48). Повышение концентрации до 60% увеличивает скорость коррозии сплава до 0,3 мм/год [27, 31].

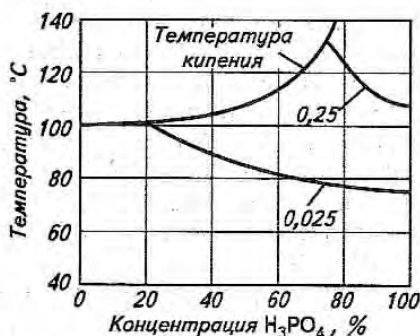


Рис. 33.48. Линии постоянной скорости коррозии (мм/год) сплава Инколой 825 (типа ХН40МДБ) в фосфорной кислоте [110]

Никель и сплавы никеля. В деаэрированной фосфорной кислоте любой концентрации никель можно применять до 100 °С [67]. Аэрация кислоты усиливает коррозию никеля, и он достаточно стоек (скорость коррозии <0,2 мм/год) только в разбавленных (5—15%) и концентрированных (75—105%) растворах при 50—65 °С [40]. В растворах средних концентраций (20—40%) при такой же температуре скорость коррозии возрастает до 0,5 мм/год [7, 61]. Повышение

температуры концентрированной кислоты (85—105%) до 95—105 °С увеличивает скорость коррозии никеля до 0,5—1,5 мм/год [2, 61]. По данным работы [3], никель обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) только в деаэрированных растворах фосфорной кислоты при обычной температуре.

Монель-металлы можно применять в деаэрированной фосфорной кислоте любой концентрации до температуры 100 °С [68]. В аэрированной кислоте сплав корродирует с большей скоростью (рис. 33.49), сохраняя достаточную стойкость (скорость коррозии 0,1—0,2 мм/год) при концентрации кислоты менее 85% и температуре до 80 °С [7, 40, 45, 68]. При температуре кипения в растворах концентрации 60—80% монель-металл нестойк [1, 61].

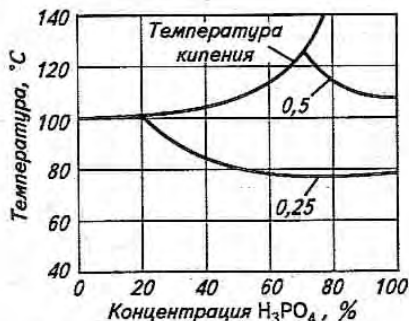


Рис. 33.49. Линии постоянной скорости коррозии (мм/год) монель-металла в фосфорной кислоте [44]

Никельмолибденовые сплавы (Н65М-ВИ, Н70МФВ и др.) отличаются высокой коррозионной стойкостью в фосфорной кислоте (рис. 33.50). По данным работы [111], сплав Н70МФВ-ВИ стоек (скорость коррозии <0,02 мм/год) в фосфорной кислоте всех концентраций до 140 °С (за исключением 94%-ной кислоты). В растворах концентрацией менее 50% сплав стоек до температуры кипения (скорость коррозии 0,1 мм/год) [41, 101, 112]. В более концентрированных (50—80%) растворах при температуре кипения скорость коррозии сплавов Н65М-ВИ и Н70МФВ-ВИ возрастает до 0,5 мм/год [2]. В кислоте концентрацией 85—100% сплавы остаются стойкими (скорость коррозии 0,1 мм/год) до 140 °С [112]. В полифосфорной кислоте (рис. 33.50, б) сплавы удовлетворительно стойки до 160—200 °С (скорость коррозии 0,1—0,4 мм/год) [111, 112]. При концентрации кислоты 100—116% сплав Н70МФВ стоек (скорость коррозии 0,1—0,2 мм/год) до 160 °С [110].

Дополнительное легирование никельмолибденовых сплавов хромом придает им повышенную коррозионную стойкость в окислительно-восстановительных средах. Поскольку фосфорная кислота не обладает окислительными свойствами, хромоникельмолибденовые сплавы не имеют каких-либо существенных преимуществ по коррозионной стойкости перед никельмолибденовыми сплавами. Сплавы ХН65МВ, ХН65МВУ и др. можно применять в растворах фосфорной кислоты концентрацией до 50% при температуре кипения

(скорость коррозии 0,1 мм/год) [2, 17, 41, 112]. С повышением концентрации до 85% скорость коррозии возрастает до 0,5 мм/год [2], и сплавы остаются стойкими (скорость коррозии 0,1 мм/год) только до 100—110 °С [112]. В концентрированной (87—100%) кислоте при температуре 150—160 °С скорость коррозии сплавов может достигать 0,2—0,3 мм/год [7]. В полифосфорной кислоте концентрацией 100—112% сплав ХН65МВ стоек до 140 °С (скорость коррозии 0,1 мм/год) [110].

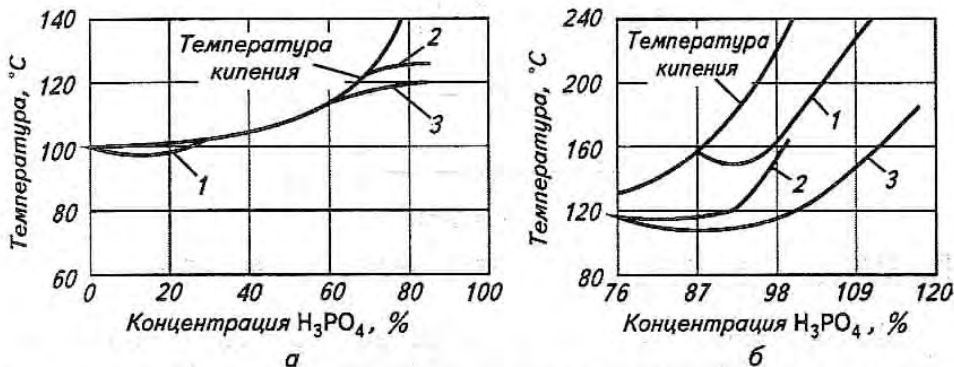


Рис. 33.50. Линии постоянной скорости коррозии (а — 0,1 мм/год [14]; б — 0,25 мм/год [60]) сплавов:

1 — Н70МФВ; 2 — ХН65МВ; 3 — 06ХН28МДТ в фосфорной кислоте

Хромоникелевые сплавы, не содержащие молибден, обладают меньшей стойкостью в фосфорной кислоте. Сплав ХН58В при температуре кипения стоек в растворах кислоты концентрацией до 20% [7], в более концентрированной (<40%) кислоте — только до 70 °С (скорость коррозии 0,1 мм/год) [17]. В кислоте концентрацией 80—90% при температуре 100—120 °С скорость коррозии сплава может достигать 0,5 мм/год [1].

Медь и медные сплавы. Коррозионное поведение этих материалов в большой степени зависит от количества кислорода около корродирующей поверхности, которое изменяется с увеличением концентрации кислоты, температуры и скорости потока.

Медь и латуни при обычной температуре в любых азрированных растворах фосфорной кислоты нестойки (скорость коррозии >1,3 мм/год). В деаэрируемой кислоте концентрацией менее 90% при температуре до 80—100 °С медь и латуни корродируют со скоростью 0,1—0,5 мм/год [3]. При температуре кипения в кислоте концентрацией 40—80% скорость коррозии латуни до 0,8 мм/год [1, 46].

Алюминиевые бронзы в кислоте концентрацией 20—60% при температуре кипения удовлетворительно стойки (скорость коррозии <0,3 мм/год) [4, 7]. Многокомпонентные алюминиевые бронзы в этих условиях разрушаются с большей скоростью (0,4—0,9 мм/год при дополнительном легировании железом и до 1,6 мм/год при дополнительном легировании марганцем [7]). Примечательно, что скорость коррозии алюминиевых бронз снижается с увеличением концентрации кислоты (рис. 33.51).

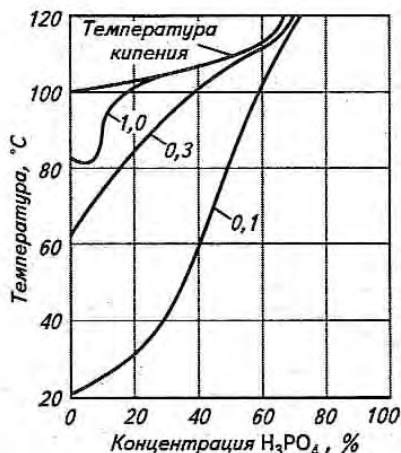


Рис. 33.51. Линии постоянной скорости коррозии (мм/год) алюминиевой бронзы (7% Al; 2,5% Fe) в фосфорной кислоте [110]

Никелевые бронзы в коррозионном отношении ведут себя подобно меди. Скорость коррозии никелевой бронзы (14,5% Ni; 2,5% Al) при температуре 75 °С в 20%-ной кислоте 0,6 мм/год, а в 60%-ной — 0,03 мм/год [4].

Оловянистые бронзы в фосфорной кислоте концентрацией 40—60% при температуре кипения и в кислоте концентрацией 60—80% при 120 °С корродируют со скоростью 0,5—0,6 мм/год [7], кремнистые бронзы в таких же условиях — со скоростью менее 0,3 мм/год [68].

Коррозионное поведение медноникелевых сплавов (типа мельхиор) сильно зависит от степени аэрации кислоты (скорость коррозии может изменяться от 0,03 до 6 мм/год). Сплав 70% Cu — 30% Ni в кислоте концентрацией 75% при 70 °С корродирует со скоростью около 0,7 мм/год [4, 68].

Свинец в растворах фосфорной кислоты концентрацией менее 50% стоек (скорость коррозии 0,1 мм/год) до температуры кипения. В кислоте концентрацией 50—85% свинец стоек до 200 °С, сурьмянистый свинец — до 120 °С [8, 45].

Титан и сплавы титана. Титан стоек в фосфорной кислоте только при небольших температурах (рис. 33.52). В растворах концентрацией менее 30% только при 35 °С скорость коррозии не превышает 0,1 мм/год [7, 10, 46, 83], при повышении температуры до 60 °С — возрастает до 1 мм/год [101]. В кислоте концентрацией 30—85% даже при температуре 35 °С скорость коррозии достигает 0,7—0,8 мм/год [40, 83]. В полифосфорной кислоте концентрацией 107% коррозионная стойкость титана значительно выше, чем в ортофосфорной кислоте (при 40 °С скорость коррозии 0,005 мм/год [39]).

Сплав 4200 обладает несколько большей стойкостью, чем титан. Он стоек (скорость коррозии < 0,2 мм/год) в фосфорной кислоте концентрацией до 15% при 50 °С и концентрацией до 10% при температуре кипения. Сплав 4201 стоек (скорость коррозии 0,1—0,2 мм/год) в кислоте концентрацией 15% до 150 °С и концентрацией 50—70% при температуре кипения [81].

Цирконий в фосфорной кислоте обладает значительно большей коррозионной стойкостью, чем титан (рис. 33.53). В разбавленных (10%) растворах кислоты цирконий сохраняет стойкость до температуры 250 °С [85], в кислоте концентрацией до 50% — до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [41, 101]. В кислоте концентрацией 60–70% цирконий можно применять до 100 °С, концентрацией 75–85% — до 60 °С (при 100 °С нестойк) [40, 46, 83].

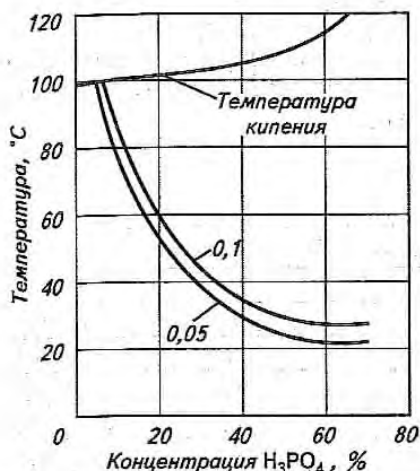


Рис. 33.52. Линии постоянной скорости коррозии (мм/год) титана в фосфорной кислоте [39]

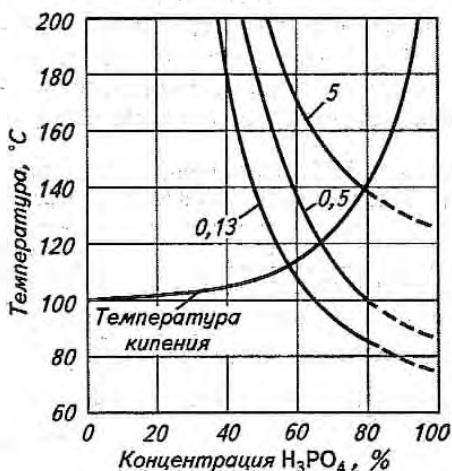


Рис. 33.53. Линии постоянной скорости коррозии (мм/год) циркония в фосфорной кислоте [82]

Ниобий при температуре кипения относительно стоек (скорость коррозии <0,25 мм/год) в растворах кислоты концентрацией до 40%, в более концентрированных растворах (60%) скорость коррозии возрастает до 0,5 мм/год [10]. При концентрации кислоты 60–85% ниобий можно применять до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40, 101].

Серебро можно применять (скорость коррозии 0,1 мм/год) в фосфорной кислоте концентрацией менее 25% до температуры кипения и концентрацией 25–85% до 140 °С. При температуре 160 °С скорость коррозии серебра в таких растворах возрастает до 0,3 мм/год [7, 40, 45, 68].

Благородные металлы. Золото практически не подвергается разрушающему действию фосфорной кислоты и сохраняет очень высокую стойкость (скорость коррозии <0,001 мм/год) в кислоте концентрацией до 85% при температуре кипения [40, 45].

Платина стойка в растворах концентрацией менее 85% до температуры кипения [45], в более концентрированных растворах — до температуры 200–300 °С [7, 46].

Иридий, рутений, родий стойки в фосфорной кислоте при 100 °С [2], палладий при такой температуре в 10%-ной кислоте подвергается слабой коррозии, осмий быстро разрушается [10].

Другие металлы. Алюминий нестойк в растворах фосфорной кислоты при комнатной температуре. Лишь в очень разбавленных (<1%) растворах скорость коррозии алюминия 0,1—0,2 мм/год [7, 40]. Силумин (12—13% Si) в таких условиях нестойк [7, 101].

Олово нестойко в растворах фосфорной кислоты любой концентрации при нормальной температуре [7, 46].

Тантал, молибден остаются стойкими (скорость коррозии <0,05 мм/год) в кислоте концентрацией менее 60% до температуры кипения и при концентрации менее 85% до температуры 190—200 °С [10, 41, 45, 101].

В табл. 33.6 приведены предельные сочетания концентрации и температуры фосфорной кислоты для некоторых металлов и сплавов, при которых они сохраняют достаточную коррозионную стойкость.

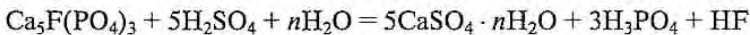
Таблица 33.6. Предельные условия применения металлов и сплавов в фосфорной кислоте

Материал	Концентрация, %	Температура, °С	Источник
Бронза алюминиевая Бр.АЖ 9-4	80—90	90	[60]
Золото	85	Кип.	[40, 45]
Молибден	50—60	Кип.	[7, 40, 41]
	85	190	[7, 40, 41]
Ниобий	40	Кип.	[10, 40, 101]
	В 60—85	100	[40, 101]
Платина	85	Кип.	[45]
Свинец	50	Кип.	[8, 45]
	85	200	[8, 45]
Свинец сурьмянистый	85	120	[8, 45]
Серебро	25	Кип.	[40, 101]
	85	140	[7, 40, 45, 68]
Сплав:			
03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ	40	Кип.	[1, 5, 100]
	80	100	[28, 29, 100]
	В 106—116	120—160	[2, 108]
ХН30МДБ	80	100	[29, 30]
ХН40МДБ-ВИ	40—60	Кип.	[27, 31, 71]
ХН40МДТЮ	70	80	[17, 71]
	В 110—115	130	[17, 71]
ХН58В	20	Кип.	[7]
ХН65МВ, ХН65МВУ	50—60	Кип.	[2, 17, 71]
	85	120	[2, 14, 112]
Н70МФВ-ВИ	50	Кип.	[101, 112]
	90	140	[71, 112]
НМЖМц 28-2,5-1,5	85—90	90—100	[7, 45, 61]

Материал	Концентрация, %	Температура, °С	Источник
4200 (Ti — 0,2% Pd)	15	50	[101]
4201 (Ti — 30% Mo)	15	150	[101]
Сталь:			
15X25T, 15X28	Любая	50	[60]
08X18H10T	35	Кип.	[2, 14]
	80	60	[60]
	25	Кип.	[71]
08X17H13M2T, 10X17H13M3T	40	100	[71]
	80	80	[60]
	90	100	[17, 71]
08X22H6T, 08X21H6M2T	10	80	[17]
10X14Г14Н4Т	80	100	[17, 107, 109]
	В 80—114	120	[17]
	В 115	160	[17, 107]
Тантал	60	Кип.	[41, 45, 101]
	85	190—200	[1, 10, 41]
Титан	20	40	[113]
	30	35	[7, 10, 46, 83]
Цирконий	50	Кип.	[41, 101]
	60—70	100	[40, 46, 83]
Чугун:			
ЧС15, ЧС15М4, ЧС17, ЧС17М3	40	Кип.	[10, 46, 101]
	80	80	[10, 46, 101]
ЧХ28, ЧХ32	45	Кип.	[60, 101, 102]

33.11.2. Экстракционная фосфорная кислота (ЭФК)

Экстракционный, или мокрый, метод получения фосфорной кислоты основан на разложении природных фосфатов серной кислотой по реакции:

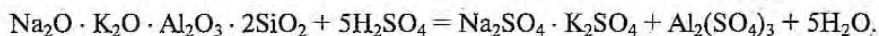


с последующим отделением жидкой фазы от сульфатного осадка.

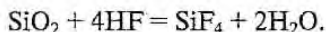
Степень гидратации сульфата кальция зависит от конкретных условий ведения процесса экстракции. Сульфат кальция может образовываться в виде гипса, полугидрата или гидрата. В соответствии с этим различают три режима экстракции фосфорной кислоты: дигидратный, полугидратный и ангидратный. Наиболее распространен дигидратный режим, который осуществляется при температуре 65—80 °С с получением кислоты концентрацией до 30—32% P₂O₅. Полугидратный режим при температуре 90—105 °С позволяет производить кислоту, содержащую до 50% P₂O₅. На ряде производств применяют комбинированные полугидратно-дигидратные способы экстракции, которые при

высокой степени использования сырья дают возможность получать кислоту с концентрацией до 50% P_2O_5 . Ангидратный режим экстракции в промышленном масштабе не используют.

Одновременно с основной реакцией разложения фосфатов происходит разложение и других минералов, содержащихся в фосфатном сырье: кальцита, доломита, алюмо- и железосиликатов, например, по реакции:



Некоторые продукты реакций разложения фосфатного сырья взаимодействуют между собой. Так, например, диоксид кремния активно реагирует с фтороводородом:

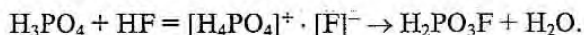


При этом одна часть SiF_4 выделяется в газовую фазу, а другая — превращается в гексафторокремниевую кислоту, остающуюся в растворе:



SiF_4 в растворе может диссоциировать с образованием комплексных ионов SiF_3^+ . Аналогично диоксиду кремния с фтороводородом взаимодействует и оксид алюминия. В результате в растворе ЭФК появляются устойчивые комплексные ионы типа AlF_2^+ и AlF_6^{3-} .

В концентрированных растворах экстракционной фосфорной кислоты, содержащих более 54% P_2O_5 , происходит непосредственное взаимодействие фтороводородной кислоты с ортофосфорной кислотой:



Таким образом, в экстракционной фосфорной кислоте содержатся такие примеси, как H_2SO_4 , Cl^- , F^- , Si^{4+} , Al^{3+} , Fe^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} и другие, а также их различные соединения. Количество примесей зависит от используемого фосфатного сырья, концентрации кислоты и температуры процесса экстракции (табл. 33.7).

Коррозионная активность экстракционной фосфорной кислоты определяется концентрацией P_2O_5 , содержанием примесей и температурой. Наиболее агрессивными примесями в ЭФК являются соединения фтора, хлора и сульфата.

Фтор присутствует главным образом в виде гексафторокремниевой и фтороводородной кислот. Ионы F^- , имеющие малый ионный радиус, в растворах существуют в сольватированном виде. Они затрудняют пассивацию коррозионно-стойких сталей и сплавов на основе никеля, а также существенно увеличивают скорость растворения этих материалов в пассивном состоянии. С увеличением содержания ионов F^- скорость коррозии большинства нержавеющей сталей и сплавов в ЭФК закономерно возрастает. Со многими металлами, особенно с кремнием и алюминием, фторид-ионы образуют устойчивые комплексные ионы (типа SiF_3^+ , SiF_6^{2-} , AlF_2^+ , AlF_6^{3-}). Металлофторидные катионы и анионы обладают значительно меньшей коррозионной активностью, чем свободные фторид-ионы. Поэтому присутствие в сырье и, соответственно,

в ЭФК соединений кремния и алюминия является желательным из-за возможного снижения агрессивности технологической среды. Чем больше кремнезема в фосфатах, тем большее количество фтора связывается в химические соединения на стадии разложения сырья и тем ниже агрессивность технологических сред. Для коррозионной стойкости металлов предельно допустимым соотношением (в атомных долях) между содержанием фтора и кремния (в виде SiF_6^{2-}) в ЭФК является 6:1. При большем отношении F:Si в растворе появляется свободная фтороводородная кислота, что снижает коррозионную стойкость нержавеющей сталей и сплавов на железоникелевой основе.

Таблица 33.7. Состав экстракционной фосфорной кислоты, % (масс.), в зависимости от вида фосфатного сырья

Вещество	Кольский апатит		Фосфорит Каратау		Мировая практика	
	без упарки	с упаркой	без упарки	с упаркой	без упарки	с упаркой
P_2O_5	25—40	54—75	20—22	33—42	10—40	32—75
SO_3	1,8—2,8	2,5—4,5	3,2—3,5	<5,0	1,0—4,0	1,0—4,0
F	1,5—1,8	0,15—0,5	1,4—1,6	<0,8	0,2—3,5	0,1—1,5
Cl^-	—	—	—	—	<0,1	<0,05
SiO_2	—	—	—	—	<1,8	<0,7
Al_2O_3	0,5—1,0	1,5—2,0	<1,2	<1,9	0,2—3,0	0,2—3,0
Fe_2O_3	0,8—1,1	0,7—2,0	<0,8	<1,0	0,2—3,0	0,1—2,5
MgO	—	—	1,8—3,1	3,0—5,0	0,1—1,5	0,1—1,5
CaO	0,2—0,4	0,3—0,6	<0,1	<0,15	0,1—1,5	0,1—1,5
Суммарное содержание примесей	<7,1	<9,3	<10,4	<13,8	<16	<18

*В отечественных нормативных документах содержание хлоридов не регламентировано. При переработке фосфатов из Сирии, Иордании, Израиля содержание хлоридов в кислоте может превышать 0,5%.

Хлориды попадают в ЭФК как из фосфатного сырья, так и из используемой технической воды. Ионы Cl^- , обладающие большим ионным радиусом, практически не образуют сольватных комплексов с компонентами раствора и поэтому легко адсорбируются на поверхности металлов. Это затрудняет пассивацию, определяющую коррозионную стойкость нержавеющей сталей и сплавов на никельхромовой основе, а также может приводить к возникновению весьма опасной точечной (питтинговой) и язвенной коррозии. Присутствие хлорид-ионов в количествах, исчисляемых сотыми долями процента, негативно влияет на коррозионную стойкость многих сталей и сплавов в ЭФК. Превышение определенного содержания хлоридов в кислоте приводит к резкому увеличению скорости коррозии металлов и сплавов. В мировой практике критической концентрацией ионов Cl^- в ЭФК считается 0,1%, однако для многих сталей и сплавов эта величина не должна превышать 0,01—0,05%. Так, содержание 0,05% хлорид-ионов в ЭФК не оказывает существенного влияния на коррозию сплава 06ХН28МДТ при температуре 80 °С, а увеличение их количества до 0,1%

и более приводит к появлению питтингов и возрастанию общей скорости коррозии ($>0,3$ мм/год) [114]. При совместном присутствии в ЭФК ионов F^- и Cl^- их допустимые количества сильно зависят от состава сплавов (рис. 33.54).

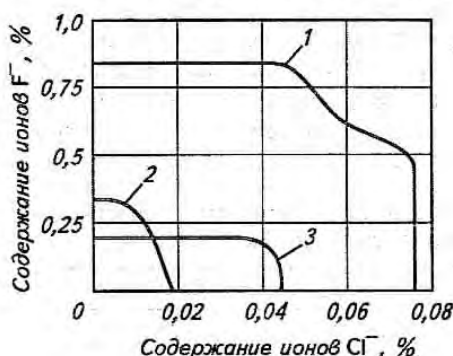


Рис. 33.54. Линии постоянной скорости коррозии (0,3 мм/год) в экстракционной фосфорной кислоте (70% H_3PO_4 ; 4% H_2SO_4 ; 0,45% Fe^{3+}) [данные Sandvik Steel]:

1 — сплав Sanicro 28 (типа ХН30МДБ); 2 — сплав 825 (типа ХН40МДБ); 3 — сталь 2RK65 (типа 02Х21Н25М5ДБ)

Сульфаты в ЭФК находятся в основном в виде свободной серной кислоты и образующегося сульфата кальция, концентрация которых зависит от технологического режима и условий кристаллизации сульфата кальция. Большое коррозионное действие на металлические материалы может оказывать серная кислота. Ионы SO_4^{2-} также затрудняют пассивацию нержавеющей сталей и сплавов и, кроме того, могут усиливать активирующее действие хлорид- и фторид-ионов. С увеличением содержания свободной серной кислоты в ЭФК скорость коррозии большинства нержавеющей сталей и сплавов закономерно возрастает. Сталь 10Х17Н13М2Т остается стойкой (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) при соотношении $SO_3:P_2O_5$ до 1:10, а затем коррозия возрастает (при соотношении 1:16 до 0,75 мм/год). Сталь 03Х21Н21М4ГБ и сплав 06ХН28МДТ стойки (скорость коррозии $<0,15$ мм/год) при соотношении соответственно до 1:13 и 1:16 и относительно стойки (скорость коррозии $\sim 0,2$ мм/год) до 1:21 и 1:37 [115]. По отечественным данным, при дигидратном режиме экстракции предельным соотношением (по массе) $SO_4^{2-}:P_2O_5$ для сплавов типа ХН28МДТ является отношение 1,2:10 (для кислоты концентрацией 32% P_2O_5 это соответствует содержанию в ней 3,8% SO_4^{2-}). Эффект от коррозионной активности серной кислоты в ЭФК относительно небольшой, если она присутствует в обычной (до 4—5%) концентрации.

Примеси кремния и алюминия, связывающие фторид-ионы в устойчивые металлофторидные комплексы и фторид кремния в растворах ЭФК, являются своеобразными ингибиторами коррозии. Они уменьшают содержание свободных фторидов и снижают коррозионную активность ЭФК.

Примеси железа, присутствующие в растворах ЭФК в виде ионов Fe^{3+} , являются сильным окислителем. В ходе коррозионного процесса эти ионы активно восстанавливаются до состояния Fe^{2+} , существенно увеличивают эффектив-

ность суммарной катодной реакции, способствуя пассивации нержавеющей сталей и сплавов. Однако использование фосфоритов с большим содержанием примесей железа способствует образованию в процессе экстракции растворов, пересыщенных фосфатами железа. Это приводит к повышенным потерям с фосфогипсом экстрагированного P_2O_5 . Поэтому обычно применяют фосфаты, в которых соотношение $Fe_2O_3:P_2O_5$ не превышает 0,08.

Некоторые фосфатные руды содержат небольшие примеси соединений меди(II) и урана(VI), которые переходят в раствор ЭФК в виде ионов Cu^{2+} и UO_4^{4-} и, действуя подобно ионам железа(III), способствуют пассивации металлов и сплавов.

Таким образом, коррозионная активность экстракционной фосфорной кислоты в большой степени зависит от используемого фосфатного сырья, содержащего различные количества примесей. Фосфаты Бразилии (Авакса), Науру, Сенегала (Таиба), США (Флорида), ЮАР (Фалабурва) позволяют получать ЭФК с низкой коррозионной активностью. Фосфаты Марокко (Хуригба, Юссуфия), России (Кольский полуостров), Сахары (Бу Краа), США (Северная Каролина), Того, Туниса (Гафса) отличаются средней агрессивностью, а наиболее агрессивны фосфаты из Израиля, Иордании, Мексики и Сирии.

Кроме растворимых компонентов, пульпа ЭФК содержит значительное количество твердой фазы в виде кристаллов фосфогипса (сульфата кальция и неразложившихся минералов). Обычно массовое соотношение между жидкой и твердой фазами поддерживают в пределах от 1,8:1 до 3,5:1. В непрерывно перемешиваемых растворах фосфогипс практически не влияет на коррозионную активность кислоты. Более того, кристаллизуясь на металлической поверхности в виде плотного осадка с хорошей адгезией, фосфогипс частично экранирует металл от воздействия ЭФК. В неупаренной кислоте осадки состоят обычно из сульфата кальция, гексафторосиликата натрия и небольшого количества комплексных кремнефторидов. В упаренной кислоте осадки состоят из смеси однозамещенных фторфосфатов железа, алюминия и кальция. В ряде случаев в прилегающих к металлу слоях фосфогипса наблюдали повышенное содержание ионов-активаторов.

При интенсивном движении пульпы ЭФК присутствующие в ней частицы твердой фазы вызывают коррозионно-абразивный износ металлов. Частицы твердой фазы, ударяясь о металлическую поверхность, разрушают тонкие защитные слои и тем самым ускоряют коррозию металла. Агрессивная среда, в свою очередь, взаимодействуя с металлической поверхностью, не только вызывает растворение металла, но и снижает прочность его поверхностных слоев. В результате усиливается и коррозионное, и абразивное разрушение металла. Доля абразивного износа увеличивается с повышением скорости движения пульпы, содержания в ней твердой фазы, твердости и размеров частиц. Для некоторых коррозионно-стойких сплавов, используемых в пульповых насосах, на долю абразивного износа приходится до 80% от общей потери массы металла.

В ряде производств требуется фосфорная кислота концентрацией 37—56% P_2O_5 и более. Такую кислоту получают упариванием экстракционной фосфорной кислоты. При этом увеличивается количество примесей в кислоте, а состав их значительно изменяется (см. табл. 33.7). Нагрев ЭФК до 100 °С сопровождается разложением металлофторидных комплексов с образованием высоколетучих фторсодержащих соединений (SiF_4 , HF) и свободных ио-

нов F^- . С увеличением концентрации ЭФК возрастает парциальное давление пара растворенной в ней гексафторокремниевой кислоты. Поэтому при упарке фосфорной кислоты до концентрации 52—57% P_2O_5 в газовую фазу выделяется 80—90% содержащегося в исходном растворе фтора (в виде эквивалентной смеси $2HF + SiF_4$). В результате общее содержание фторидов в растворе уменьшается, но они присутствуют в самой коррозионно-опасной форме.

Выделяющиеся в газовую фазу соединения фтора растворяются в сконденсированной воде и образуют агрессивную смесь гексафторокремниевой и фтороводородной кислот, которая может вызвать интенсивную коррозию конструкционных материалов. Коррозионная активность фторсодержащих газов зависит от концентрации в них фтора, воды, соотношения $HF:SiF_4$ и температуры.

При концентрациях ЭФК свыше 54% P_2O_5 из-за реакции взаимодействия фтороводородной кислоты с ортофосфорной кислотой содержание несвязанных фторидов уменьшается. В процессе упаривания в экстракционной фосфорной кислоте снижается также содержание хлоридов и увеличивается количество соединений алюминия, магния и железа. Все это способствует изменению коррозионной активности кислоты. Чистая суперфосфорная кислота (около 70% P_2O_5) при высокой температуре оказывает сильное разрушающее действие на высоколегированные стали и сплавы. Однако присутствие в такой кислоте некоторых примесей может в значительной степени тормозить процесс коррозии. Так, по данным Sandvik Steel, в чистой суперфосфорной кислоте (68,5% P_2O_5 ; 0,03% SO_3 ; 0,19% F; 0,004% Cl; 1,41% F^{3+}) при 170 °C скорость коррозии сплава Sanicro 28 (типа ХН30МДБ) достигает 3 мм/год, а в той же кислоте, содержащей дополнительно 0,25% Mg^{2+} , — снижается до 0,1 мм/год.

Таким образом, при выборе конструкционных материалов необходимо учитывать, что примеси могут в значительной степени изменять коррозионную активность кислоты и во многих случаях материалы, стойкие в чистой фосфорной кислоте, становятся непригодными для экстракционной фосфорной кислоты.

Поскольку экстракционная фосфорная кислота имеет достаточно сложный состав, изменение которого сильно влияет на коррозию металлов и сплавов, целесообразно условно разделить кислоту на отдельные группы с усредненным составом.

ЭФК с содержанием до 38% P_2O_5 , до 3,5% SO_3 , 1,3—2,3% F

В эту группу попадает экстракционная фосфорная кислота концентрацией 30—32% P_2O_5 , получаемая дигидратным способом при температуре 60—80 °C.

Металлы и сплавы в ЭФК с таким содержанием P_2O_5 обладают следующей коррозионной стойкостью.

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13 при повышенных температурах в растворах ЭФК нестойки, стали с 28% хрома сохраняют стойкость только в кислоте небольшой концентрации. Скорость коррозии стали 10Х13 в кислоте, содержащей 20% P_2O_5 ; 2,5% SO_3 ; 1,6% F, при 80 °C превышает 3 мм/год, а стали 15Х28 — менее 0,1 мм/год. Однако даже незначительное повышение концентрации кислоты (24% P_2O_5 ; 3,4% SO_3 ; 0,9% F) при 76 °C увеличивает скорость коррозии стали 15Х28 до 0,6 мм/год [88].

Диапазон условий применения хромоникелевых сталей в экстракционной фосфорной кислоте, содержащей примеси серной кислоты и соединений фтора, значительно уже, чем в чистой фосфорной кислоте. Аустенитные стали типа Х17Н13М2Т в ЭФК концентрацией 28—36% P_2O_5 ; 1,5—2,5% SO_3 ; 1,4—1,9% F стойки до 70—80 °С [116, 117]. При повышении температуры до 95 °С в кислоте, содержащей 28,3% P_2O_5 ; 2,5% SO_3 ; 1,4% F, сталь 10Х17Н13М2Т нестойка [117].

Аустенитная сталь 03Х21Н21М4ГБ остается стойкой (скорость коррозии <0,1 мм/год) в растворах ЭФК состава 28—36% P_2O_5 ; 1,6—2,5% SO_3 ; 1,4—2,3% F при температуре 80—90 °С [26, 27, 118]. Повышение температуры до 95 °С кислоты состава 28,3% P_2O_5 ; 2,5% SO_3 ; 1,4% F и до 100 °С кислоты состава 30% P_2O_5 ; 2% SO_3 ; 2% F увеличивает скорость коррозии стали соответственно до 0,4 [117] и 0,15 мм/год [119].

Двухфазная сталь 08Х22Н6Т в этих условиях сохраняет стойкость (скорость коррозии 0,1 мм/год) до 80 °С [118], сталь 08Х21Н6М2Т — до 90 °С [116, 120]. Аустенитно-ферритная сталь 03Х24Н6АМЗ в кислоте состава 29,7% P_2O_5 ; 1,65% SO_3 ; 1,86% F стойка (скорость коррозии 0,1 мм/год) до 95 °С, в кислоте состава 36,9% P_2O_5 ; 1,5% SO_3 ; 1,3% F — до 100—105 °С [116].

Повышение количества хлоридов в ЭФК сверх допустимых пределов не только сильно увеличивает скорость общей коррозии сталей, но и способствует возникновению интенсивной питтинговой коррозии. В кислоте, содержащей 31% P_2O_5 ; 2,5% SO_3 ; 2% F; 0,25% Cl, при 70 °С скорость общей коррозии стали 10Х17Н13М2Т возрастает до 0,8 мм/год, стали 03Х21Н21М4ГБ — до 0,5 мм/год [114].

Необходимо отметить, что в горячих растворах ЭФК сварные соединения многих высоколегированных сталей подвержены интенсивной межкристаллитной и ножевой коррозии.

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ по коррозионной стойкости в экстракционной фосфорной кислоте несколько превосходят нержавеющие стали. Сплав 06ХН28МДТ в кислоте состава 28—30% P_2O_5 ; 2—2,5% SO_3 ; 1,4—2% F можно применять до температуры 80—90 °С [117—119, 121], в кислоте с 36—37% P_2O_5 ; 1,5—2% SO_3 ; 1,3—1,7% F — до 95—100 °С [114, 116, 121]. Сплав 03ХН28МДТ в кислоте, содержащей 35—39% P_2O_5 ; 0,9—1,2% SO_3 ; 1,6—2% F, можно применять до температуры 90—95 °С [122].

Увеличенное количество хлоридов усиливает коррозию сплавов 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ при 70 °С соответственно до 0,6 и 0,2 мм/год в ЭФК состава 30—31% P_2O_5 ; 2—2,5% SO_3 ; 2% F; 0,25% Cl [114]. При этом сварные соединения сплавов типа ХН28МДТ в растворах ЭФК подвержены межкристаллитной коррозии.

Сплавы ХН30МДБ и ХН40МДБ обладают высокой стойкостью в условиях дигидратного процесса получения экстракционной фосфорной кислоты. Скорость коррозии сплава ХН30МДБ составляет 0,02 мм/год [123], сплава ХН40МДБ — 0,04 мм/год [40]. При температуре 95—100 °С в ЭФК, содержащей 36—38% P_2O_5 и 1,8% F, скорость коррозии сплава ХН30МДБ менее 0,1 мм/год [27].

Никелевый сплав ХН63МБ стоек в дигидратной (30% P_2O_5 ; 2% SO_3 ; 2% F) и полугидратной (30% P_2O_5) ЭФК до температуры 100—110 °С (скорость кор-

розии <0,15 мм/год [119, 121]. В кислоте, содержащей дополнительно 0,24—0,26% Cl, сплав не подвержен питтинговой коррозии [114].

Сплав ХН65МВ стоек в экстракционной фосфорной кислоте, получаемой дигидратным методом [111].

Монель-металл нестойк в экстракционной фосфорной кислоте. Даже при 65 °С в ЭФК, содержащей 30% P₂O₅; 2% SO₃; следы F, скорость коррозии сплава более 10 мм/год [40].

ЭФК с содержанием 42—54% P₂O₅, до 3,5% SO₃, 1,6—2,1% F

В эту группу попадает экстракционная фосфорная кислота концентрацией до 50% P₂O₅, полученная полугидратным способом при температуре 90—105 °С, а также кислота, полученная дигидратным способом и упаренная до концентрации 52—54% P₂O₅.

Металлы и сплавы в ЭФК с таким содержанием P₂O₅ обладают следующей коррозионной стойкостью.

Высоколегированные стали типа Х17Н13М3Т относительно стойки только при небольшой температуре. В кислоте, содержащей 54% P₂O₅; 2% SO₃; 0,6% F; 0,012% Cl, при 30 °С скорость коррозии таких сталей около 0,2 мм/год [7].

Сталь 03Х21Н21М4ГБ в подобных условиях при 80—90 °С корродирует с такой же скоростью [124]. По данным работ [27, 107], эта сталь в условиях упарки ЭФК до концентрации 54% P₂O₅ стойка до 100—120 °С. В кислоте, содержащей 32% P₂O₅ и 2% H₂SiF₆, при 100 °С скорость коррозии стали менее 0,1 мм/год [125].

Сталь 02Х21Н25М5ДБ в экстракционной фосфорной кислоте (до 54% P₂O₅ и до 1,8% F) сохраняет стойкость (скорость коррозии 0,1 мм/год) до температуры 90 °С [27]. По данным Sandvik Steel, сталь 2RK65 (типа 02Х21Н25М5ДБ) в кислоте концентрацией 52—54% P₂O₅ при 110 °С корродирует со скоростью более 0,6 мм/год.

Сплав на железоникелевой основе 06ХН28МДТ, по нашим данным, сохраняет стойкость (скорость коррозии ~0,1 мм/год) в кислоте, содержащей до 54% P₂O₅; 3,5% SO₃; 1% F, при температуре 95 °С. Согласно источнику [124] сплав 03ХН28МДТ в кислоте концентрацией 54% P₂O₅; 2% SO₃ при температуре 80—90 °С корродирует со скоростью менее 0,1 мм/год. При содержании в кислоте повышенного количества хлорид-ионов сплавы могут подвергаться питтинговой коррозии. Сплав 06ХН28МДТ в кислоте состава 43% P₂O₅; 1,3% SO₃; 1% F; 0,1% Cl при 100 °С подвергается интенсивной локальной коррозии, а скорость общей коррозии возрастает до 1 мм/год [114]. В ряде случаев сварные соединения сплава 06ХН28МДТ подвержены межкристаллитной коррозии [29, 124].

Сплав ХН30МДБ стоек в условиях полугидратного процесса получения ЭФК [29, 30]. В кислоте, содержащей 46—54% P₂O₅ и 1,8% F, при 120 °С скорость коррозии сплава не превышает 0,1 мм/год [27]. При концентрировании ЭФК сплав ХН30МДБ рекомендуют применять до температуры 120 °С [29, 30].

Никелевый сплав ХН63МБ обладает высокой стойкостью (скорость коррозии 0,02 мм/год) в кислоте, содержащей 54% P₂O₅ и 2% SO₃, при температуре 80—90 °С [124].

Титан и сплавы титана. Титан ВТ1-0 стоек в экстракционной фосфорной кислоте концентрацией 54% P₂O₅ только до 40 °С (скорость коррозии

~0,1 мм/год) [39]. Сплавы титана по стойкости в растворах ЭФК близки к титану. Сплав BT15 в кислоте состава 40—42% P_2O_5 ; 4,5—5% SO_3 ; 1,5% F при 70 °C корродирует со скоростью 0,3 мм/год [7].

ЭФК с содержанием 63—80% P_2O_5 , до 5% SO_3 , 0,2—1% F

Кислоту такой высокой концентрации обычно получают, упаривая при температуре около 200 °C экстракционную фосфорную кислоту, содержащую 54% P_2O_5 . Как отмечалось выше, при этом значительно изменяется состав ЭФК (появляются конденсированные полимерные фосфорные кислоты, уменьшается содержание фтористых соединений) и существенно снижается коррозионная активность среды. В результате при увеличении концентрации кислоты от 63 до 72% P_2O_5 скорость коррозии сплавов снижается более чем на порядок величины (рис. 33.55).

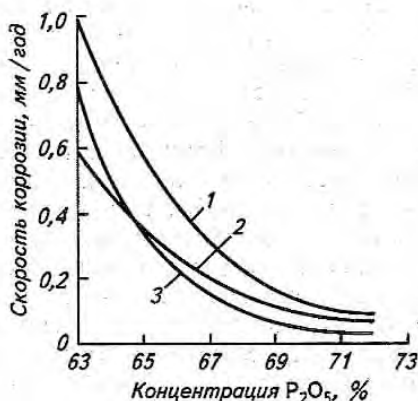


Рис. 33.55. Влияние содержания P_2O_5 в конденсированной экстракционной фосфорной кислоте (до 4,8% SO_3 и 0,28% F) при 150 °C на стойкость сплавов типа:

1 — ХН28МДТ; 2 — ХН30МДБ; 3 — ХН63МБ

Металлы и сплавы в ЭФК с таким содержанием P_2O_5 обладают следующей коррозионной стойкостью.

Высоколегированные стали 08X18H10T и 10X17H13M2T в полифосфорной кислоте (71% P_2O_5 ; 4,2% SO_3 ; 0,08% F) сохраняют стойкость (скорость коррозии ~0,1 мм/год) до 120 °C. Двухфазные стали 08X22H6T, 08X21H6M2T в этих условиях корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год [126].

Сталь 03X21H21M4ГБ в ЭФК, упаренной до 72% P_2O_5 , стойка при температуре 100—120 °C (скорость коррозии 0,07 мм/год) [107].

Сталь 10X17H13M2T в кислоте состава 63% P_2O_5 ; 4,8% SO_3 ; 0,19% F можно применять (скорость коррозии 0,1 мм/год) до 100 °C, в кислоте состава 68% P_2O_5 ; 2,3% SO_3 ; 0,28% F — до 120—125 °C, в кислоте состава 72% P_2O_5 ; 3,4% SO_3 ; 0,05% F — до 145 °C. В таких условиях сталь 08X21H6M2T можно применять соответственно до 90—95, 115 и 150 °C, сталь 03X21H21M4ГБ — до 100, 130 и 150 °C [127].

По данным Sandvik Steel, сталь 904L (типа 02X21H25M5ДБ) в кислоте, содержащей 69% P_2O_5 , при 200 °C корродирует со скоростью 0,03 мм/год.

Сплавы на железоникелевой и никелевой основе. В кислоте, содержащей 63% P_2O_5 ; 4,8% SO_3 ; 0,19% F, сплав 06ХН28МДТ можно применять (скорость коррозии 0,1 мм/год) до 105—110 °С, сплавы ХН30МДБ, ХН63МБ — до 110—115 °С. В кислоте, содержащей 68% P_2O_5 ; 2,3% SO_3 ; 0,28% F, сплав 06ХН28МДТ можно применять до 135 °С, сплав ХН30МДБ — до 140 °С, сплав ХН63МБ — до 150 °С; в кислоте состава 72% P_2O_5 ; 3,4% SO_3 ; 0,05% F сплав 06ХН28МДТ можно применять до 145—150 °С, сплавы ХН30МДБ, ХН63МБ — до 160 °С [127].

По данным Sandvik Steel, сплав Sanicro 28 (типа ХН30МДБ) в ЭФК, содержащей 65% P_2O_5 , при температуре 95 °С корродирует со скоростью 0,02 мм/год.

Свинец. Коррозионная активность экстракционной фосфорной кислоты по отношению к свинцу меньше, чем чистой фосфорной кислоты. Присутствие ионов F^- в ЭФК способствует образованию на поверхности металла защитной пленки фосфатов и фторидов свинца [8, 68]. Поэтому свинец стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) как в холодных, так и в горячих растворах ЭФК [44]. В кислоте, содержащей 58% P_2O_5 ; 5% SO_3 ; 1% F, при температуре 80 °С скорость коррозии свинца и его сплавов с сурьмой менее 0,1 мм/год [40].

В заключение необходимо отметить, что при производстве и концентрировании экстракционной фосфорной кислоты газовая фаза из-за содержания больших количеств соединений фтора часто является более агрессивной средой, чем жидкая фаза. В результате конструкционные материалы в газовой фазе подвергаются большей коррозии. Так, по результатам испытаний в вакуум-выпарных аппаратах при концентрировании ЭФК от 32 до 54% P_2O_5 при температуре 80—90 °С скорость коррозии стали 03Х21Н21М4ГБ в жидкой фазе была 0,16 мм/год, а в парогазовой фазе — 0,65 мм/год. С увеличением коррозионной стойкости материалов это различие становится меньше. Сплав 03ХН28МДТ в тех же условиях корродирует соответственно со скоростью 0,11 и 0,07 мм/год, а скорость коррозии сплава ХН63МБ практически остается неизменной (около 0,02 мм/год) [124].

В табл. 33.8 приведены предельные сочетания температуры и концентрации ЭФК для некоторых сталей и сплавов, при которых они сохраняют достаточную коррозионную стойкость.

Таблица 33.8. Предельные условия применения сталей и сплавов в ЭФК

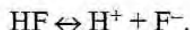
Материал	Концентрация P_2O_5 , %	Температура, °С	Источник
Сплав: 06ХН28МДТ	30—36	95	[121]
	32—54	70—80	[60]
	63	100—105	[127]
	68	135	[127]
	72	145—150	[127]
03ХН28МДТ	32—54	90—95	[17, 124]
ХН63МБ	30—36	110	[121]
	63	115	[127]
	68	150	[127]
	72	160	[127]

Материал	Концентрация P ₂ O ₅ , %	Температура, °С	Источник
Сталь:			
10X17H13M2T,	63	100—105	[127]
08X21H6M2T	68	120—125	[127]
	72	145—150	[127]
03X21H21M4ГБ	7—22	100—105	[17]
	23—36	70—90	[17, 27, 121]
	36—51	110	[17, 27, 121]
	54—72	100—120	[107]
	68	130	[127]
	72	145—150	[127]
03X24H6AM3	30—37	95—100	[116]
	42	90	[27]

33.12. Фтороводородная (плавиковая) кислота — HF

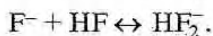
Плавиковая кислота представляет собой раствор фтороводорода в воде. Азеотропный раствор концентрацией 38,26% кипит при максимальной для всех растворов температуре 112 °С. Температура кипения 100%-ной кислоты 19,5 °С.

В растворах плавиковая кислота диссоциирует с образованием ионов H⁺ и F⁻:



Диссоциация требует значительной затраты энергии, и кислота диссоциирует в значительно меньшей степени, чем другие галогеноводородные кислоты. Даже в сильно разбавленных растворах при температуре 25 °С константа диссоциации равна $7,93 \cdot 10^{-4}$, и по силе фтороводородная кислота лишь немного превосходит уксусную кислоту.

Образовавшиеся при диссоциации ионы F⁻ в значительной степени связываются с недиссоциированными молекулами HF. При этом возникают ионы HF₂⁻, в которых атомы фтора связаны друг с другом водородной связью:



Даже в относительно разбавленных растворах кислоты содержится больше анионов HF₂⁻, чем простых анионов F⁻. Так, 2%-ный раствор кислоты содержит молекулы HF (89%), катионы H⁺ (6%), анионы HF₂⁻ (5%) и анионы F⁻ (1%).

В отличие от других галогеноводородных кислот водные растворы плавиковой кислоты являются слабыми электролитами. Электропроводность растворов кислоты с увеличением концентрации сначала возрастает, а затем быстро падает. Наибольшую удельную электропроводность ($0,68 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$) имеет

кислота концентрацией 72%. Безводная HF практически не проводит электрический ток.

Фтороводородная кислота из-за некоторых специфических особенностей обладает высокой коррозионной активностью. В водных растворах она ведет себя как типичная одноосновная кислота, взаимодействуя со многими металлами с выделением водорода и образованием соответствующих солей. Катионы некоторых металлов (титана, циркония, алюминия и др.) образуют с фторид-ионами растворимые комплексные соединения, облегчающие коррозионный процесс.

В ряде случаев при коррозии металлов (свинца, магния) в плавиковой кислоте образуются нерастворимые соли, которые могут формировать на металлической поверхности пленки, в той или иной степени тормозящие процесс коррозии. При этом необходимо учитывать, что сохранение защитных свойств таких пленок в значительной степени зависит от температурно-гидродинамических условий, поскольку они не обладают достаточной механической прочностью. Так, коррозионное разрушение меди, латуни и бронзы значительно возрастает, если кислота движется с высокой скоростью или содержит твердые частицы. Кроме того, под слоем образующихся осадков металлы и сплавы могут подвергаться локальному разрушению.

Коррозионное поведение металлов с положительными потенциалами (особенно меди и ее сплавов) в растворах фтороводородной кислоты в большой степени зависит от аэрации и присутствия в кислоте окислительных компонентов (ионов Fe^{3+} , Cu^{2+} и др.), которые способствуют коррозионному разрушению. Поскольку процесс коррозии таких металлов обычно протекает при восстановлении кислорода, то скорость коррозии их в парогазовой фазе над раствором кислоты из-за облегчения доступа кислорода может быть в 5—10 раз больше, чем в объеме раствора.

Фтороводородная кислота не обладает окислительными свойствами, что затрудняет возникновение пассивного состояния металлов и сплавов. Более того, образующиеся при диссоциации кислоты фторид-ионы для многих пассивирующихся металлов являются ионами-активаторами, вызывающими локальную коррозию. Поэтому металлы и сплавы, высокая коррозионная стойкость которых обусловлена их способностью пассивироваться, в растворах фтороводородной кислоты, как правило, нестойки.

Для ряда металлов (железо, медь, никель, кобальт и др.) наиболее агрессивной является кислота концентрацией 30—70% [128].

Монель-металл, латунь, бронза в определенных условиях подвержены коррозионному растрескиванию в плавиковой кислоте.

На рис. 33.56 ориентировочно показаны области применения металлических материалов в зависимости от температуры и концентрации фтороводородной кислоты.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали при обычной температуре в кислоте концентрацией выше 65% стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) [5, 129], при концентрации более 75% их можно применять до 50—60 °C [68, 129]. Однако рекомендуют [4, 5] применять углеродистые стали в растворах концентрацией более 80%. При этом в 80—95%-ной кислоте стали корродируют со скоростью 0,3—0,9 мм/год [7, 130], а при концентрации 98—100% — со скоростью менее 0,25 мм/год [130].

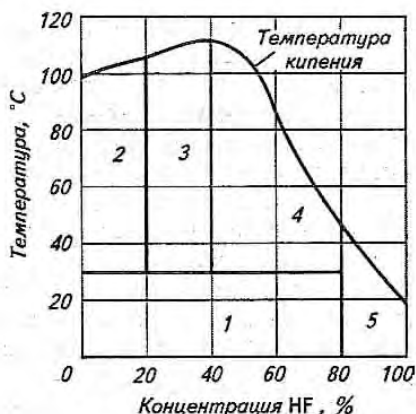


Рис. 33.56. Области применения металлических материалов во фтороводородной кислоте:

1 — никелевый чугун типа нирезист (до 15%); сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ (до 50%); ХН65МВУ, Н70МФВ; монель-металл, никель, медь, мельхиор (до 50% без аэрации); свинец (до 60%); серебро; платина; палладий; золото; 2 — сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ (до 80 °С); ХН65МВУ, Н70МФВ (до 10%, 70 °С); монель-металлы, медь, мельхиор (без аэрации); свинец; серебро; платина; палладий; золото; 3 — сплав ХН65МВУ (до 30%, 75 °С); монель-металл (без аэрации); медь, мельхиор (без аэрации до 95 °С); свинец (до 70 °С); серебро; платина; палладий; золото; 4 — сплав ХН65МВУ; монель-металл, мельхиор (без аэрации); свинец (до 60%, 50 °С); серебро; платина; палладий; золото; 5 — углеродистая сталь, серый чугун (до 30 °С); монель-металл (без аэрации); серебро; платина; палладий; золото

Серые чугуны в растворах фтороводородной кислоты подвергаются коррозии больше, чем углеродистые стали, и в кислоте любой концентрации они нестойки [3]. По данным работы [129], в 97—99,5%-ной кислоте при 15 °С серые чугуны корродируют со скоростью ~0,6 мм/год, по другим данным [5], их можно применять в кислоте концентрацией 80—100% до 30 °С (скорость коррозии <0,13 мм/год).

Высоколегированные чугуны. Кремнистые и хромистые чугуны нестойки в растворах плавиковой кислоты [3, 4, 101]. В концентрированной (97—99,5%) кислоте при 15 °С скорость коррозии таких чугунов достигает 0,6 мм/год [7, 129]). В разбавленной (10%) кислоте при 20 °С хромистые чугуны ЧХ25, ЧХ28 корродируют со скоростью до 0,1 мм/год [40].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) и нирезисты (14—32% Ni; до 7,5% Cu; 1,5—4,5% Cr) в кислоте концентрацией до 10% при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [3, 5]. В концентрированной (98—100%) деаэрированной кислоте такие чугуны стойки при температуре до 100 °С, в аэрированной кислоте — до 50 °С [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали нестойки во фтороводородной кислоте даже при нормальной температуре [1, 7, 61, 131]. По другим данным [7, 129], в концентрированной (97—99,5%) кислоте при 15 °С скорость коррозии хромистых сталей типа Х13—Х28 не превышает 0,15 мм/год.

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т при нормальной температуре по одним данным [2, 3, 131] нестойки во фтороводородной кислоте, по другим данным [10] — в разбавленной кислоте удовлетворительно стойки. При концентрации кислоты менее 5% скорость коррозии сталей до 0,3—0,5 мм/год [7, 61,

130] (согласно справочным данным [48] в 1%-ной кислоте скорость коррозии 0,7 мм/год, в 5%-ной — может достигать 1 мм/год [2], в 6%-ной — превышать 2 мм/год [132]). В растворах средних концентраций (20—40%) такие стали нестойки [2, 61, 129], в концентрированных (97—99,5%) растворах при 15 °С — корродируют со скоростью ~0,2 мм/год [7]. Даже при повышении температуры до 115 °С в растворах концентрацией более 80% скорость коррозии составляет 0,1—1 мм/год [1, 133]. В безводной фтороводородной кислоте аустенитные хромоникелевые стали не имеют преимуществ перед углеродистыми сталями, которые обычно используют в такой среде [8].

Хромоникелевые стали типа X17H13M3T по стойкости во фтороводородной кислоте несколько превышают стали без молибдена. Так, в 80—90%-ной кислоте при 115 °С стали типа X17H13M3T корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [7, 133], в 98%-ной кислоте при 40 °С — со скоростью 0,05 мм/год [130]. В разбавленных растворах такие стали обладают удовлетворительной стойкостью (в 6%-ной кислоте при 20 °С скорость коррозии <0,7 мм/год), в кислоте концентрацией 20% — нестойки [132].

Высоколегированные аустенитные стали с 20—29% хрома стойки в аэрированной фтороводородной кислоте [8], а благодаря повышенному содержанию молибдена сохраняют стойкость в более широкой области условий, чем обычные хромоникелевые стали (рис. 33.57).

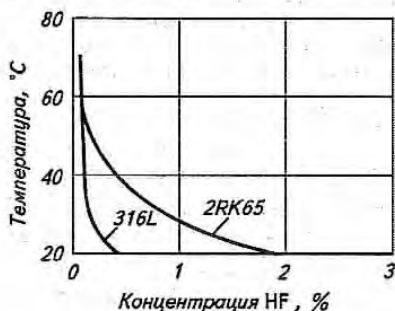


Рис. 33.57. Линии постоянной скорости коррозии (0,1 мм/год) сталей 316L (типа 03X17H14M2) и 2RK65 (типа 02X21H25M5ДБ) во фтороводородной кислоте [данные Sandvik Steel]

Двухфазные аустенитно-ферритные стали 08X22H6Т, 08X21H6M2Т по стойкости во фтороводородной кислоте различаются только в очень разбавленных растворах. Так, в 0,5%-ной кислоте при 20 °С стали корродируют со скоростью соответственно 0,4 и 0,1 мм/год, а в 1%-ной кислоте — со скоростью более 2 и 0,6 мм/год [48]. При увеличении концентрации коррозионное разрушение усиливается, и в растворах концентрацией до 40% скорость коррозии обеих сталей превышает 1 мм/год [1, 2, 7, 112].

Стали на хромомарганцевой основе, как аустенитные (10X14Г14Н3, 10X14Г14Н4Т), так и аустенитно-ферритные (08X18Г8Н2Т), стойки только в очень разбавленных растворах фтороводородной кислоты. В 0,05%-ной кислоте при 20 °С скорость коррозии этих сталей менее 0,1 мм/год, а уже в 0,1%-ном растворе может достигать 0,9 мм/год [48]. При концентрации кислоты более 10% стали нестойки [2, 7, 15, 112].

Сплавы на железоникелевой основе в зависимости от концентрации кислоты при нормальной температуре могут корродировать со скоростью от 0,1 до 3 мм/год [1].

Сплавы типа ХН28МДТ при 20 °С сохраняют удовлетворительную стойкость (скорость коррозии < 0,4 мм/год) в растворах концентрацией до 60%, при повышении температуры до 50 °С скорость коррозии возрастает до 0,9 мм/год [132]. В кислоте концентрацией менее 30% при температуре до 75 °С скорость коррозии сплавов 0,1—0,5 мм/год [3], в кислоте концентрацией более 80% при температуре 115 °С скорость коррозии сплавов 0,1—1 мм/год [1, 133].

Сплав Sanicro 28 (типа ХН30МДБ) во фтороводородной кислоте обладает большей стойкостью, чем высоколегированные стали, и сохраняет удовлетворительную стойкость при 20 °С в кислоте концентрацией до 40% (рис. 33.58).

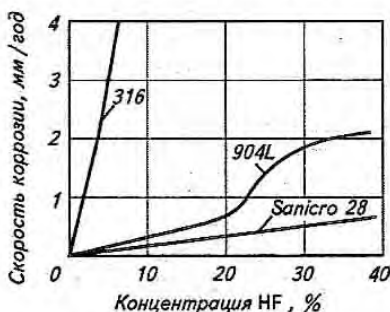


Рис. 33.58. Скорость коррозии сталей 316 (типа 08X17H13M2T) и 904L (типа 02X21H25M5ДБ) и сплава Sanicro 28 (типа ХН30МДБ) во фтороводородной кислоте при 20 °С [данные Sandvik Steel]

Сплав ХН40МДТЮ в 10%-ной кислоте при 70 °С корродирует со скоростью около 0,1 мм/год [27], сплав Инколой 825 (типа ХН40МДБ) в 38—40%-ной кислоте при 60 °С — со скоростью 0,1—0,5 мм/год [7].

Никель и сплавы никеля. Наибольшая коррозия никеля в деаэрированной фтороводородной кислоте наблюдается при концентрации 50%. При температуре 20 °С в кислоте концентрацией менее 99% скорость коррозии никеля не превышает 0,1—0,2 мм/год, в 99%-ной кислоте — 0,02 мм/год [128]. На границе раздела пар—жидкость в 40%-ной кислоте при 110 °С скорость коррозии никеля достигает 0,5 мм/год [133].

Аэрация кислоты усиливает коррозию никеля, и при нормальной температуре скорость коррозии возрастает до 0,25 мм/год в растворах концентрацией менее 25% [2, 7, 40] и до 0,5 мм/год при концентрации кислоты 30—60% [2, 7]. В концентрированной кислоте (>93%) скорость коррозии достигает 0,2—0,6 мм/год [7, 129].

С повышением температуры коррозия никеля сильно увеличивается. При 50 °С в растворах концентрацией менее 20% скорость коррозии возрастает до 0,7 мм/год [2], в 40%-ной кислоте — 1,4 мм/год, затем снижается в 60%-ной кислоте — до 0,7 мм/год [2, 7]. При температуре 80 °С в растворах концентрацией 20 и 60% никель нестойк [2, 7]. Дальнейшее повышение температуры до 115 °С приводит к снижению скорости коррозии никеля в кислоте средних

и высоких концентраций, что, вероятно, связано с возможной деаэрацией кислоты и изменением ее ионно-молекулярного состава. При 115 °С в кислоте концентрацией 48% скорость коррозии никеля не превышает 0,25 мм/год [129], в растворах концентрацией более 80% — 0,1 мм/год [1].

По справочным данным [5], никель в растворах фтороводородной кислоты концентрацией до 60% при 30 °С корродирует со скоростью менее 0,013 мм/год, при концентрации до 40% и температуре до 145 °С — со скоростью менее 0,13 мм/год.

Монель-металл в коррозионном отношении в деаэрированных растворах фтороводородной кислоты ведет себя подобно никелю, корродируя с такой же скоростью [128]. Согласно источнику [3], при температуре кипения в 40%-ной кислоте скорость коррозии монель-металла 0,5—1,3 мм/год; в 50%-ной кислоте — 0,05—0,5 мм/год, в более концентрированных растворах — менее 0,05 мм/год. В деаэрированной кислоте концентрацией 40—80% при 108—115 °С монель-металл корродирует со скоростью до 0,1 мм/год [133].

Аэрация кислоты резко усиливает коррозию монель-металла (рис. 33.59). При температуре 120 °С сплав НМЖМц 28-2,5-1,5 в 35%-ной деаэрированной кислоте корродирует со скоростью 0,03 мм/год, а в такой же аэрированной кислоте — со скоростью 0,45 мм/год [129].

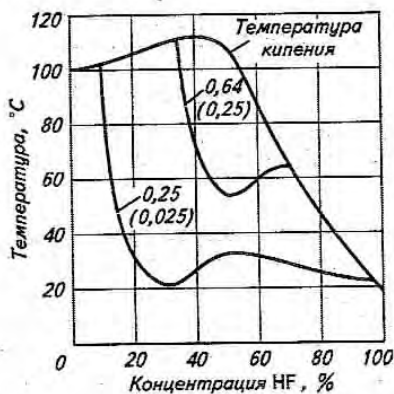


Рис. 33.59. Линии постоянной скорости коррозии (мм/год) сплава 70% Ni — 30% Cu во фтороводородной кислоте (в скобках указана скорость коррозии в деаэрированных растворах) [134]

При нормальной температуре в кислоте концентрацией менее 25% и более 40% скорость коррозии монель-металла не превышает 0,1 мм/год [7, 40, 61, 129], при концентрации 25—35% — достигает 0,2—0,4 мм/год [40, 48, 61]. Повышение температуры до 80 °С увеличивает скорость коррозии монель-металла до 0,6 мм/год в кислоте концентрацией менее 40% [7, 40] и до 0,7—1,2 мм/год в 50—60%-ной кислоте [7, 40, 46]. Дальнейшее повышение температуры до 115 °С кислоты концентрацией 35—100% снижает скорость коррозии монель-металла до 0,1—0,5 мм/год [7, 61, 129]. По данным справочника [1], во фтороводородной кислоте любой концентрации скорость коррозии монель-металла не превышает 0,1 мм/год при нормальной температуре и 0,5 мм/год при температуре 115 °С.

Никельмолибденовые сплавы Н65М-ВИ, Н70МФВ при нормальной температуре сохраняют стойкость (скорость коррозии 0,1 мм/год) во фтороводородной кислоте концентрацией до 45% [2, 7, 40, 112]. При повышении концентрации кислоты до 80% скорость коррозии возрастает до 0,4 мм/год [17]. В растворах концентрацией менее 10% при температуре до 70 °С скорость коррозии сплавов 0,2—0,4 мм/год, при 95 °С — 0,9—1 мм/год [2, 17, 48].

Сплавы ХН65МВ, ХН65МВУ при нормальной температуре можно применять в растворах фтороводородной кислоты концентрацией до 80% [17, 27]. В кислоте концентрацией менее 45% скорость коррозии сплавов не более 0,1 мм/год [1, 112], в 20—25%-ной кислоте — менее 0,5 мм/год [2, 48]. Повышение температуры до 70 °С кислоты концентрацией менее 30% увеличивает скорость коррозии до 0,8—1 мм/год [2, 48, 101]. При температуре 95 °С в растворах концентрацией менее 10% сплавы остаются стойкими [17, 27] (по другим данным [48] — нестойки). В 30%-ной кислоте при 95 °С сплавы корродируют со скоростью 0,5—1 мм/год [2].

Медь и медные сплавы. Коррозионное поведение этих материалов в большой степени зависит от доступа кислорода к металлической поверхности, который изменяется с увеличением концентрации кислоты, температуры и скорости потока.

В условиях деаэрации по отношению к меди наиболее агрессивными являются растворы фтороводородной кислоты концентрацией около 55%. При нормальной температуре в кислоте концентрацией менее 99% скорость коррозии меди не превышает 0,2 мм/год, в 99%-ной кислоте — не более 0,05 мм/год [128]. По данным работы [3], медь в растворах концентрацией менее 30% при температуре до 100 °С корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год, в более концентрированных растворах медь нестойка даже при обычной температуре.

В аэрированных разбавленных (10%) растворах фтороводородной кислоты медь стойка до 80 °С [3, 8]. При температуре 20 °С и концентрации кислоты до 60% скорость коррозии меди не превышает 0,25 мм/год [7, 40, 61]. Дальнейшее увеличение концентрации кислоты приводит к быстрому росту скорости коррозии (0,9 мм/год в 70%-ной кислоте [61]) с последующим постепенным снижением (0,3 мм/год в 97—99,5%-ной кислоте [7]).

При температуре 50 °С скорость коррозии меди в растворах концентрацией до 60% может достигать 0,6 мм/год (в 40%-ной кислоте — 0,9 мм/год [2]), при температуре 80 °С — 0,7—1,3 мм/год [2, 7]. В растворах концентрацией менее 50% медь сохраняет удовлетворительную стойкость до 145 °С, в более концентрированных (60—100%) растворах при высокой температуре медь нестойка [61]. В кипящей 40%-ной кислоте скорость коррозии меди более 3 мм/год, причем в жидкой фазе характер коррозии равномерный, а на границе пар—жидкость наблюдается коррозионное растрескивание и осаждение губчатой меди [135].

Латуни (Л68, Л70) сохраняют достаточную стойкость во фтороводородной кислоте только при нормальной температуре (скорость коррозии <0,2 мм/год) [7, 130]. Повышение температуры до 100 °С увеличивает скорость коррозии до 1 мм/год [1]. Кроме того, при повышенной температуре латуни могут подвергаться коррозионному растрескиванию. По справочным данным [5], латуни стойки в 40—50%-ной кислоте до температуры кипения, при концентрации 60—100% — до 65 °С. Согласно работе [133], латунь ЛС59-1 в 40%-ной кислоте

при 108—112 °С корродирует со скоростью 1,3 мм/год и подвергается коррозионному растрескиванию.

Оловянистые бронзы стойки (скорость коррозии <0,13 мм/год) в 40—50%-ной фтороводородной кислоте до температуры кипения, при концентрации 60—100% — до 65 °С [5].

Алюминиевые бронзы (БрА5, БрА7, БрА10, БрАЖ9-4) в растворах этой кислоты концентрацией до 40% при нормальной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 40, 46, 130], при температуре до 100—110 °С — нестойки [1, 130]. Алюминиевые бронзы, легированные марганцем (БрАМц9-2), при температуре до 80 °С обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии <0,3 мм/год) в разбавленных (до 6%) растворах кислоты, нестойки в 40%-ной кислоте и корродируют со скоростью до 0,9 мм/год в растворе концентрации 60% [7]. В кипящей 40%-ной кислоте в условиях деаэрации скорость коррозии бронз Бр.А5, Бр.АН не превышает 0,3 мм/год, но имеет место незначительное коррозионное растрескивание и осаждение губчатой меди на границе раздела фаз [135].

Медноникелевые сплавы, содержащие 20—30% Ni, во фтороводородной кислоте концентрацией 40—50% стойки (скорость коррозии <0,13 мм/год) до 145 °С [5, 68], в 60%-ной кислоте — до температуры кипения, в 70—100%-ной — до 70 °С [5]. По другим данным [3, 68], в безводной кислоте при температуре 85—100 °С скорость коррозии сплавов достигает 0,3—0,5 мм/год.

Алюминий совершенно нестойк во фтороводородной кислоте из-за образования легкорастворимого фторида алюминия [1—3, 61]. Лишь в кислоте высокой концентрации (97—99,5%) при 15 °С скорость коррозии алюминия не превышает 0,3 мм/год [130]. При снижении температуры до —10 °С скорость коррозии алюминия АД1 и сплава АМц в кислоте концентрацией 80—99,5% уменьшается до 0,15 мм/год. При такой температуре сплав АМг5В в 90—99,5%-ной кислоте корродирует со скоростью до 0,2 мм/год, в 80—85%-ной кислоте — нестойк [136].

Свинец вследствие образования пленки труднорастворимого фторида свинца обладает достаточной стойкостью в растворах фтороводородной кислоты до средних концентраций. В разбавленных растворах (<10%) при нормальной температуре скорость коррозии свинца не превышает 0,2 мм/год [7, 61, 130]. С повышением концентрации кислоты стойкость свинца увеличивается, и его можно применять в растворах концентрацией до 40—60% [8, 68, 133]. В концентрированной кислоте (97—99,5%) при обычной температуре свинец нестойк [7, 129, 130].

В растворах концентрацией до 20% свинец можно применять до температуры кипения [129], при концентрации 20—45% — до 65 °С [40, 68] (в деаэрированных растворах до 85—115 °С [40, 133]). По данным работ [7, 40, 48, 61], при температуре 75—80 °С свинец нестойк во фтороводородной кислоте. Легирование свинца сурьмой несколько увеличивает стойкость сплавов.

Магний подвергается коррозии тем меньше, чем выше концентрация фтороводородной кислоты, что связано с образованием нерастворимого осадка MgF_2 . Однако образующаяся на металлической поверхности пленка не обладает достаточной прочностью, а нарушение ее сплошности приводит к развитию местной коррозии (особенно по ватерлинии) [137]. При нормальной темпе-

температуре в растворах концентрацией более 5% магний удовлетворительно стоек (в 97—99,5%-ной кислоте при 15 °С скорость коррозии <0,3 мм/год) [8, 129]. В горячих растворах фтороводородной кислоты магний нестойк [61, 137] (при 80 °С в 60%-ной кислоте скорость коррозии >2 мм/год [7]).

Серебро отличается высокой стойкостью в растворах фтороводородной кислоты, и его можно применять до температуры кипения [1, 5, 61, 129] (по данным работы [3], скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Благородные металлы. Золото, платина и металлы платиновой группы в растворах фтороводородной кислоты стойки до температуры кипения [3, 5, 40, 129]. При 75 °С в 10%-ной кислоте скорость коррозии золота менее 0,05 мм/год [48], при 90 °С в 20%-ной кислоте палладий практически не корродирует [137].

Другие металлы. Молибден стоек в горячих и холодных растворах фтороводородной кислоты [129] (при температуре кипения в 3%-ной кислоте скорость коррозии 0,05 мм/год [7]).

Титан, цирконий, тантал, олово нестойки во фтороводородной кислоте при комнатной температуре [1—3, 7, 40]. Скорость коррозии титана при 20 °С в 1%-ной кислоте более 1 мм/год [7, 10].

В табл. 33.9 приведены предельные сочетания температуры и концентрации фтороводородной кислоты для некоторых металлов и сплавов, при которых они сохраняют достаточную коррозионную стойкость.

Таблица 33.9. Предельные условия применения металлов и сплавов во фтороводородной кислоте

Материал	Концентрация, %	Температура, °С	Источник
Благородные металлы (золото, платина и др.)	Любая	Кип.	[2, 45, 129]
Бронза оловянистая	40—50	Кип.	[5, 45]
Вольфрам	85	100	[136]
Медь	10	80	[3, 8]
	60	30	[7, 40, 61]
Мельхиор	Любая	Кип.	[5, 45, 68]
Монель-металл	Любая (деаэр.)	Кип.	[131]
	Любая	30	[1, 7, 40, 48, 129]
	70	Кип.	[61]
Никель	25	30	[2, 7, 40]
Свинец	20	Кип.	[129]
	60	65	[45, 68]
Серебро	Любая	Кип.	[1, 5, 61, 129]
Сплав:			
03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ	30	70	[3]
ХН40МДТЮ	10	70	[27]
ХН65МВ, ХН65МВУ	10	95	[17, 27]
	80	30	[17, 27, 111]

Материал	Концентрация, %	Температура, °С	Источник
Н70МФВ-ВИ	10	70	[2, 17, 48]
	80	30	[17, 111]
Сталь углеродистая	>80	30—50	[4, 5, 68, 129]
Чугун никелевый (нирезист)	10	30	[3, 5, 45]
	В 98—100	50	[3]
Чугун серый	>80	30	[5, 45]

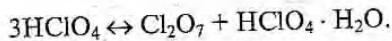
33.13. Хлорная кислота — HClO_4

Свойства хлорокислородных кислот значительно изменяются в ряду $\text{HClO}-\text{HClO}_2-\text{HClO}_3-\text{HClO}_4$. С переходом от хлорноватистой кислоты HClO к хлорной кислоте HClO_4 повышается их устойчивость, усиливаются кислотные свойства, но уменьшается окислительная способность кислот.

Хлорная кислота является самой сильной из всех известных кислот. Она существует как в безводной форме, так и в виде водных растворов. Азеотропный раствор концентрацией 72,4% кипит при максимальной для всех растворов температуре около 203 °С. Безводная хлорная кислота — легколетучая, гигроскопичная жидкость с температурой кипения 110—112 °С. Кислота термически малоустойчива, при хранении даже при комнатной температуре разлагается с образованием низших оксидов хлора и становится взрывоопасной. Водные растворы кислоты концентрацией до 72% при небольших температурах устойчивы и безопасны.

Безводная хлорная кислота состоит преимущественно из мономерных молекул, а в водных растворах может образовывать гидраты, содержащие от одной до трех молекул воды. Моногидрат соответствует концентрации кислоты 84,8%. При концентрации растворов до 77% хлорная кислота существует полностью в ациформе $\text{H}[\text{ClO}_4]$, а при концентрациях выше 85% в ней появляется увеличивающееся с концентрацией количество молекул в псевдоформе $[\text{HOClO}_3]$. У хлорной кислоты в ациформе при нормальной температуре отсутствует окислительная способность, что связано с высокой устойчивостью иона $[\text{ClO}_4]^-$, а в псевдоформе кислота является очень сильным окислителем. Присутствие ионов $[\text{ClO}_4]^-$ даже в безводной кислоте обеспечивает ей электропроводность.

Хлорная кислота представляет собой систему, в которой существует равновесие:



Коррозионная активность растворов хлорной кислоты обусловлена прежде всего сочетанием их кислотных и окислительных свойств. В растворах до средних концентраций в пассивном состоянии могут находиться только сплавы, способные пассивироваться в низкоокислительных средах (например, сплавы типа ХН28МДТ при концентрации кислоты до 40% и температуре до 90 °С [138]). С увеличением концентрации кислоты расширяется область потенциалов активного состояния металла (до +0,35 В для сплавов типа ХН28МДТ), интенсифицируются процессы анодного растворения металла и катодного восстановления окислителей. В результате металл переходит в активно-пассивное состояние с не-

устойчивой скоростью коррозии (для сплавов типа ХН28МДТ это имеет место при концентрации кислоты 50—60%). В более концентрированных растворах окислительные свойства кислоты повышаются, потенциал смещается в положительную сторону, активация металла затрудняется, и он переходит в устойчивое пассивное состояние. Кроме того, такому смещению потенциала способствует катодное восстановление ионов Fe^{3+} , которые образуются в результате окислительно-восстановительной реакции между ионами Fe^{2+} и ClO_4^- . Однако значительный сдвиг потенциала металла (положительнее +0,8 В для сплавов типа ХН28МДТ) может привести к перепассивации и резкому усилению коррозии.

При увеличении концентрации хлорной кислоты за счет упомянутой окислительно-восстановительной реакции и в результате ускорения катодного восстановления ионов ClO_4^- в растворах происходит накопление ионов Cl^- . Присутствие в кислоте ионов-активаторов и определенное смещение потенциала в положительную сторону могут вызвать локальную коррозию металлов.

На рис. 33.60 ориентировочно показаны области применения некоторых металлических материалов в зависимости от температуры и концентрации хлорной кислоты.

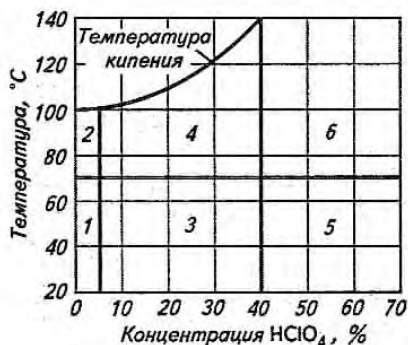


Рис. 33.60. Области применения металлических материалов в хлорной кислоте:

1 — сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ, Н65М-ВИ, Н70МФВ-ВИ, ХН63МБ, ХН65МВУ; титан ВТ1-1; титановые сплавы АТ3, АТ4, АТ6, АТ9, ОТ4; цирконий; ниобий; тантал; платина; рутений; родий; золото; 2 — сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ, Н65М-ВИ, Н70МФВ-ВИ, ХН63МБ, ХН65МВУ (до 1—2%); титан ВТ1-1; цирконий; ниобий; тантал; платина; рутений; родий; золото; 3 — сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ, Н65М-ВИ, Н70МФВ-ВИ, ХН63МБ, ХН65МВУ (до 30 °С); титан ВТ1-1; титановые сплавы АТ3, АТ4, АТ6, АТ9, ОТ4; цирконий; ниобий; тантал; платина; рутений; родий; золото; 4 — сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ (до 90 °С); титан ВТ1-1 (до 120 °С); тантал (до 150 °С); цирконий, ниобий, платина, рутений, родий (до 100 °С); золото; 5 — сплавы Н65М-ВИ, Н70МФВ-ВИ, ХН63МБ, ХН65МВУ (до 30 °С); титан ВТ1-1; титановые сплавы АТ3, АТ4, АТ6, АТ9, ОТ4 (до 50%); цирконий; ниобий; тантал; платина; рутений; родий; золото; 6 — титан ВТ1-1 (до 120 °С); тантал (до 150 °С); цирконий, ниобий, платина, рутений, родий, золото (до 100 °С)

Высоколегированные стали. Хромистые стали, содержащие 13—28% Cr, и хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М3Т при нормальной температуре практически нестойки в растворах хлорной кислоты концентрацией до 72% [1, 2, 112]. В безводной кислоте хромоникелевые стали обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Сплавы на железоникелевой основе 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ остаются стойкими при концентрации кислоты менее 40% и температуре ниже 90 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год). При увеличении концентрации кислоты до 50—60% скорость коррозии сплавов резко возрастает [138]. В кислоте концентрацией до 72% при 20 °С такие сплавы корродируют со скоростью 0,2—1 мм/год, в 100%-ной кислоте — со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Никелевые сплавы. Никельмолибденовые сплавы Н70МФВ-ВИ, Н65М-ВИ при нормальной температуре стойки в растворах хлорной кислоты концентрацией до 37% (скорость коррозии <0,05 мм/год) [2], в растворах концентрацией до 72% скорость коррозии может увеличиваться до 0,25 мм/год [1]. При температуре 70 °С сплавы сохраняют высокую стойкость (скорость коррозии 0,01 мм/год) только в очень разбавленных (до 2%) растворах, в кислоте концентрацией до 15% скорость коррозии возрастает до 0,1—0,5 мм/год, а при концентрации 20—37% — до 0,5—1 мм/год. В кипящих растворах концентрацией менее 2% скорость коррозии сплавов достигает 0,1—0,5 мм/год, при концентрации менее 15% — 0,5—1 мм/год, в 20%-ной кислоте сплавы нестойки [2].

Никельмолибденовые сплавы, дополнительно легированные хромом (ХН63МБ, ХН65МВУ), при 70 °С стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) только в очень разбавленных (2%) растворах, при концентрации до 5% скорость коррозии увеличивается до 0,1—0,5 мм/год. В растворах концентрацией 10—15% скорость коррозии возрастает до 0,5—1 мм/год, при концентрации 20—25% сплавы нестойки. При температуре кипения даже в разбавленной (<10%) кислоте сплавы нестойки [2]. По другим данным [1], при 100 °С в хлорной кислоте концентрацией до 72% скорость коррозии таких сплавов не более 0,15 мм/год. Согласно источникам [17, 27, 111] никельхромомолибденовый сплав ХН65МВУ при 20 °С стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) в хлорной кислоте любой концентрации.

Титан и сплавы титана. Титан обладает высокой стойкостью (скорость коррозии <0,02 мм/год) в хлорной кислоте концентрацией менее 72% до 60 °С и остается стойким при температуре 100—130 °С (скорость коррозии 0,05—0,1 мм/год) [1].

Некоторые сплавы титана (АТ3, АТ4, АТ6, АТ9, ОТ4) также обладают высокой стойкостью (скорость коррозии <0,01 мм/год) в кислоте концентрацией 51—52% при температуре до 75 °С [139].

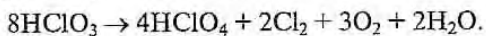
Благородные металлы. Золото, платина, рутений, родий стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) в хлорной кислоте концентрацией до 70% при температуре до 100 °С [3, 4, 10]. Палладий в кислоте такой концентрации при 20 °С незначительно корродирует, а при 100 °С сильно разрушается [10].

Другие металлы. Цирконий, ниобий в хлорной кислоте концентрацией до 72% обладают стойкостью при температуре до 100 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3, 4, 48], а тантал при температуре до 130—150 °С практически не подвержен коррозии [1, 3, 10].

Углеродистые стали, серые и никелевые чугуны, никель и монель-металл, медь и медные сплавы, алюминий, олово и свинец совершенно нестойки в растворах хлорной кислоты при комнатной температуре [1, 3, 48].

33.14. Хлорноватая кислота — HClO_3

Хлорноватая кислота существует только в виде водных растворов с концентрацией не выше 50%. Слабые растворы кислоты стойки при хранении, не изменяются под действием света и не разлагаются при нагревании почти до температуры кипения. Растворы концентрацией более 30% с повышением температуры подвержены разложению:



При концентрации выше 40% скорость разложения резко увеличивается, в присутствии примесей кислота может разлагаться при температуре 40 °С.

Хлорноватая кислота является сильной одноосновной кислотой со степенью диссоциации $\alpha = 0,79$ при 18 °С. Хлорноватая кислота относится к сильным окислителям и может восстанавливаться до HCl .

Высокая агрессивность растворов хлорноватой кислоты обусловлена действием тех же факторов, что и в случае HClO (см. п. 33.15.). Однако степень их воздействия на коррозионное поведение металлов несколько меньше, что позволяет использовать некоторые металлы и сплавы в растворах хлорноватой кислоты.

Металлы и сплавы в хлорноватой кислоте обладают следующей стойкостью.

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в концентрированных растворах хлорноватой кислоты при температуре до 75 °С обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Никелевые сплавы. Никельмолибденовые сплавы Н70МФВ-ВИ, Н65М-ВИ при нормальной температуре остаются стойкими (скорость коррозии <0,1 мм/год) в растворах хлорноватой кислоты любой концентрации [1]. При повышении температуры до 70 °С в растворах концентрацией менее 20% скорость коррозии сплавов может возрастать до 0,5 мм/год, при температуре кипения — до 1 мм/год [2].

Никельхромомолибденовые сплавы ХН65МВ, ХН65МВУ обладают меньшей стойкостью в хлорноватой кислоте. При обычной температуре они сохраняют стойкость (скорость коррозии 0,1 мм/год) в растворах концентрацией до 25%. При повышении температуры до 70 °С даже в очень разбавленных (<2%) растворах скорость коррозии может увеличиваться до 0,5 мм/год, а при концентрации менее 10% — до 1 мм/год (в 10%-ной кислоте сплавы нестойки). При температуре кипения сплавы нестойки даже в разбавленной (<2%) кислоте [2].

Другие металлы. Тантал, платина обладают высокой стойкостью (скорость коррозии <0,05 мм/год) в растворах хлорноватой кислоты концентрацией до 40% при температуре до 100 °С, титан — в разбавленных (до 10%) растворах при нормальной температуре [3, 48].

Углеродистые стали и серые чугуны, хромистые и хромоникелевые стали, никель и монель-металл, медь и медные сплавы, алюминий, олово, свинец и серебро нестойки в хлорноватой кислоте [1—4, 40].

33.15. Хлорноватистая кислота — HClO

Хлорноватистая кислота известна только в водных растворах. Это слабая (константа диссоциации $K = 3,6 \cdot 10^{-8}$ при 25 °С) одноосновная кислота, более

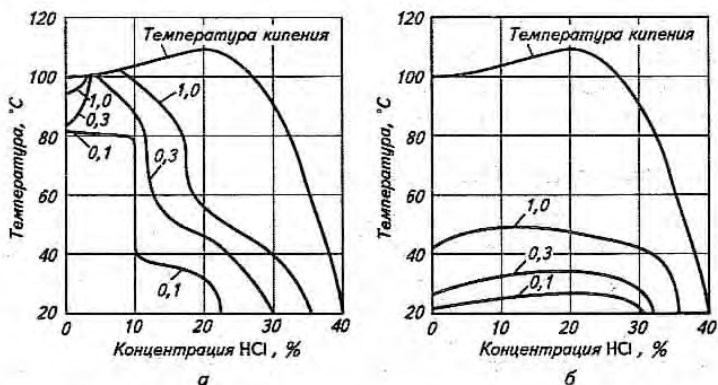


Рис. 33.61. Линии постоянной скорости коррозии (мм/год) алюминиевой бронзы (7% Al — 2,5% Fe) в деаэрированной (а) и аэрированной (б) хлороводородной кислоте [110]

Поскольку процесс коррозии металлов с положительными потенциалами часто протекает при восстановлении кислорода, то скорость коррозии их зависит от содержания его в объеме раствора. Растворимость воздуха (и кислорода как его компонента) закономерно снижается с увеличением концентрации кислоты. При температуре 15 °С растворимость чистого кислорода в соляной кислоте концентрацией 1,8% составляет 32,6 см³/л, а при концентрации 7,3% — 28,3 см³/л. Еще большее влияние на содержание кислорода оказывает температура, при увеличении которой растворимость кислорода уменьшается. В кипящих растворах кислоты практически нет растворенного кислорода. Поскольку повышение температуры также способствует ускорению процессов диффузионной доставки кислорода к корродирующей поверхности, то зависимость скорости коррозии металлов от концентрации кислоты может иметь экстремальный характер.

Хлороводородная кислота не обладает окислительными свойствами, что затрудняет возникновение пассивного состояния металлов и сплавов. Образующиеся при диссоциации кислоты хлорид-ионы для многих пассивирующихся металлов (особенно для нержавеющей сталей) являются ионами-активаторами, вызывающими локальную (точечную и язвенную) коррозию. Поэтому большинство металлов и сплавов, высокая коррозионная стойкость которых обусловлена их способностью пассивироваться, в растворах хлороводородной кислоты являются нестойкими.

На рис. 33.62 ориентировочно показаны области применения некоторых металлических материалов в зависимости от температуры и концентрации хлороводородной кислоты.

Углеродистые стали и серые чугуны в хлороводородной кислоте любой концентрации при всех температурах нестойки [1, 46]. Даже при 20 °С в 3,6%-ной кислоте скорость коррозии углеродистых сталей более 2 мм/год [7], а при повышении температуры коррозия быстро увеличивается (в 1,6%-ной HCl при 70 °С скорость коррозии ~20 мм/год [2, 45]).

Серые чугуны в кислоте любой концентрации разрушаются еще сильнее, чем углеродистые стали [1, 7, 130].

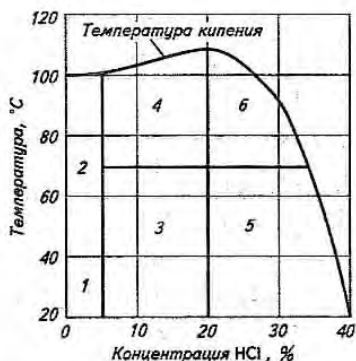


Рис. 33.62. Области применения металлических материалов в хлороводородной кислоте:

1 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3; сплавы Н70МФВ, Н65М-ВИ, ХН65МВУ, медь, кремнистая бронза, мельхиор, никель, монель-металлы (без аэрации); свинец; сурьмянистый свинец; титан (до 30 °С); сплавы титана 4200, 4201; серебро; платина; тантал; цирконий; молибден; золото; 2 — сплавы Н70МФВ, Н65М-ВИ; ХН65МВУ (до 70 °С); кремнистая бронза, монель-металл (до 70 °С); сурьмянистый свинец; сплавы титана 4200 (до 80 °С); 4201; серебро; платина; тантал; цирконий; молибден; золото; 3 — кремнистый чугун ЧС15М4, ЧС17М3 (до 50 °С); сплавы Н70МФВ, Н65М-ВИ; ХН65МВУ (до 15%); кремнистая бронза (до 30 °С); монель-металл (до 50 °С); свинец (до 10%, 30 °С); сурьмянистый свинец (до 10%); сплавы титана 4200 (до 10%), 4201 (до 15%); серебро (до 50 °С); платина; тантал; цирконий; молибден; золото; 4 — сплавы Н70МФВ, Н65М-ВИ (до 10%); сурьмянистый свинец (до 10%); сплав титана 4201 (до 10%); серебро (до 10%); платина; тантал; цирконий; молибден; золото; 5 — кремнистый чугун ЧС15М4, ЧС17М3 (до 50 °С); сплавы Н70МФВ, Н65М-ВИ; ХН65МВУ (до 50 °С); платина; тантал; цирконий; золото; 6 — сплав Н65М-ВИ; платина; тантал; цирконий; молибден; золото

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны являются наиболее коррозионно-стойкими в растворах хлороводородной кислоты среди высоколегированных чугунов. Чугуны, содержащие 14—18% Si (ЧС15, ЧС17) можно использовать в кислоте концентрацией до 35—37% при нормальной температуре (рис. 33.63). В растворах концентрацией более 18—20% скорость коррозии этих чугунов (особенно ЧС15) может увеличиваться до 0,5—1 мм/год [61]. Повышение температуры усиливает коррозию кремнистых чугунов, и при концентрации кислоты менее 20% температура не должна превышать 50—70 °С [3, 45], при температуре кипения кислоты кремнистые чугуны нестойки [46, 61, 130].

Для увеличения стойкости кремнистые чугуны дополнительно легируют 3—4% молибдена (ЧС15М4, ЧС17М3). На коррозионное поведение этих чугунов не влияет аэрация кислоты. В любых растворах хлороводородной кислоты при обычной температуре такие чугуны корродируют со скоростью до 0,5 мм/год, в кислоте концентрацией менее 30% при 60 °С — со скоростью до 0,5—1 мм/год, при 80 °С — со скоростью до 1—1,5 мм/год [4, 7, 61, 140]. В кипящей крепкой кислоте эти чугуны быстро разрушаются.

Хромистые чугуны ЧХ28, ЧХ32 сохраняют удовлетворительную стойкость только в очень разбавленной кислоте (при 20 °С в 0,5%-ной HCl скорость коррозии до 1 мм/год [101]). В более концентрированных растворах хлороводородной кислоты высокохромистые чугуны нестойки [7, 40, 46].

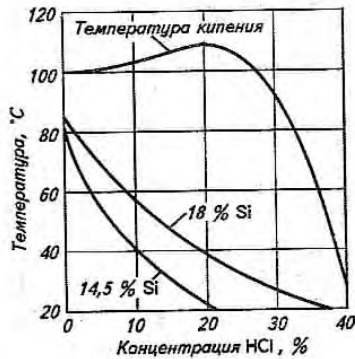


Рис. 33.63. Линии постоянной скорости коррозии (0,1 мм/год) кремнистых чугунов в хлороводородной кислоте [10]

Никелевые чугуны типа нирезист (например, ЧН15Д7) при нормальной температуре обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии $< 0,5$ мм/год) в растворах соляной кислоты концентрацией до 5%, в более концентрированных растворах такие чугуны нестойки [7, 10, 46].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X13—X28 подвергаются сильному коррозионному разрушению в растворах хлороводородной кислоты любой концентрации даже при нормальной температуре. При этом скорость коррозии сталей типа X13 превышает 5 мм/год [2, 61], а скорость коррозии сталей типа X17—X28 в очень разбавленных (до 0,5%) растворах составляет менее 1 мм/год [1, 7, 43].

Хромоникелевые стали типа X18Н10Т при температуре 20 °С в кислоте концентрацией менее 0,5% корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [2, 7, 140] (рис. 33.64), в более концентрированных растворах — нестойки [1, 43, 130].

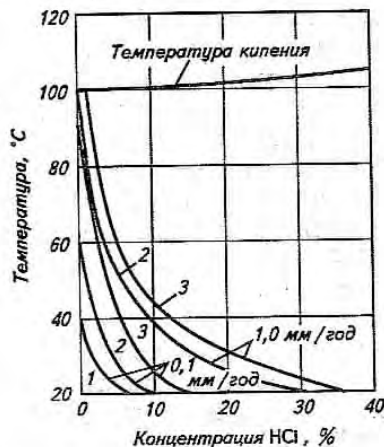


Рис. 33.64. Линии постоянной скорости коррозии (мм/год) нержавеющей сталей в хлороводородной кислоте [10, 14, 32]:

1 — 08Х21Н6М2Т; 2 — 08Х18Н10Т; 3 — 10Х17Н13М2Т

Хромоникелевые стали типа X17H13M2T, дополнительно легированные молибденом, по коррозионной стойкости в соляной кислоте незначительно отличаются от сталей без молибдена. При 20 °С в растворах концентрацией менее 20% их скорость коррозии достигает 0,5—1 мм/год [2, 7, 45, 46], в более концентрированной кислоте стали нестойки [1, 2]. Повышение температуры резко усиливает коррозионное разрушение сталей (см. рис. 33.64).

Стали 03X21H21M4ГБ, 02X21H25M5ДБ, содержащие повышенное количество молибдена, в разбавленных растворах соляной кислоты более стойки по сравнению со сталями типа X17H13M2T (особенно при повышенной температуре). По данным Sandvik Steel, сталь типа 02X21H25M5ДБ сохраняет стойкость (скорость коррозии 0,1 мм/год) при температуре 40 °С в кислоте концентрацией до 2% (рис. 33.65). Сталь 03X21H21M4ГБ можно использовать в более широком интервале концентраций хлороводородной кислоты. При 30 °С сталь имеет удовлетворительную стойкость (скорость коррозии <0,3 мм/год) в растворах концентрацией до 30% [7, 42].

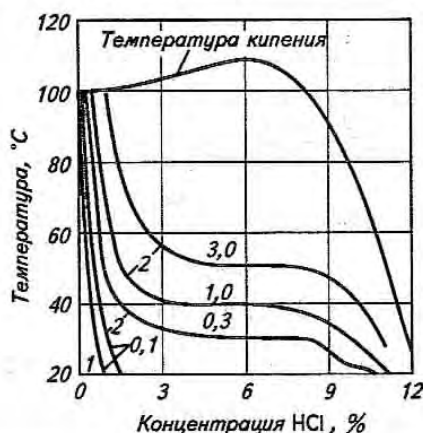


Рис. 33.65. Линии постоянной скорости коррозии (мм/год) нержавеющей сталей в хлороводородной кислоте [10, 14, 32]:

1 — 2RK65 (типа 02X21H25M5ДБ) [данные Sandvik Steel]; 2 — 03X21H21M4ГБ

Аустенитная сталь 03X13AG19 в 2%-ной кислоте при 50 °С корродирует со скоростью 0,2 мм/год, но подвергается коррозионному растрескиванию [18].

Необходимо подчеркнуть, что указанные стали в растворах хлороводородной кислоты могут подвергаться питтинговой коррозии (особенно при повышенных температурах).

Двухфазные стали с молибденом (08X21H6M2T, 03X22H6M2 и др.) при нормальной температуре стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) только в разбавленных (3%) растворах хлороводородной кислоты. В кислоте концентрацией менее 10% скорость коррозии сталей возрастает до 0,5 мм/год, при концентрации 20—30% стали нестойки [2]. Двухфазные стали без молибдена (08X22H6T, 03X23H6) обладают меньшей стойкостью и при 20 °С в растворах концентрацией менее 10% корродируют со скоростью до 1 мм/год, а в более концентрированных растворах — нестойки [1, 2].

Хромоникелевые стали, легированные марганцем (10X14Г14Н4Т, 08X18Г8Н2Т), подвергаются сильному разрушению в хлороводородной кислоте. Даже в очень разбавленных (до 0,5%) растворах при комнатной температуре их скорость коррозии может достигать 3 мм/год, а при концентрации кислоты более 1% — превышать 10 мм/год [2, 7].

Сплавы на железоникелевой основе стойки только в разбавленных растворах соляной кислоты при небольшой температуре (рис. 33.66), но диапазон условий их стойкости несколько шире, чем у нержавеющей сталей.

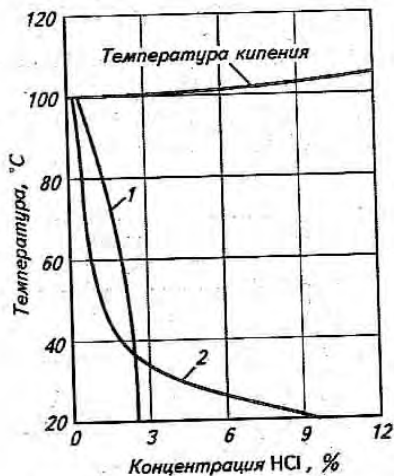


Рис. 33.66. Линии постоянной скорости коррозии (0,1 мм/год) сплавов в хлороводородной кислоте [14, 27]:

1 — Sanicro 28 (типа ХН30МДБ) [данные Sandvik Steel]; 2 — 06ХН28МДТ

Сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ при 20 °С обладают стойкостью (скорость коррозии 0,1 мм/год) в растворах концентрацией менее 10% [14, 27], при концентрации кислоты 10—30% корродируют со скоростью до 0,5 мм/год, в 37%-ной кислоте — со скоростью до 1 мм/год [2].

По данным Sandvik Steel, сплав Sanicro 28 (типа ХН30МДБ) сохраняет стойкость (скорость коррозии 0,1 мм/год) в разбавленных (до 3%) растворах соляной кислоты, причем скорость коррозии его в меньшей степени зависит от температуры.

Никель и сплавы никеля. Никель, имеющий отрицательный стандартный равновесный потенциал (–0,25 В), должен корродировать в кислоте с выделением водорода. Однако из-за большого перенапряжения скорость восстановления катионов водорода на никеле так мала, что ею можно пренебречь. Коррозия никеля в соляной кислоте в основном протекает за счет восстановления кислорода, и на нее решающее влияние оказывает аэрация растворов, а также присутствие других окислителей (например, ионов Fe^{3+} , Cu^{2+} и т.п.).

При комнатной температуре в деаэрированной хлороводородной кислоте концентрацией менее 5% никель корродирует со скоростью 0,2—0,3 мм/год, в условиях аэрации — со скоростью до 1,6 мм/год. С увеличением concentra-

ции кислоты до 15% скорость коррозии никеля возрастает до 0,5 мм/год. В более концентрированной кислоте и при повышении температуры до 60—80 °С никель нестойк [1, 40, 130, 140].

Монель-металл при нормальной температуре в кислоте концентрацией менее 10% корродирует со скоростью 0,15 мм/год, при концентрации 10—35% — со скоростью 0,6—3 мм/год. При температуре 60—80 °С в соляной кислоте монель-металл нестойк [1, 7, 10, 68].

Никельмолибденовые сплавы Н70МФВ-ВИ, Н65М-ВИ благодаря большому содержанию молибдена обладают высокой стойкостью в неокислительных средах, в том числе в хлороводородной кислоте (рис. 33.67). При обычной температуре в кислоте любой концентрации скорость коррозии таких сплавов не превышает 0,1 мм/год, при температуре 60 °С — 0,2—0,5 мм/год, в кипящих растворах — 0,6 мм/год [1, 17, 27, 28]. Сплав Н65М-ВИ, содержащий большее количество молибдена, подвергается значительно меньшей коррозии, и при температуре кипения в 5—21%-ной кислоте скорость коррозии сплава составляет 0,15—0,4 мм/год [7, 48, 111].

Коррозия никельмолибденовых сплавов в соляной кислоте лимитируется скоростью восстановления кислорода или других окислителей, принимающих участие в катодном процессе. Поэтому присутствие в кислоте окислительных ионов (Fe^{3+} , Cu^{2+} и др.) существенно влияет на коррозионную стойкость сплавов и значительно ограничивает температурно-концентрационную область условий их применения (рис. 33.68).

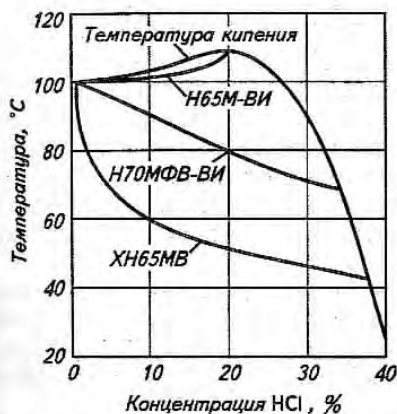


Рис. 33.67. Линии постоянной скорости коррозии (0,1 мм/год) никелевых сплавов в хлороводородной кислоте [14, 27]

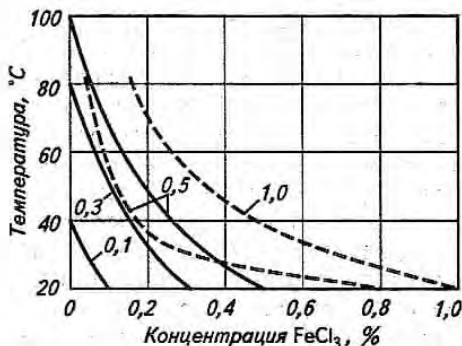


Рис. 33.68. Линии постоянной скорости коррозии (мм/год) сплава Н70МФ в 22%-ной (—) и 30%-ной (----) хлороводородной кислоте, содержащей $FeCl_3$ [141]

Никельхромомолибденовые сплавы (ХН63МБ, ХН65МВУ) обладают меньшей стойкостью в соляной кислоте (см. рис. 33.67) и больше подвержены влиянию аэрации, чем никельмолибденовые сплавы. При обычной температуре они сохраняют стойкость (скорость коррозии 0,1 мм/год) в деаэрированной кислоте любой концентрации [1, 27, 131], но при аэрации скорость коррозии сплавов увеличивается до 0,5—0,7 мм/год [46, 68, 131]. При повышении тем-

пературы до 70 °С только в растворах концентрацией менее 15% сплавы сохраняют скорость коррозии 0,1 мм/год (при аэрации 0,3—0,6 мм/год), а в более концентрированных (20—35%) как деаэрированных, так и аэрированных растворах сплавы нестойки [1, 7, 40]. При температуре кипения сплавы нестойки в любых растворах соляной кислоты [33, 101, 140].

Медь и медные сплавы обычно не рассматривают в качестве конструкционных материалов для растворов хлороводородной кислоты, поскольку на их коррозионное поведение большое влияние оказывают многие факторы, не связанные непосредственно с самой кислотой (температурно-гидродинамическая обстановка, условия аэрации, присутствие в среде окислителей и др.). Необходимо подчеркнуть, что при эксплуатации промышленного оборудования трудно обеспечить полную деаэрацию растворов кислоты, прежде всего из-за возможного проникновения воздуха через различные неплотности.

Медь при нормальной температуре в деаэрированной соляной кислоте концентрацией менее 10% корродирует со скоростью до 0,1 мм/год [1, 40, 46, 130], в 10—20%-ной кислоте — со скоростью до 0,3 мм/год, в 30%-ной кислоте — со скоростью до 0,9 мм/год [40, 48, 130]. В аэрированных растворах и при температуре кипения в любых растворах кислоты медь нестойка [7, 40, 48, 130].

Латуни (Л60, Л68 и др.) менее стойки, чем медь. Даже в очень разбавленных (<0,1%) растворах при температуре 20 °С скорость коррозии достигает 0,3 мм/год, при 50 °С — 0,6 мм/год [130]. В более концентрированных растворах латуни нестойки [1, 7, 140].

Алюминиевые бронзы (5—10% Al) сохраняют удовлетворительную стойкость в хлороводородной кислоте средних концентраций при комнатной температуре. В кислоте концентрацией менее 5% такие бронзы корродируют со скоростью до 0,2 мм/год, в 5—10%-ной кислоте — со скоростью 0,3—0,4 мм/год, в 10—35%-ной кислоте — со скоростью 0,6—3 мм/год [1, 7, 40, 68]. Небольшое повышение температуры (до 40 °С) вызывает интенсивное растворение бронз, и в 10%-ной кислоте бронзы нестойки [43, 46]. При температуре 100 °С в 15%-ной кислоте скорость коррозии алюминиевых бронз 2,5 мм/год, а в 30%-ной кислоте — 0,6 мм/год [40]. Некоторое снижение скорости коррозии при увеличении концентрации и температуры связано с уменьшением растворимости кислорода в кислоте.

Кремнистые бронзы среди всех бронз отличаются наибольшей стойкостью в хлороводородной кислоте. При температуре 20 °С в кислоте концентрацией менее 25% скорость коррозии кремнистых бронз до 0,1 мм/год, в 35%-ной кислоте — 0,5—1 мм/год, при 70 °С соответственно до 1 мм/год и более 5 мм/год [40, 43, 68, 130].

Оловянистые бронзы по коррозионной стойкости уступают кремнистым бронзам. При нормальной температуре в соляной кислоте концентрацией до 10% скорость коррозии оловянистых бронз 0,1—3,5 мм/год, в концентрированной (30—37%) кислоте — 0,5—1 мм/год [1, 68, 130]. При температуре кипения оловянистые бронзы в 10%-ной кислоте нестойки, в 15—30%-ной кислоте — удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,7 мм/год) [7, 68].

Марганцовистые бронзы при 20 °С в кислоте концентрацией до 10% корродируют со скоростью 0,3—2 мм/год, в 35—37%-ной кислоте — со скоростью 0,9 мм/год [46, 130]. При повышении температуры до 40 °С такие бронзы нестойки [46].

Бериллиевые бронзы отличаются наименьшей стойкостью в растворах хлороводородной кислоты. При 20 °С в кислоте концентрацией до 10% их скорость коррозии превышает 1 мм/год [43, 130].

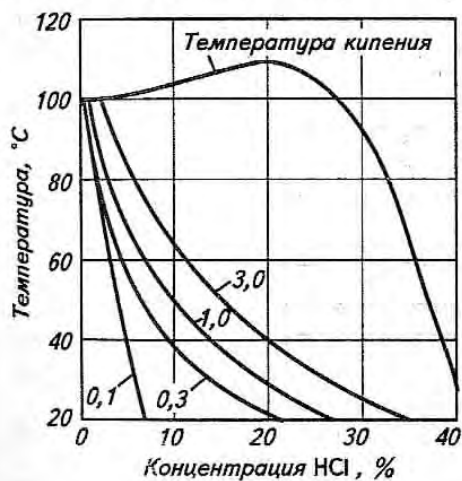
Сплавы меди с никелем (20—30% Ni) при обычной температуре удовлетворительно стойки в любых растворах хлороводородной кислоты (скорость коррозии 0,2—0,8 мм/год) [7, 43, 46, 68].

Обобщенно можно принять, что медь, бронзы и мельхиор пригодны для использования в растворах соляной кислоты концентрацией до 20% при 30 °С [45].

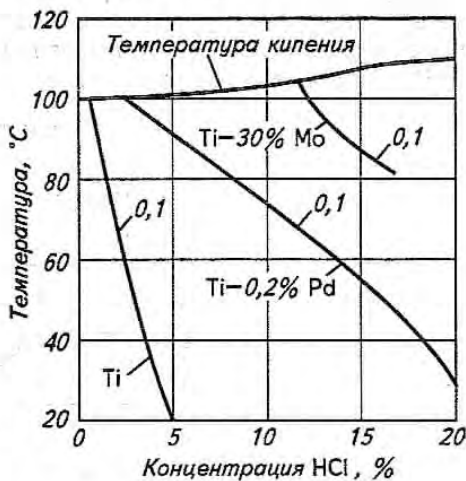
Свинец при нормальной температуре в деаэрированной хлороводородной кислоте концентрацией менее 10% корродирует со скоростью 0,4—0,5 мм/год, при концентрации до 10—35% — со скоростью 0,6—2 мм/год [1, 40, 61, 130]. При повышении температуры до 100 °С в деаэрированной кислоте концентрацией 10—25% свинец нестойк [1, 7, 40, 68]. В условиях аэрации свинец непригоден в соляной кислоте [1, 40, 130].

Сурьмянистый свинец (5—10% Sb) обладает большей стойкостью, чем не легированный свинец. При обычной температуре в хлороводородной кислоте концентрацией до 10% скорость коррозии сурьмянистого свинца не превышает 0,1 мм/год, при концентрации 10—35% — 0,4—0,9 мм/год [7, 40, 46, 140]. При 100 °С в растворах концентрацией менее 10% сурьмянистый свинец корродирует со скоростью до 0,3 мм/год, в более концентрированных (<35%) растворах — менее 1—1,3 мм/год [7, 45, 46, 140].

Титан и сплавы титана. Титан в хлороводородной кислоте обладает ограниченной стойкостью, причем с увеличением концентрации кислоты и температуры скорость коррозии резко возрастает (рис. 33.69, а). В деаэрированных растворах коррозия несколько меньше, чем в условиях аэрации.



а



б

Рис. 33.69. Линии постоянной скорости коррозии (мм/год) титана (а) и его сплавов (б) в хлороводородной кислоте [39, 79]

При обычной температуре титан сохраняет стойкость (скорость коррозии 0,1 мм/год) в кислоте концентрацией менее 5—7%, в 10—20%-ной кислоте скорость коррозии возрастает до 0,5—0,9 мм/год [1, 10, 142, 143]. В концентрированных (35—37%) растворах титан нестоек [7, 68, 142]. Повышение температуры до 50—60 °С увеличивает скорость коррозии в 3—5%-ной кислоте до 0,8—1,5 мм/год, в 10—15%-ной кислоте — до 3—6 мм/год [1, 141—145]. При температуре кипения титан удовлетворительно стоек (скорость коррозии <0,5 мм/год) только в очень разбавленных (до 1%) растворах [10, 44, 101, 140].

Большинство сплавов титана (BT3-1, BT5-1, OT4, OT4-1 и др.) по коррозионной стойкости несколько уступают технически чистому титану. Эти сплавы при комнатной температуре стойки в кислоте концентрацией менее 5% (скорость коррозии 0,1 мм/год), при температуре 60—90 °С сплавы сохраняют стойкость только в кислоте концентрацией менее 1% [43, 48, 140, 145].

Сплавы титана, легированные палладием (сплав 4200) и молибденом (сплав 4201), значительно превосходят титан по коррозионной стойкости (рис. 33.69, б). Сплав 4200, содержащий до 0,3% Pd, при температуре 60 °С стоек в хлороводородной кислоте концентрацией до 10% и удовлетворительно стоек (скорость коррозии <0,3 мм/год) в кислоте концентрацией до 20%. При температуре кипения в разбавленных (<5%) растворах сплав корродирует со скоростью 0,1—0,2 мм/год, в кислоте концентрацией 5—10% сплав нестоек [7, 48, 81, 140].

Сплав 4201, содержащий до 30% Mo, в соляной кислоте концентрацией менее 30% удовлетворительно стоек до температуры кипения (скорость коррозии <0,3—0,4 мм/год) [39, 81, 140].

Цирконий в любых растворах хлороводородной кислоты даже при температуре кипения подвергается очень незначительной коррозии (<0,1 мм/год) [3, 82, 101, 146]. Лишь при температуре выше 190 °С в кислоте концентрацией более 18% цирконий корродирует со скоростью 0,25—1,3 мм/год [41] (рис. 33.70). Цирконий целесообразно применять в кислоте без окислителей концентрацией 10—30% до температуры кипения.

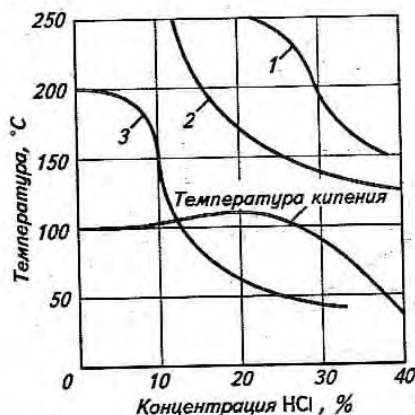


Рис. 33.70. Линии постоянной скорости коррозии (0,13 мм/год) тантала (1), циркония (2) и ниобия (3) в хлороводородной кислоте [147]

Сплавы циркония Э-110 и Э-125, содержащие соответственно 1,0 и 2,5% ниобия, при температуре кипения имеют несколько меньшую стойкость. Скорость коррозии сплавов в кипящих растворах соляной кислоты концентрацией 20% может достигать 0,2 мм/год [28].

Ниобий сохраняет достаточную стойкость при повышенной температуре только в растворах кислоты небольших концентраций (см. рис. 33.70). При температуре кипения и концентрации кислоты менее 15% скорость коррозии ниобия увеличивается до 0,25 мм/год, в растворах концентрацией 15—20% — скорость коррозии до 1—1,3 мм/год [10, 41, 83]. К тому же при высоких значениях температуры и концентрации кислоты ниобий охрущивается [83].

Тантал обладает очень высокой коррозионной стойкостью в растворах хлороводородной кислоты (см. рис. 33.70) [1, 3, 131]. При температуре кипения его можно применять в кислоте любой концентрации, а при температуре 190 °С — в кислоте концентрацией менее 25% (скорость коррозии 0,03 мм/год) [10, 41].

Серебро в хлороводородной кислоте образует на корродирующей поверхности осадок хлорида серебра. Однако защитная способность осадка невелика, и серебро сохраняет стойкость только в кислоте небольшой концентрации. При температуре 50 °С в растворах концентрацией менее 15% скорость коррозии серебра до 0,1 мм/год, при концентрации 15—25% — до 0,4 мм/год [7, 40, 68, 140]. При 100 °С серебро в кислоте концентрацией менее 10% корродирует со скоростью 0,2 мм/год, в более концентрированных растворах (10—35%) скорость коррозии достигает 0,2—2,5 мм/год [1, 40, 61, 68]. По данным источников [1, 2, 7], в 36%-ной кислоте серебро нестойко.

Благородные металлы. Золото, платина, родий, рутений стойки в хлороводородной кислоте любой концентрации до температуры кипения [10, 40, 43, 130]. В концентрированной деаэрированной кислоте платина нестойка [62].

Палладий стоек в деаэрированной кислоте любой концентрации до температуры кипения [2, 10, 48], но при доступе кислорода металл сильно разрушается [68, 130].

Иридий стоек в кислоте любой концентрации до 100 °С [10, 48]. По другим данным [2], в 36%-ной кислоте даже при температуре 18 °С скорость коррозии иридия достигает 0,5—1 мм/год.

Осмий стоек в соляной кислоте любой концентрации при небольшой температуре, при 100 °С в 36%-ной кислоте — нестойк [2, 10, 130].

Другие металлы. Молибден, вольфрам стойки (скорость коррозии <0,03 мм/год) в хлороводородной кислоте любой концентрации до температуры кипения [41].

Ванадий стоек в растворах концентрацией до 20% только при нормальной температуре (скорость коррозии 0,1 мм/год) [2, 48].

Алюминий, магний, олово, цинк нестойки даже в очень разбавленных растворах соляной кислоты при комнатной температуре [1, 7, 46].

В табл. 33.10 приведены предельные сочетания температуры и концентрации хлороводородной кислоты для некоторых металлов и сплавов, при которых они сохраняют достаточную коррозионную стойкость.

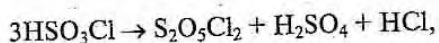
Таблица 33.10. Предельные условия применения металлов и сплавов в хлороводородной кислоте

Материал	Концентрация, %	Температура, °С	Источник
Бронза алюминиевая	10	30	[1, 40, 62]
Бронза кремнистая	20	30	[40, 45]
Золото	Любая	Кип.	[10, 40, 45, 62]
Медь	10 (деаэр.)	30	[3, 40, 45]
Мельхиор	10	30	[62]
Молибден	Любая	Кип.	[41]
Монель-металл	20	50	[3]
	10 (деаэр.)	30	[3, 45, 140]
Никель	2 (аэр.)	50	[140]
	10 (деаэр.)	30	[3, 140]
Ниобий	10	Кип.	[41]
Платина	Любая	Кип.	[10, 40, 45, 62]
Свинец, сурьмянистый свинец	10	30	[10, 40, 45, 62]
Серебро	5	Кип.	[45]
	10	50	[7, 68, 140]
Сплав:			
ХН65МВ, ХН65МВУ	Любая	30	[27, 45]
Н70МФВ-ВИ	5	Кип.	[3, 41, 45]
	Любая	70	[3, 14, 45]
4200 (Ti — 0,2% Pd)	10	60	[39]
4201 (Ti — 30% Mo)	10	Кип.	[39, 81, 140]
Э-110 (Zr — 1% Nb)	15	Кип.	[51]
Тантал	Любая	Кип.	[41, 45, 62]
Титан	5	30	[44, 101]
Цирконий	Любая	Кип.	[41, 82, 146]
Чугун ЧС15М4, ЧС17М3	Любая	30	[7, 45, 62, 140]

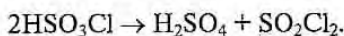
33.17. Хлорсульфоновая кислота — HSO_3Cl или $\text{SO}_2\text{Cl}(\text{OH})$

Хлорсульфоновая кислота является производной серной кислоты, в которой одна гидроксидная группа заменена атомом хлора. Безводная хлорсульфоновая кислота обычно содержит от 0,5 до 5% примесей ($\text{S}_2\text{O}_5\text{Cl}_2$, SO_2Cl_2 , H_2SO_4).

Хлорсульфоновая кислота — гигроскопичная, дымящая на воздухе жидкость с температурой кипения около 155 °С (с частичным разложением). При температуре 40—50 °С начинается распад хлорсульфоновой кислоты по реакции:

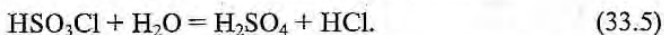


а при температуре выше 100 °С по реакции:



Образующийся хлорид сульфурила далее распадается на SO_2 и Cl_2 .

Безводная хлорсульфоновая кислота очень бурно (с силой взрыва) реагирует с водой, что связано с большим выделением тепла при реакции:



В результате коррозионная активность безводной хлорсульфоновой кислоты и ее водных растворов резко различна. Безводная, совершенно сухая кислота при нормальной температуре оказывает небольшое коррозионное воздействие на металлы. Однако с повышением температуры это воздействие усиливается из-за разложения кислоты и образования более агрессивных компонентов. Присутствие в безводной кислоте даже небольших примесей воды вызывает значительную коррозию многих металлов и сплавов.

В водных растворах хлорсульфоновой кислоты из-за взаимодействия ее с водой по реакции (33.5) присутствуют серная и соляная кислоты. Хлорсульфоновая кислота является сильной кислотой ($K = 2,69 \cdot 10^{10}$ при 20 °С). Водные растворы кислоты фактически можно рассматривать как смеси двух кислот, оказывающих большое разрушающее действие на металлические материалы (см. п. 34.5).

Металлы и сплавы в хлорсульфоновой кислоте обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в безводной хлорсульфоновой кислоте при температуре до 100 °С обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [3], при температуре кипения — нестойки (скорость коррозии >3 мм/год) [148]. В растворах хлорсульфоновой кислоты концентрацией 10—90% при 25 °С такие стали и чугуны быстро разрушаются [3, 48].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в безводной хлорсульфоновой кислоте стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) при температуре до 70 °С [3], при 100 °С скорость коррозии увеличивается до 1—3 мм/год [46, 148].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) нестойки как в растворах, так и в безводной хлорсульфоновой кислоте [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали, содержащие до 30% Cr, в безводной хлорсульфоновой кислоте при нормальной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год), при температуре кипения — нестойки [148]. При этом стали могут подвергаться язвенной коррозии. Во влажной хлорсульфоновой кислоте и в растворах концентрацией более 10% при 20 °С стали типа X13, X17 неприменимы [46, 88], стали типа X25, X28 можно использовать в растворах хлорсульфоновой кислоты [88].

Аустенитные хромоникелевые стали типа X18Н10Т, X17Н13М3Т в безводной хлорсульфоновой кислоте удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) до 50 °С [3], при температуре кипения их применять нельзя [46, 148]. В растворах кислоты концентрацией до 10% при 20 °С стали типа X18Н10Т корродируют со скоростью 0,5—1,3 мм/год [3], в более концентри-

рованных растворах такие стали нестойки [48, 148]. Стали типа Х17Н13М3Т в 90%-ной кислоте при обычной температуре удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в безводной хлорсульфоновой кислоте обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) при температуре до 50 °С [3], с повышением температуры скорость коррозии увеличивается и при температуре кипения превышает 3 мм/год [1, 148]. В 10%-ной кислоте при нормальной температуре сплавы нестойки [2], в 90%-ной кислоте — удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл в безводной хлорсульфоновой кислоте при 20 °С корродируют со скоростью 0,5—1 мм/год [1, 3, 148]. В 10%-ной кислоте при обычной температуре скорость коррозии этих металлов превышает 1,3 мм/год [3].

Нихром, содержащий 14—20% Сг, в безводной хлорсульфоновой кислоте при нормальной температуре удовлетворительно стоек (скорость коррозии <0,5 мм/год) [148].

Никелевые сплавы Н70МФВ, ХН65МВУ в безводной хлорсульфоновой кислоте сохраняют стойкость до 100—150 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 3, 148]. По данным работ [17, 27, 111], сплав ХН65МВУ стоек до 200 °С. В растворах кислоты концентрацией 10—50% при 25 °С оба сплава корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год. Такая же скорость коррозии характерна для сплава Н70МФВ в 88%-ной кислоте при температуре до 100—150 °С [3, 48].

Медь и медные сплавы. Медь в безводной хлорсульфоновой кислоте до температуры кипения корродирует со скоростью 0,5—1,3 мм/год [3]. По данным работ [1, 48, 148], медь, бронза, латунь в безводной хлорсульфоновой кислоте стойки до температуры кипения, в растворах кислоты — нестойки.

Алюминий и его сплавы с магнием, марганцем, кремнием в безводной хлорсульфоновой кислоте при комнатной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год). При повышении температуры до 60—75 °С скорость коррозии возрастает до 0,5—1 мм/год [1, 3, 148]. В растворе кислоты концентрацией 88% алюминий нестойк [48].

Свинец в безводной хлорсульфоновой кислоте при обычной температуре корродирует со скоростью 0,5—1,3 мм/год [3], при 100 °С — нестойк [148]. В 10%-ной кислоте при обычной температуре свинец стоек (скорость коррозии 0,05 мм/год), в 90%-ной кислоте разрушается со скоростью 0,5—1,3 мм/год [3].

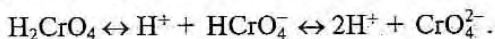
Сурьмянистый свинец в безводной кислоте при температуре до 100 °С обладает несколько большей стойкостью (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) [148].

Другие металлы. Серебро стойко в безводной хлорсульфоновой кислоте при комнатной температуре [1], ниобий, молибден, тантал стойки при температуре до 100 °С [148], золото, платина — до 150 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3]. По данным работы [148], золото можно применять в любой хлорсульфоновой кислоте до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год).

Магний, олово, цинк нестойки в безводной хлорсульфоновой кислоте при обычной температуре [148].

33.18. Хромовая кислота — H_2CrO_4

Хромовая кислота существует только в виде водных растворов. Она образуется при растворении оксида хрома(VI) — CrO_3 , растворимость которого при $20^\circ C$ составляет 62,5%, при $100^\circ C$ — 67,4%. Это кислота средней силы (при $25^\circ C$ константа диссоциации для первой ступени $K_1 = 2 \cdot 10^{-1}$, для второй ступени — $K_2 = 3 \cdot 10^{-7}$), диссоциирующая по уравнению:



Ионы хромата в кислой среде могут превращаться в ионы дихромата:



Для хромовой кислоты характерна полимеризация с образованием изополихромовых кислот (дихромовой, трихромовой и тетрахромовой). Образующаяся дихромовая кислота $H_2Cr_2O_7$ является сильной кислотой ($K = 2 \cdot 10^{-2}$ при $25^\circ C$). Степень полимеризации хромовой кислоты в водных растворах увеличивается с повышением концентрации раствора и его кислотности. Таким образом, при растворении оксида хрома(VI) в воде образуются хромовая и дихромовая кислоты, количественное соотношение между которыми зависит от pH раствора.

Соединения хрома(VI) обладают окислительными свойствами, которые в наибольшей степени проявляются в кислой среде. Это обстоятельство может оказывать существенное влияние на коррозионное поведение металлов и сплавов в растворах хромовой кислоты.

На рис. 33.71 ориентировочно показаны области применения некоторых металлических материалов в зависимости от температуры и концентрации хромовой кислоты.

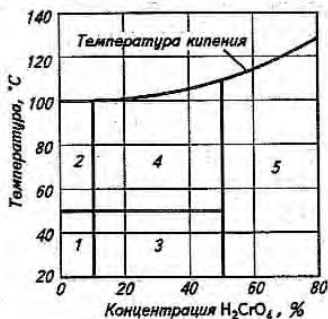


Рис. 33.71. Области применения металлических материалов в хромовой кислоте:

1 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; сталь типа Х13—Х28, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т; сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ; Н70МФВ-ВИ; Н65М-ВИ; ХН63МБ; ХН65МВУ; свинец; титан; цирконий; тантал; серебро; платина; золото; 2 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ (до $70^\circ C$); Н70МФВ-ВИ; Н65М-ВИ; ХН63МБ; ХН65МВУ; свинец; титан; цирконий; тантал; серебро; платина; золото; 3 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32 (до $30^\circ C$); сталь 15Х25Т, 15Х28 (до 20%); сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ; Н70МФВ-ВИ; Н65М-ВИ; ХН63МБ; ХН65МВУ; свинец; титан; цирконий; тантал; платина; золото; 4 — кремнистый чугун ЧС17, ЧС17М3; сплавы Н65М-ВИ, ХН63МБ, ХН65МВУ (до $100^\circ C$); свинец (до $100^\circ C$); цирконий (до $100^\circ C$); титан, тантал, платина, золото; 5 — кремнистый чугун ЧС17, ЧС17М3 (до $100^\circ C$); свинец (до $100^\circ C$); цирконий (до $100^\circ C$); титан; тантал; платина; золото

Углеродистые стали и серые чугуны при нормальной температуре в разбавленных (<30%) растворах хромовой кислоты обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,5—1,3 мм/год). Причем серые чугуны обладают большей стойкостью, чем углеродистые стали [3]. С увеличением концентрации и повышением температуры коррозия усиливается, и в растворах концентрацией более 50% при 60 °С углеродистые стали и серые чугуны нестойки [1, 40].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в хромовой кислоте концентрацией до 50% при температуре ниже 100 °С корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год, в более концентрированных растворах — со скоростью до 0,5 мм/год [3]. При температуре кипения в 50%-ной кислоте чугуны ЧС17, ЧС17М3 сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год), чугуны ЧС15, ЧС15М4 нестойки [4].

Высокохромистые (до 30% Cr) чугуны при обычной температуре стойки в растворах кислоты концентрацией менее 50% (скорость коррозии 0,1—0,2 мм/год) [40].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13, Х17 в разбавленных (до 10—15%) растворах хромовой кислоты стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) при 50 °С и удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,3—1 мм/год) при температуре кипения [1, 40, 43, 112]. При обычной температуре такие стали в растворах концентрацией до 50% сохраняют удовлетворительную стойкость [2, 40, 112], в более концентрированных растворах — нестойки [1, 2]. Хромистые стали типа Х25, Х28 остаются стойкими в кислоте концентрацией до 20% при 50 °С и удовлетворительно стойкими (скорость коррозии <1 мм/год) в 10—40%-ной кислоте при температуре кипения. В более концентрированной кипящей кислоте стали нестойки [1, 2, 4, 46].

Аустенитные хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М3Т в кислоте концентрацией менее 20% стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) до 50 °С, при концентрации менее 10% — удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,5—1 мм/год) до температуры кипения. В более концентрированных (до 50%) растворах стали сохраняют удовлетворительную стойкость при нормальной температуре, при 50 °С — нестойки [1, 40, 46, 48]. По данным работы [3], стали типа Х18Н10Т в 10%-ной хромовой кислоте при нормальной температуре корродируют со скоростью до 0,5 мм/год, при 50 °С — со скоростью 0,5—1,3 мм/год и могут подвергаться точечной коррозии. Стали типа Х17Н13М3Т в кислоте концентрацией 10—70% нестойки при обычной температуре.

Двухфазные аустенитно-ферритные стали 08Х18Г8Н2Т, 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т сохраняют достаточную стойкость при 50 °С только в растворах хромовой кислоты небольших концентраций (первые две до 15—20%, последняя до 40%). При температуре кипения даже в 10%-ной кислоте стали нестойки [1, 2].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в хромовой кислоте любой концентрации удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) до 50—60 °С [1—3, 40]. По данным работы [3], в кислоте концентрацией 60—70% при нормальной температуре сплавы нестойки.

Никель и сплавы никеля. Никель при обычной температуре в разбавленных растворах хромовой кислоты удовлетворительно стоек (в 5%-ной кислоте при

20 °С скорость коррозии 0,1—1 мм/год). С увеличением концентрации кислоты и повышением температуры скорость коррозии резко возрастает, и в 10%-ной кислоте при 100 °С никель нестойк [1].

Монель-металл в хромовой кислоте концентрацией до 5—10% стоек (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) при температуре до 50 °С [1, 3]. При действии растягивающих напряжений монель-металл в растворах хромовой кислоты подвержен коррозионному растрескиванию [1].

Сплавы ХН60МБ, ХН63МБ, ХН65МВУ, Н70МФВ при температуре ниже 100 °С удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—0,6 мм/год) в растворах хромовой кислоты концентрацией до 10—15% [1, 27, 46] (по данным работы [3], до 50%). В кислоте концентрацией более 50% при 20 °С сплавы корродируют со скоростью до 1 мм/год, при 90 °С — нестойки [1].

Алюминий при комнатной температуре относительно стоек (скорость коррозии 0,3 мм/год) в хромовой кислоте концентрацией до 10%. С увеличением концентрации кислоты более 25% скорость коррозии возрастает до 0,6—1 мм/год. При температуре 60—70 °С алюминий остается удовлетворительно стойким при концентрации кислоты менее 5%, в 10%-ной кислоте корродирует со скоростью до 0,6—1,5 мм/год [1, 43, 46, 68].

Коррозионное поведение сплавов алюминия с магнием, марганцем, кремнием, медью, цинком в растворах хромовой кислоты подобно поведению алюминия.

Свинец стоек в хромовой кислоте любой концентрации при температуре до 100 °С [1, 40, 43, 44]. По данным работы [3], в кислоте концентрацией 10—50% при температуре до 100 °С скорость коррозии свинца 0,05—0,5 мм/год.

Серебро сохраняет стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год) в растворах хромовой кислоты при температуре до 100 °С [40]. В 10%-ной кислоте серебро корродирует с такой же скоростью при температуре кипения, в кислоте концентрацией более 50% — только при нормальной температуре [1]. Согласно работе [3], серебро при обычной температуре нестойко в растворах хромовой кислоты.

Другие металлы. Титан, тантал, платина стойки в хромовой кислоте любой концентрации до температуры кипения, цирконий — до 100 °С [1, 10, 40, 83].

Медь, медные сплавы, олово нестойки в хромовой кислоте [1, 40, 43, 46].

В табл. 33.11 приведены предельные сочетания температуры и концентрации хромовой кислоты для некоторых металлов и сплавов, при которых они сохраняют достаточную коррозионную стойкость.

Таблица 33.11. Предельные условия применения металлов и сплавов в хромовой кислоте

Материал	Концентрация, %	Температура, °С	Источник
Алюминий	5	30	[1, 62]
Золото	Любая	100	[62]
Монель-металл	10	50	[1, 3]
Платина	Любая	Кип.	[40, 44, 43, 46]
Свинец	Любая	100	[1, 40, 43, 46]

Материал	Концентрация, %	Температура, °С	Источник
Сплав:			
03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ	50	50	[3]
	Любая	60	[1, 2, 40]
ХН65МВ, ХН65МВУ	10	100	[17, 27, 111]
	50	100	[3]
Н70МФВ-ВИ	10	100	[1]
	Сталь:		
типа Х13, Х17	10	50	[1, 2, 43, 112]
15Х25Т, 15Х28	20	50	[1, 2, 46]
типа Х18Н10Т	10	50	[1, 2, 46, 112]
типа Х17Н13М2Т	20	50	[1, 2, 46, 112]
08Х22Н6Т	20	50	[2]
08Х21Н6М2Т	40	50	[2]
Тантал	Любая	Кип.	[1, 44]
Титан	Любая	Кип.	[1, 10, 43, 83]
Цирконий	Любая	100	[10, 40, 83]
Чугун кремнистый:			
ЧС15, ЧС15М4, ЧС17, ЧС17М3	Любая	100	[3]

ГЛАВА 34. СМЕСИ МИНЕРАЛЬНЫХ КИСЛОТ

34.1. $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4$

Смеси азотной и серной кислот обычно используют в качестве нитрующего реагента. Свойства таких смесей сильно зависят от состава и присутствия в них воды. В безводной смеси увеличение содержания азотной кислоты понижает температуру кипения смеси (особенно сильно при добавлении до 10–15% HNO_3). В смеси кислот с водой увеличение содержания азотной кислоты до 68% повышает температуру кипения смеси, а дальнейшее увеличение — понижает ее. Этот эффект тем больше, чем меньше концентрация серной кислоты в смеси (рис. 34.1).

Смеси серной и азотной кислот обладают значительной электропроводностью, которая с увеличением содержания серной кислоты несколько снижается (от $0,12 \text{ Ом}^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$ при 5% до $0,088 \text{ Ом}^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$ при 65%), а затем вновь возрастает до $0,103 \text{ Ом}^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$ при содержании серной кислоты 95%. Это обеспечивает протекание коррозионных процессов по электрохимическому механизму даже в безводных смесях.

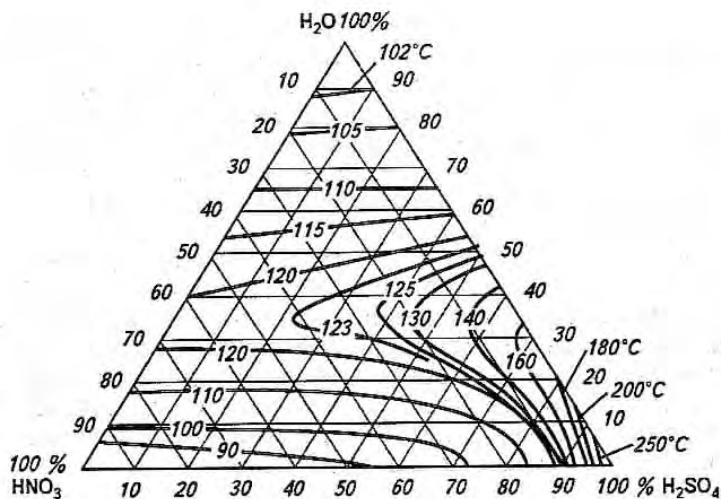
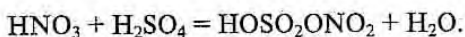
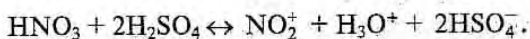


Рис. 34.1. Температура кипения смесей $\text{HNO}_3\text{--H}_2\text{SO}_4\text{--H}_2\text{O}$ при давлении 101,3 кПа

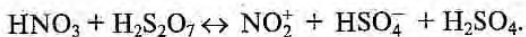
Электропроводность смеси кислот связана с образованием в ней ионизированных частиц. В безводных и маловодных смесях в результате взаимодействия азотной и серной кислот происходит замещение одного атома водорода молекулы серной кислоты нитрогруппой NO_2 с образованием нитросерной кислоты [149]:



Нитросерная кислота диссоциирует с образованием катионов нитрония NO_2^+ и гидросульфат-ионов HSO_4^- , а вода реагирует с серной кислотой с образованием ионов гидроксония H_3O^+ и гидросульфата. Поэтому взаимодействие азотной и серной кислот можно представить уравнением:

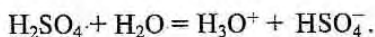


В олеуме образование катионов нитрония происходит при взаимодействии азотной кислоты с дисерной кислотой:



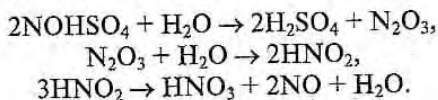
При большом избытке серной кислоты в смеси азотная кислота практически полностью переходит в катионы нитрония, но с увеличением содержания азотной кислоты в безводной смеси степень превращения ее в нитроний уменьшается. Так, при концентрации азотной кислоты в смеси до 10% степень превращения ее в катионы нитрония составляет 100%, а при концентрации азотной кислоты в смеси 90% степень превращения около 6% [149].

При добавлении воды в нитрующую смесь кислот усиливается образование гидроксоний- и гидросульфат-ионов:



В результате этого равновесие в реакциях образования катионов нитрония смещается вправо, и содержание их в смеси уменьшается. Однако в тройной смеси $\text{HNO}_3\text{--H}_2\text{SO}_4\text{--H}_2\text{O}$ вода может связываться преимущественно серной кислотой в различные гидраты. Поэтому катионы нитрония могут присутствовать при тем большем количестве воды в смеси, чем выше содержание в ней серной кислоты. Так, в тройной смеси, содержащей 70% азотной кислоты, катионы нитрония исчезают при содержании 11% воды, а в смеси с 30% азотной кислоты — при 13,5% воды [149].

Смеси серной и азотной кислот, образующиеся при растворении оксидов азота в серной кислоте, используют в процессах нитрования. В этом случае при взаимодействии серной и азотной кислот один атом водорода в молекуле серной кислоты замещается нитрогруппой NO с образованием нитрозилсерной кислоты NOHSO_4 . При диссоциации нитрозилсерной кислоты образуются катионы нитрозония NO^+ и анионы гидросульфата HSO_4^- . В зависимости от содержания воды в смеси нитрозилсерная кислота может подвергаться гидролизу с образованием азотной кислоты:

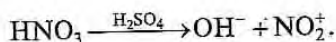


Поэтому смеси серной и нитрозилсерной кислот часто представляют как смеси серной и азотной кислот.

Агрессивность смесей серной и азотной кислот в большой степени зависит от содержания в них воды. Безводные и маловодные смеси являются сильными окислителями. Окислительные свойства таких смесей обусловлены присутствием в них катионов нитрония NO_2^+ , нитрозония NO^+ и негидратированных или минимально гидратированных молекул азотной кислоты (см. выше), являющихся сильными окислителями. Окислительные свойства серной кислоты в таких смесях относительно невысоки. В то же время серная кислота обладает сильным водоотнимающим свойством, что и обеспечивает появление указанных окислительных компонентов в смеси.

Высокие окислительные свойства таких смесей способствуют наступлению и сохранению пассивного состояния металлов и сплавов. Для пассивации нержавеющей стали типа X18H10T с полированной поверхностью в смеси кислот нужно тем меньшее количество азотной кислоты, чем выше концентрация серной кислоты. При 50 °C добавление 7% HNO_3 в серную кислоту концентрацией 5—15% или 3,5% HNO_3 — в 30%-ную H_2SO_4 и 2% HNO_3 — в 60%-ную H_2SO_4 обеспечивает этим сталям пассивное состояние. Стали с протравленной поверхностью (независимо от способа травления) пассивируются значительно легче, и при 50 °C в смеси с любым содержанием серной кислоты полная пассивация сталей достигается при добавлении около 2% азотной кислоты. Для пассивации сталей типа X17H13M2T требуемые добавки азотной кислоты еще меньше (0,2% HNO_3 в 70%-ную H_2SO_4 при 100 °C) [150].

Присутствие серной кислоты в смесях изменяет механизм диссоциации азотной кислоты [151]:



Поэтому небольшие концентрации азотной кислоты в смесях могут обеспечить образование ионов нитрония в количествах, достаточных для пассивации металла. В работе [152] показано, что для перевода стали 12X18H10T в пассивное состояние в 10%-ной серной кислоте минимальное содержание азотной кислоты должно составлять 2,6%, а в 30%-ной кислоте — 0,6%.

Смеси серной и азотной кислот с большим содержанием воды обладают слабыми окислительными и дегидратирующими свойствами. Поэтому коррозионное поведение металлов и сплавов в них в значительной степени приближается к поведению в отдельных кислотах (прежде всего в серной кислоте).

Области применения некоторых металлических материалов при нормальной температуре в зависимости от состава смеси HNO_3 — H_2SO_4 — H_2O ориентировочно показаны на рис. 34.2.

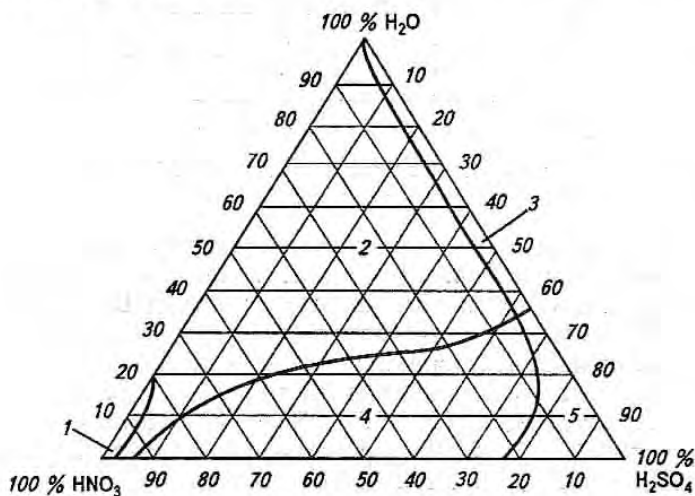


Рис. 34.2. Области коррозионной стойкости (0,5 мм/год) некоторых металлических материалов при обычной температуре в смеси HNO_3 — H_2SO_4 — H_2O [8]:

1 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; стали типа X18H10T; сплавы типа ХН28МДТ; алюминий; тантал; платина; золото; 2 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; стали типа X18H10T; сплавы типа ХН28МДТ; тантал; платина; золото; 3 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; сплавы типа ХН28МДТ; тантал; платина; золото; 4 — углеродистая сталь; серый чугун; кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; стали типа X18H10T; сплавы типа ХН28МДТ; свинец; тантал; платина; золото; 5 — углеродистая сталь; кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; сплавы типа ХН28МДТ; свинец; тантал; платина; золото

Углеродистые стали и серые чугуны. Коррозионное поведение углеродистых сталей в смесях серной и азотной кислот сильно зависит от состава смесей и, прежде всего, наличия в них воды (рис. 34.3). При содержании в смеси менее 20—30% воды и более 10—15% серной кислоты углеродистые стали и серые чугуны обладают достаточной коррозионной стойкостью. Так, при нормальной температуре в смеси, содержащей 10—75% H_2SO_4 и 60—10% HNO_3 , скорость коррозии углеродистых сталей и серых чугунов не превышает 0,1—0,2 мм/год [7, 60]. В безводных и маловодных (до 10%) смесях серной и азотной кислот, содержащих более 75—80% серной кислоты, углеродистые стали и серые чугуны с такой же скоростью корродируют при температуре до 70—100 °С [7, 60].

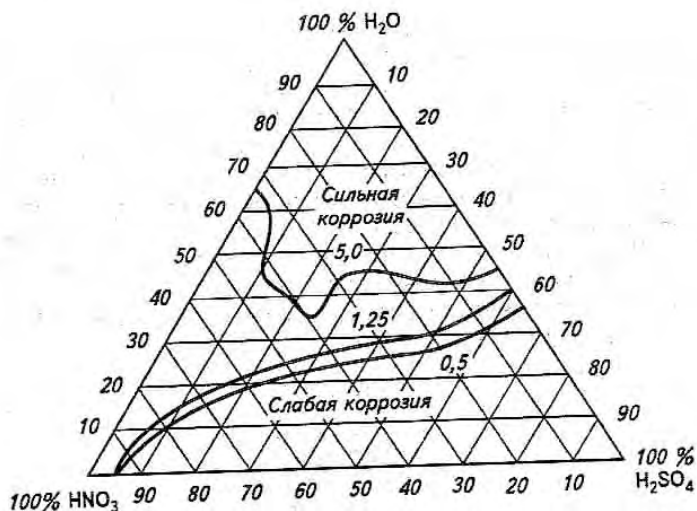


Рис. 34.3. Скорость коррозии (мм/год) углеродистой стали при 20 °С в смесях HNO_3 – H_2SO_4 – H_2O [153, 154]

При действии растягивающих напряжений углеродистые стали подвержены коррозионному растрескиванию в смесях серной и азотной кислот.

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 при температуре 60 °С стойки во всех применяемых (в том числе в разбавленных) смесях серной и азотной кислот. Коррозия чугунов по крайней мере не превышает коррозию их в отдельных компонентах смеси с такими же концентрациями. Так, в смеси, содержащей 88,7% H_2SO_4 ; 4,7% HNO_3 и 6,6% воды, при температуре 50 °С чугуны ЧС15, ЧС17 корродируют со скоростью около 0,05 мм/год [46], в смеси 65% H_2SO_4 ; 2% HNO_3 и 33% воды при 150 °С — со скоростью до 0,1 мм/год [40], а в смеси 93,8% H_2SO_4 ; 1,3% HNO_3 и 4,9% воды при 120 °С — со скоростью 0,2 мм/год [46]. По данным работы [87], кремнистые чугуны, в том числе дополнительно легированные молибденом, можно применять в любых смесях азотной и серной кислот до температуры кипения.

Высокохромистые чугуны ЧХ28, ЧХ32 по коррозионной стойкости в смесях кислот мало отличаются от кремнистых чугунов при температуре до 50–60 °С, но заметно уступают им при более высоких температурах. В смесях, содержащих 58–20–2,5% H_2SO_4 и соответственно 40–15–97,5% HNO_3 (остальное вода), при 60 °С скорость коррозии хромистых чугунов не более 0,1 мм/год [40], а в смеси 93,8% H_2SO_4 ; 1,3% HNO_3 и 4,9% воды при 120 °С — около 3 мм/год (против 0,2 мм/год для кремнистых чугунов) [46].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13–Х25 в разбавленных (15–30% HNO_3 ; 8–2% H_2SO_4) и в более концентрированных (0,5–55% HNO_3 ; 65–5% H_2SO_4) смесях при температуре до 50 °С стойки (скорость коррозии 0,1–0,2 мм/год). В маловодных (5–10% воды) и в безводных смесях хромистые стали стойки только при нормальной температуре (при 40–60 °С скорость коррозии возрастает до 0,5–1 мм/год). При этом влияние температуры тем меньше, чем больше в смеси содержание азотной кислоты. Так, при

60 °С в смеси 25% HNO_3 + 70% H_2SO_4 скорость коррозии сталей с 17% Сг достигает 0,5 мм/год, а в смеси 52% HNO_3 + 45% H_2SO_4 — только 0,1—0,2 мм/год [2, 7, 25, 46].

Хромоникелевые стали типа X18Н10Т, X17Н13М2Т обладают стойкостью в любых смесях азотной и серной кислот при температуре до 50 °С. С повышением температуры область стойкости сталей значительно сужается (рис. 34.4). В смесях с суммарным содержанием серной и азотной кислот 50—60% при увеличении концентрации азотной кислоты хромоникелевые стали сохраняют стойкость только при соответствующем снижении содержания серной кислоты. Так, при 85 °С скорость коррозии хромоникелевых сталей составляет не более 0,1 мм/год, если в смеси содержится или 5% HNO_3 и менее 55% H_2SO_4 , или 40% HNO_3 и менее 20% H_2SO_4 , или 50% HNO_3 и менее 10% H_2SO_4 . В маловодных (до 5% воды) смесях до температуры 60 °С такие стали стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) при содержании азотной кислоты 15—50%. В безводных смесях коррозия стали типа X18Н10 усиливается при увеличении содержания азотной кислоты до 20%, а затем снижается. При содержании в смеси азотной кислоты более 90% коррозия стали вновь резко возрастает. Так, сталь 08X18Н9 остается удовлетворительно стойкой (скорость коррозии 0,2—0,6 мм/год) при температуре до 50 °С только в безводной смеси, содержащей около 10% серной кислоты [155].

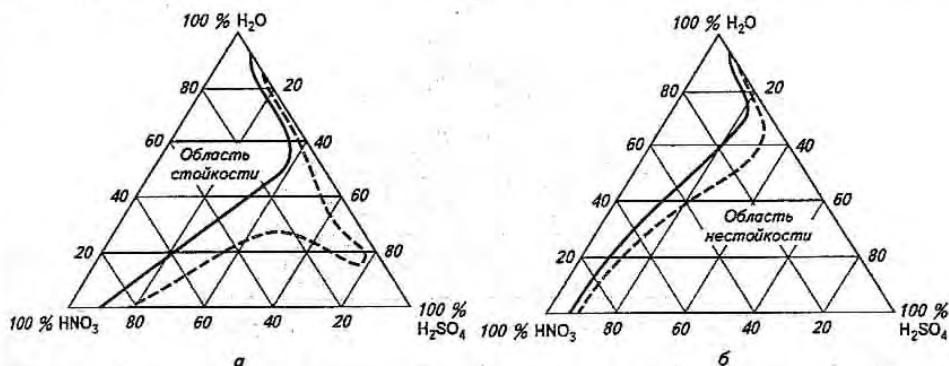


Рис. 34.4. Линии постоянной скорости коррозии (0,1 мм/год) сталей типа X18Н10Т (—) и X17Н13М2Т (-----) в смесях HNO_3 — H_2SO_4 — H_2O при 80 (а) и 100 °С (б) [78]

Двухфазные стали 08X22Н6Т, 08X21Н6М2Т стойки в смесях, содержащих 2—25% HNO_3 и до 70—75% H_2SO_4 , при 60 °С, а в смесях с большим содержанием азотной кислоты (30—55%) и меньшим количеством серной кислоты (25—5%) — при 85 °С. В маловодных и безводных смесях состава 2—50% HNO_3 и 82—50% H_2SO_4 эти стали сохраняют коррозионную стойкость до 60 °С [2]. В разбавленных смесях (1—15% HNO_3 и 1—20% H_2SO_4) сталь 08X22Н6Т обладает удовлетворительной стойкостью до температуры кипения (скорость коррозии ~0,2 мм/год) [15].

Хромомарганцевая сталь 08X18Г8Н2Т в смесях, содержащих 15—50% HNO_3 и 80—50% H_2SO_4 , при температуре до 60 °С корродирует со скоростью 0,1—0,5 мм/год, сталь 10X14Г14Н4Т — нестойка [15].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в смесях, содержащих до 20—25% HNO_3 и до 30% H_2SO_4 , стойки (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год) при температуре ниже 100°C , а в смесях с таким же содержанием азотной кислоты и большим количеством серной кислоты (до 70%) — при $60\text{—}70^\circ\text{C}$. В безводных смесях состава 1—99% HNO_3 и 99—1% H_2SO_4 такие сплавы сохраняют стойкость до 60°C , а с повышением температуры коррозия усиливается (особенно с уменьшением содержания серной кислоты). При температуре 100°C скорость коррозии сплавов в смеси 1% HNO_3 и 99% H_2SO_4 достигает $0,4$ мм/год, в смеси 10% HNO_3 и 90% H_2SO_4 — $0,85$ мм/год [46].

Сплавы на основе никеля обладают низкой коррозионной стойкостью в смесях азотной и серной кислот. В смеси 10% HNO_3 и 30% H_2SO_4 при 80°C сплавы ХН65МВ, ХН65МВУ корродируют со скоростью более $0,4$ мм/год [2], в смеси 10% HNO_3 и 85% H_2SO_4 при 120°C — нестойки [60].

Алюминий и его сплавы недостаточно стойки в смесях азотной и серной кислот даже при небольших температурах. С увеличением содержания серной кислоты и воды в смеси скорость коррозии алюминия возрастает (рис. 34.5). При 40°C в смеси 92% HNO_3 и 3% H_2SO_4 скорость коррозии алюминия около $0,1$ мм/год, в смеси 87% HNO_3 и 6% H_2SO_4 — около $0,4$ мм/год [40].

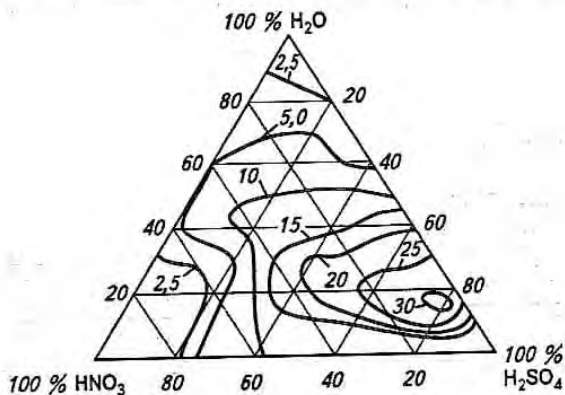


Рис. 34.5. Скорость коррозии (мм/год) алюминия в смесях $\text{HNO}_3\text{—H}_2\text{SO}_4\text{—H}_2\text{O}$ при нормальной температуре [5]

Свинец совершенно нестойк в безводных смесях азотной и серной кислот. В смесях, содержащих 60—80% серной кислоты и небольшие (1—6%) добавки азотной кислоты, при обычной температуре свинец стоек (скорость коррозии $0,1\text{—}0,2$ мм/год). В смесях 60—70% H_2SO_4 и 1% HNO_3 при 100°C скорость коррозии свинца менее $0,2$ мм/год [156] (по данным работы [46] — нестойк). Согласно работе [62], свинец стоек при температуре 100°C в смесях с содержанием воды до 25%.

Сплав свинца с сурьмой (9% Sb) несколько более стоек. Скорость коррозии сплава в смесях 80—94% H_2SO_4 и 1—5% HNO_3 не превышает $0,2\text{—}0,5$ мм/год при температуре до 50°C [7].

Титан и сплавы титана. Титан в безводных смесях, содержащих 90—99% HNO_3 и 10—1% H_2SO_4 , стоек до 100°C , в смесях 65—90% HNO_3 и 35—10%

H_2SO_4 — до $60^\circ C$, в смесях 35—65% HNO_3 и 65—35% H_2SO_4 — до $35^\circ C$ [83, 156]. Скорость коррозии титана в 40 и 94%-ной H_2SO_4 , содержащей от 2 до 30% HNO_3 , соответственно при 40 и $20^\circ C$ не превышает 0,1 мм/год [157]. В растворах серной кислоты концентрацией до 75%, содержащих около 0,1% HNO_3 , титан при нормальной температуре обладает высокой стойкостью (скорость коррозии $<0,02$ мм/год), в растворах концентрацией до 40%, содержащих около 1% HNO_3 , при температуре $90^\circ C$ скорость коррозии титана $\sim 0,45$ мм/год [142]. В смеси азотной (до 90%) и серной кислот при соотношении их 10:1 титан стоек до $70^\circ C$. В смеси азотной и серной (до 70%) кислот при их соотношении 1:10 титан стоек до $35—40^\circ C$ (скорость коррозии 0,1 мм/год) [83].

Скорость коррозии сплавов титана ОТ4 и ВТ6 в смесях 70% H_2SO_4 и 5—15% HNO_3 только при нормальной температуре менее 0,1 мм/год, с увеличением температуры до $40^\circ C$ — достигает 1 мм/год. В смесях 50% HNO_3 и 5—15% H_2SO_4 скорость коррозии этих сплавов при $60^\circ C$ менее 0,1 мм/год, а при $80^\circ C$ — около 0,2 мм/год [158].

Другие металлы. Цирконий в безводных смесях состава 90—99% HNO_3 и 10—1% H_2SO_4 стоек при температуре до $100^\circ C$, в смесях 50—90% HNO_3 и 50—10% H_2SO_4 — до температуры $35^\circ C$ [83, 156].

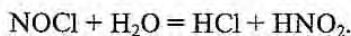
Тантал, платина, золото обладают высокой коррозионной стойкостью в большинстве обычных смесей азотной и серной кислот до температуры кипения [40].

34.2. $HNO_3 + HCl$

Смеси азотной и соляной кислот обычно используют для травления металлов или для их растворения (например, при химическом фрезеровании). Свойства таких смесей сильно зависят от их состава и, прежде всего, от соотношения кислот в смеси.

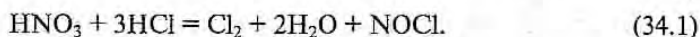
Коррозионная активность смесей определяется сильными окислительными свойствами, присутствием в них депассивирующих ионов Cl^- и большой способностью образовывать комплексные соединения.

Окислительные свойства смесей связаны с присутствием азотной кислоты и образованием хлорида нитрозила $NOCl$ при взаимодействии азотной и соляной кислот. В слабых растворах азотной кислоты, содержащих небольшие добавки соляной кислоты, хлорид нитрозила подвергается гидролизу с образованием соляной кислоты:

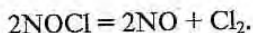


Степень гидролиза зависит от концентрации азотной кислоты: чем меньше ее концентрация, тем больше степень гидролиза и тем больше повышается концентрация соляной кислоты в смеси. По-видимому, при концентрации азотной кислоты более 50% гидролиз хлорида нитрозила не происходит.

Окислительные свойства смесей азотной и соляной кислот, содержащих большие количества соляной кислоты, связаны с тем, что азотная кислота окисляет соляную кислоту с выделением свободного хлора и образованием хлорида нитрозила:



Хлорид нитрозила является промежуточным продуктом реакции и разлагается с образованием свободного хлора:



Образующийся в момент выделения атомарный хлор обуславливает сильные окислительные свойства смеси кислот.

Из уравнения (34.1) видно, что реакция протекает при соотношении азотной и соляной кислот, равном 1:3. Такие смеси, состоящие из 1 объема азотной кислоты и 3—4 объемов соляной кислоты, растворяют многие металлы (в том числе золото и платину), нерастворимые по отдельности в азотной и соляной кислотах. Кроме того, растворению металлов с очень положительными равновесными потенциалами в условиях избытка соляной кислоты способствует образование комплексных соединений (например, $[\text{AuCl}_4]^-$ и $[\text{PtCl}_6]^{2-}$). Это смещает потенциалы металлов в отрицательную сторону и делает термодинамически возможным процесс их растворения. Так, для золота равновесные потенциалы изменяются следующим образом: $E_{\text{Au}^+/\text{Au}}^P = 1,68 \text{ В}$,

$$E_{\text{Au}^{3+}/\text{Au}}^P = 1,50 \text{ В} \text{ и } E_{[\text{AuCl}_4]^-/\text{Au}}^P = 1,0 \text{ В}.$$

Сочетание высокой окислительной способности среды с присутствием большого количества ионов-активаторов препятствует сохранению пассивного состояния металлов и сплавов.

Металлы и сплавы в смесях азотной и соляной кислот обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в смесях азотной и соляной кислот подвергаются интенсивной коррозии даже при небольших концентрациях соляной кислоты. Серый чугун в смеси 65% HNO_3 + 0,3% HCl при обычной температуре нестойк [88].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 и хромистый чугун ЧХ32 при нормальной температуре можно применять только в смесях, содержащих очень малые количества соляной кислоты (в смеси 65% HNO_3 и 0,3% HCl при 20 °С скорость коррозии менее 0,1 мм/год). При температуре кипения в таких смесях скорость коррозии чугунов ЧС15 и ЧС17 достигает 0,5 мм/год [88]. В более концентрированных смесях при соотношении HNO_3 и HCl , равном 1:2, чугун ЧС17 сохраняет стойкость, а чугун ЧС17М3, дополнительно легированный молибденом, корродирует со скоростью до 2 мм/год [68]. В «царской водке» при обычной температуре скорость коррозии чугуна ЧС15 может достигать 1 мм/год, чугуна ЧС15М4 — 3 мм/год [46].

Высоколегированные стали. Хромистые и хромоникелевые стали при нормальной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) в смесях, содержащих более 55% HNO_3 и очень малые добавки соляной кислоты. Повышение температуры резко увеличивает коррозионное разрушение сталей. При температуре кипения в смеси 65% HNO_3 и 0,3% HCl сталь 12Х13 нестойка, сталь 12Х18Н10Т корродирует со скоростью 0,5 мм/год [88]. Снижение концентрации азотной кислоты и повышение количества соляной кислоты в смеси приводит к резкому усилению коррозии (скорость коррозии стали 12Х18Н10Т в 20—30%-ной HNO_3 + 8 г/л Cl^- превышает 10 мм/год [36]). При этом активизирующее действие соляной кислоты зависит от концентрации азотной кислоты

в смеси. Чем ниже концентрация азотной кислоты, тем больше степень гидролиза хлорида нитрозила и образования соляной кислоты, необходимой для активирования стали.

В смеси азотной и соляной кислот типа «царской водки» при обычной температуре все нержавеющие стали нестойки [46].

Титан при нормальной температуре сохраняет стойкость (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) в широком диапазоне соотношений азотной и соляной кислот в смесях (от 3:1 до 1:20) [10]. По другим данным [7], при соотношениях кислот от 1:7 до 1:20 скорость коррозии титана может увеличиваться до 1 мм/год. В работе [39] отмечается, что в смеси, содержащей 4% HNO_3 и 35% HCl , при комнатной температуре после длительной выдержки наблюдается активация титана из-за снижения концентрации азотной кислоты в результате восстановления ее соляной кислотой.

В смесях, содержащих азотную и соляную кислоты в соотношениях (массовые доли) 1—5:5, титан стоек до 95°C (скорость коррозии $<0,1$ мм/год [4]), при соотношениях кислот 1:2 и 3:1 — до 60°C [7, 48]. В «царской водке» титан сохраняет стойкость до 70°C [39] (по другим данным [159], до температуры кипения).

Золото и металлы платиновой группы. Золото, платина, палладий и осмий подвергаются сильной коррозии в «царской водке» даже при нормальной температуре. Иридий, родий и рутений в «царской водке» сохраняют стойкость (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) при температуре до 100°C [10, 68].

Другие металлы. Тантал абсолютно инертен в смесях азотной и соляной кислот при любых концентрациях и соотношениях до температуры кипения [10]. В «царской водке» при 60°C скорость коррозии тантала $\sim 0,01$ мм/год [83].

Цирконий при нормальной температуре в смеси с соотношением азотной и соляной кислот 4:1 медленно корродирует, а в смесях с большим содержанием соляной кислоты подвергается сильному разрушению [83].

Серебро при 20°C в «царской водке» корродирует с незначительной скоростью [46].

34.3. $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HCl}$

Металлы и сплавы в смесях азотной, серной и соляной кислот обладают следующей стойкостью.

Высоколегированные стали подвергаются очень сильной коррозии в смесях этих кислот. Лишь при небольших концентрациях соляной кислоты и значительном содержании азотной или серной кислоты в смеси стали типа X18H10T сохраняют достаточную стойкость при нормальной температуре (рис. 34.6). Низкие концентрации азотной и серной кислот, не обеспечивающие необходимых окислительных свойств смеси, вызывают сильную коррозию сталей даже в присутствии малых количеств соляной кислоты. Так, в смеси, содержащей 1,2% HCl , до 3% HNO_3 и 5—10% H_2SO_4 , при температуре до 60°C скорость коррозии стали 12X18H10T превышает 5 мм/год [161]. Увеличение концентрации соляной кислоты в смеси приводит к возрастанию скорости коррозии в сотни раз. Наиболее высокие скорости коррозии наблюдаются в смесях с большим содержанием азотной и соляной кислот и малым содержанием серной кислоты.

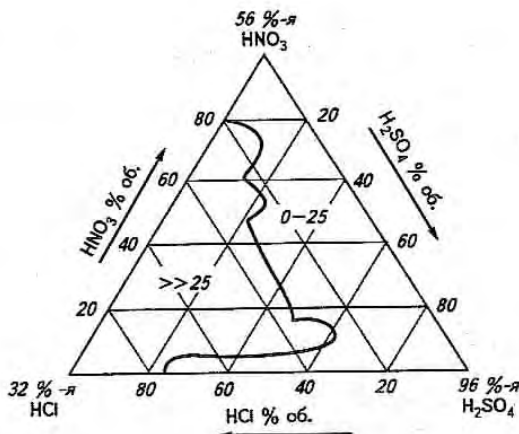


Рис. 34.6. Скорость коррозии (мм/год) стали 12Х18Н10Т в смесях $\text{HNO}_3\text{--H}_2\text{SO}_4\text{--HCl}$ [160]

Добавление серной кислоты к смеси азотной и соляной кислот не влияет на характер зависимости скорости коррозии стали от соотношения HCl и HNO_3 в растворе. Замена 10% (об.) соляной кислоты на серную кислоту в растворах, содержащих менее 50% (об.) азотной кислоты, вызывает резкое увеличение коррозии стали за счет связывания воды и увеличения образования хлорида нитрозила. При большем содержании азотной кислоты в смеси добавление серной кислоты снижает скорость коррозии.

В зависимости от состава смеси кислот $\text{HNO}_3\text{--H}_2\text{SO}_4\text{--HCl}$ коррозия стали 12Х18Н10Т может носить неравномерный или равномерный характер при относительно небольшой или очень большой скорости растворения металла (рис. 34.7).

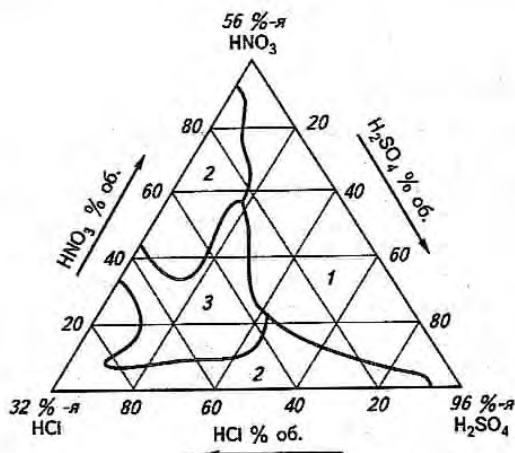


Рис. 34.7. Характер коррозии стали 12Х18Н10Т в смесях $\text{HNO}_3\text{--H}_2\text{SO}_4\text{--HCl}$ [160]:

1 — равномерная коррозия с малой скоростью; 2 — равномерная коррозия с большой скоростью; 3 — неравномерная коррозия

Другие металлы. Сплав 06ХН28МДТ при 60 °С в смесях, содержащих 1,2% HCl, до 2% HNO₃ и 5—10% H₂SO₄, подвергается сильной коррозии (скорость коррозии >5 мм/год). Лишь в тройных смесях, содержащих 3% HNO₃ и 5 или 10% H₂SO₄, скорость коррозии сплава меньше (соответственно 0,5 и 1 мм/год). Титан BT1-0 в этих смесях остается стойким (скорость коррозии <0,2 мм/год) [161].

34.4. HNO₃ + HF (H₂SiF₆)

Смеси азотной и плавиковой кислот широко используют для травления высоколегированных сталей и сплавов, в том числе сплавов на основе никеля и циркония, для растворения тепловыделяющих элементов, для травления полупроводников, а также в качестве десорбирующих растворов в ядерной энергетике.

Агрессивность смеси азотной кислоты (до 56%) с фторидами не зависит от природы катиона фторида (HF, KF, NaF, NH₄F) [162]. Коррозионная активность смесей определяется сильными окислительными свойствами азотной кислоты, депассивирующим действием ионов F⁻ и способностью их образовывать комплексные соединения. Кроме того, присутствующие в смесях недиссоциированные молекулы HF могут увеличивать скорость коррозии за счет химического растворения оксидных пленок на металле.

Фторид-ионы нарушают пассивное состояние большинства металлов, растворяя их оксиды с последующим образованием комплексных соединений ионов металла с ионами F⁻. Это понижает концентрацию собственных катионов металла и приводит либо к уменьшению термодинамической устойчивости (для более благородных металлов), либо к усилению анодного растворения металла. Следует отметить, что никель в отличие от большинства металлов не образует устойчивых фторидных комплексов.

Металлы и сплавы в смесях азотной и плавиковой кислот обладают следующей коррозионной стойкостью.

Высоколегированные стали в смесях азотной и плавиковой кислот корродируют с меньшей скоростью, чем в смесях азотной и соляной кислот. Максимум коррозии стали 12Х18Н10Т наблюдается при содержании в смеси 25—30% азотной кислоты и такого же количества плавиковой кислоты. Уменьшение содержания азотной кислоты и увеличение содержания плавиковой кислоты, так же как и увеличение количества азотной кислоты и уменьшение количества плавиковой кислоты в смеси, ведет к понижению скорости коррозии стали. При постоянной концентрации азотной кислоты с увеличением содержания плавиковой кислоты в смеси (до 4—5% для 30%-ной HNO₃) коррозия возрастает, а при дальнейшем увеличении количества плавиковой кислоты — снижается [163]. Однако скорость коррозии стали остается высокой, что не позволяет использовать ее в качестве конструкционного материала для смесей азотной и плавиковой кислот.

При небольших (<1%) добавках плавиковой кислоты при обычной температуре скорость коррозии сталей типа Х18Н10Т не превышает 1 мм/год [22, 111]. С повышением температуры коррозия сильно возрастает, и в смеси 40—45% HNO₃ и 0,2—0,9% HF при 105 °С скорость коррозии превышает 4 мм/год

[17]. Даже в слабых растворах азотной кислоты, содержащих очень небольшие добавки плавиковой кислоты, с повышением температуры коррозия нержавеющей сталей значительно усиливается. В растворе, содержащем 3% HNO_3 и 0,2% HF , при 50 °С скорость коррозии стали 12X18H10T около 0,8 мм/год, а при 100 °С — почти 2 мм/год [164].

Двухфазные хромоникелевые стали обладают большей стойкостью, чем аустенитные стали. В смеси 3% HNO_3 и 0,2% HF стали 08X22H6T, 03X23H6 при 50 °С корродируют со скоростью около 0,3 мм/год, при 100 °С — со скоростью 0,7—0,9 мм/год; сталь 08X21H6M2T при 50 °С и температуре кипения корродирует со скоростью соответственно менее 0,1 и 0,6 мм/год. Двухфазная сталь с марганцем, легированная молибденом (08X18Г8НЗМЗТ), в такой смеси кислот относительно стойка до 50 °С (скорость коррозии 0,7—0,9 мм/год), а такая же сталь без молибдена (08X18Г8Н2Т) нестойка даже при комнатной температуре [164].

Разбавленные растворы азотной кислоты с очень незначительными добавками плавиковой кислоты не вызывают сильную коррозию нержавеющей сталей при повышенной температуре. В смеси 3% HNO_3 и 0,02% HF скорость коррозии сталей 12X18H10T, 08X22H6T, 03X23H6, 08X21H6M2T, 08X18Г8НЗМЗТ при температуре кипения не превышает 0,1—0,15 мм/год [164]. Однако в более концентрированных (48—49%) растворах азотной кислоты такая добавка плавиковой кислоты при 50 °С увеличивает скорость коррозии сталей до 0,2—0,5 мм/год. При добавлении 0,2% плавиковой кислоты даже при 20 °С скорость коррозии сталей составляет 0,3—0,8 мм/год. Только сталь 03X23H6 в этих условиях сохраняет стойкость (скорость коррозии ~0,1 мм/год) [22]. В 56%-ной HNO_3 , содержащей 0,002% HF , при температуре кипения скорость коррозии стали 03X23H6 достигает 0,2 мм/год [16].

В смеси 1—10% HNO_3 и 1% H_2SiF_6 при температуре 80 °С сталь 08X22H6T корродирует со скоростью 0,4—1,2 мм/год, сталь 08X21H6M2T — со скоростью 0,2—0,4 мм/год [15]. В 15%-ной HNO_3 , содержащей 1% H_2SiF_6 или 1% H_2SiF_6 и 0,1% HF , при температуре до 80 °С сталь 08X21H6M2T обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии ~0,7 мм/год) [165].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ обладают большей стойкостью в смесях азотной и плавиковой кислот, сохраняя удовлетворительную скорость коррозии (0,5 мм/год) до температуры кипения (рис. 34.8). При этом сплав 03ХН28МДТ менее чувствителен к изменению температуры и состава смесей, особенно к содержанию плавиковой кислоты. Этот сплав можно применять при температуре до 70 °С в смесях азотной кислоты с небольшими добавками плавиковой кислоты в условиях умеренного движения растворов. Оба сплава намного более стойки, чем хромоникелевые стали типа Х18Н10Т.

В смеси 15% HNO_3 и 1% H_2SiF_6 сплавы типа ХН28МДТ при температуре 80 °С удовлетворительно стойки (скорость коррозии <0,4 мм/год) [165].

Никельхромовые сплавы, содержащие более 30% Cr , сохраняют пассивное состояние и достаточную коррозионную стойкость в смесях азотной и плавиковой кислот. Увеличение количества хрома до 40% обеспечивает сплав после закалки сохранение структуры однофазного γ -твердого раствора и снижение коррозии.

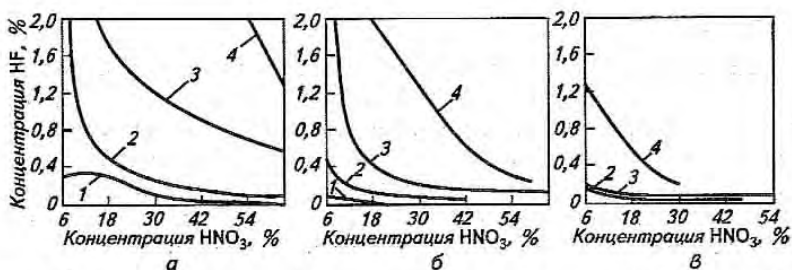


Рис. 34.8. Линии постоянной скорости коррозии (0,5 мм/год) стали 12X18H10T (1) и сплавов 06XH28MДT (2), 03XH28MДT (3), XH58B (4) в смесях HNO_3 —HF— H_2O при 70 °C (а), 90 °C (б) и температуре кипения (в) [166]

Сплав XH58B (39—41% Cr; 0,5—1,5% W) стоек в широком диапазоне смесей азотной и плавиковой кислот даже при повышенных температурах (см. рис. 34.8). В смеси 63% HNO_3 и 1—2% HF при 70 °C скорость коррозии сплава составляет 0,14 мм/год [27]. В травильном растворе 16—18% HNO_3 и 4% HF при 50—60 °C сплав корродирует со скоростью 0,2 мм/год, в то время как скорость коррозии стали 12X18H10T в этих условиях более 1 мм/год [111]. Сварные соединения сплава XH58B стойки против межкристаллитной коррозии в азотнокислых растворах, содержащих фториды, и сплав рекомендуют для изготовления сварного оборудования, эксплуатируемого в подобных средах [27].

Титан резко снижает коррозионную стойкость при добавлении в азотную кислоту даже небольших количеств фторид-ионов (рис. 34.9). В смеси 15% HNO_3 и 1% HF при нормальной температуре скорость коррозии титана более 2 мм/год [39]. Дымящая азотная кислота, содержащая 0,5% HF, при 54 °C вызывает коррозию титана со скоростью около 2,2 мм/год [68].

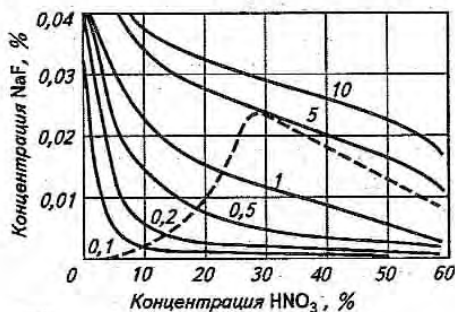


Рис. 34.9. Линии постоянной скорости коррозии (мм/год) титана в HNO_3 с добавкой NaF при кипении (условия под пунктирной линией — пассивное состояние металла) [167]

Другие металлы. Цирконий подвергается сильной коррозии в смесях азотной и плавиковой кислот независимо от концентрации азотной кислоты.

Тантал сильно разрушается в смесях азотной и плавиковой кислот [4]. В дымящей азотной кислоте, содержащей 0,5% HF, при 54 °C скорость коррозии тантала более 0,5 мм/год [68].

Золото и платина стойки в смесях азотной и плавиковой кислот.

34.5. $H_2SO_4 + HCl$

Коррозионная активность смесей серной и соляной кислот сильно зависит от их состава. С одной стороны, в этих смесях присутствуют депассивирующие ионы Cl^- , а с другой стороны, с увеличением концентрации серной кислоты окислительные свойства смеси возрастают, что способствует смещению потенциалов металлов до значений положительнее потенциалов питтингообразования и возникновению локальной коррозии металлов, находящихся в пассивном состоянии. Поэтому достаточной коррозионной стойкостью в смесях этих кислот могут обладать лишь сплавы, дополнительно легированные элементами (молибден, кремний), способными противостоять разрушающему действию хлорид-ионов.

Металлы и сплавы в смесях серной и соляной кислот обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны разрушаются с большой скоростью даже при высокой концентрации серной кислоты и незначительной добавке соляной кислоты. Скорость коррозии стали и чугуна в смеси 94% H_2SO_4 и 0,3% HCl при 40 °С превышает соответственно 1 и 2 мм/год [88].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в 94%-ной H_2SO_4 , содержащей 0,3% соляной кислоты, при 40 °С стойки (скорость коррозии ~0,1 мм/год) [88]. Даже в более агрессивной смеси 67% H_2SO_4 и 0,3% HCl кремнистые чугуны сохраняют достаточную стойкость (скорость коррозии <0,6 мм/год) до температуры кипения [46].

Высокохромистые (28—36% Cr) чугуны сильно корродируют в смесях серной и соляной кислот. При 40 °С в смеси состава 94% H_2SO_4 и 0,3% HCl скорость коррозии таких чугунов превышает 5 мм/год [88].

Высоколегированные стали. Хромистые и хромоникелевые стали нестойки в разбавленных и концентрированных смесях серной и соляной кислот. В 94%-ной H_2SO_4 , содержащей 0,3% HCl , при 40 °С скорость коррозии сталей типа Х13 и Х18Н10Т достигает 1,4—1,8 мм/год [88]. В смесях, содержащих до 5% HCl и 5—10% H_2SO_4 , при 60 °С сталь 12Х18Н10Т корродирует со скоростью 3—5 мм/год [161].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ обладают большей стойкостью в смесях серной и соляной кислот, чем нержавеющие стали. При нормальной температуре в смеси, содержащей 5% HCl и 21—92% H_2SO_4 , сплавы корродируют со скоростью до 0,2 мм/год [46]. В разбавленных (1—10%) растворах серной кислоты, содержащих 1,2% HCl , сплавы обладают удовлетворительной стойкостью (при 60 °С скорость коррозии 0,5—0,7 мм/год) [46, 168]. Увеличение содержания соляной кислоты в смеси приводит к значительному усилению коррозии сплавов. При обычной температуре в смеси состава 5% H_2SO_4 и 0,6% HCl скорость коррозии сплава 06ХН28МДТ всего лишь 0,01 мм/год, а при содержании 5% HCl скорость коррозии возрастает до 2 мм/год [161]. При 20 °С в смеси 21% H_2SO_4 и 5% HCl скорость коррозии этого же сплава около 0,1 мм/год, а в смеси 21% H_2SO_4 и 35% HCl сплав нестойк [46]. Повышение температуры смеси также увеличивает коррозию сплавов. В смеси состава 9% H_2SO_4 и 1% HCl при 60 °С скорость коррозии сплава 06ХН28МДТ около 0,7 мм/год, а при 100 °С — более 3 мм/год [46].

Сплавы никеля Н65М-ВИ, Н70МФВ-ВИ стойки в разбавленных смесях, содержащих значительные количества соляной кислоты, даже при повышенных температурах. В смеси, содержащей 9% H_2SO_4 и 10% HCl , при температуре кипения скорость коррозии сплавов около 0,1 мм/год [2].

Железоникелевые сплавы (41—44% Ni) нестойки в смесях с большой (65—94%) концентрацией серной кислоты и незначительной (0,3%) добавкой соляной кислоты [88].

Титан в разбавленных (5—10%) растворах серной кислоты, содержащих даже небольшие добавки соляной кислоты, подвергается сильной коррозии. В смеси 5% H_2SO_4 и 1—5% HCl скорость коррозии титана ВТ1-0 достигает 4—5 мм/год [161].

Другие металлы. Оловянистая (8,5% Sn; 1,5% Zn) и алюминиевая (10% Al) бронзы в 94%-ной серной кислоте, содержащей 0,3% соляной кислоты, при 40 °С сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,05 мм/год). Сурьмянистый свинец (9,3% Sb) в этих условиях относительно стоек (скорость коррозии ~0,6 мм/год) [88].

34.6. $H_2SO_4 + HI$

Смеси серной и иодоводородной кислот встречаются в иодной промышленности (например, при извлечении иода из буровых вод методом воздушной десорбции). В этом случае образуется смесь кислот, содержащая до 10% серной и иодоводородной кислот. При таких концентрациях серной кислоты смесь кислот не является окислительной средой, способствующей возникновению пассивного состояния металлов. Присутствующие в смеси ионы I^- препятствуют сохранению пассивного состояния и могут вызывать локальную (питтинговую и язвенную) коррозию.

Металлы и сплавы в смесях серной и иодоводородной кислот обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые и низколегированные стали подвергаются сильной коррозии в смесях серной и иодоводородной кислот. В смеси состава 8—9% H_2SO_4 и 8—9% HI при 45 °С стали Ст3 и 20ХНФА корродируют со скоростью более 6 мм/год при язвенном характере разрушения [43].

Высоколегированные стали. Хромистые и хромоникелевые стали нестойки в разбавленных смесях серной и иодоводородной кислот. Скорость коррозии сталей типа Х13 и Х28 в смеси 8—9% H_2SO_4 и 8—9% HI при 45 °С более 8 мм/год. В этих условиях хромоникелевые стали 12Х18Н9Т и 08Х18Н12Б корродируют со скоростью около 4 мм/год при сильной питтинговой и язвенной коррозии. Хромоникелевые стали, дополнительно легированные молибденом, корродируют с несколько меньшей скоростью (1,4 мм/год для стали 08Х17Н15М3Т), но также подвергаются локальной (питтинговой) коррозии [43].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ обладают большей стойкостью в смесях серной и иодоводородной кислот, чем нержавеющие стали. При температуре 45 °С в смеси, содержащей 8—9% H_2SO_4 и такое же количество HI , сплав 06ХН28МДТ корродирует со скоростью около 0,3 мм/год, но даже при незначительном (65 °С) повышении температуры сплав нестойк [43].

Медные сплавы. Латуни несколько более стойки в разбавленных смесях серной и иодоводородной кислот, чем нержавеющие стали. Скорость коррозии латуни ЛО62-1 в смеси 8—9% H_2SO_4 и 8—9% HI при 45 °С около 0,7 мм/год. Алюминиевые бронзы по коррозионной стойкости превосходят латуни в смесях как с низкой, так и с высокой концентрацией серной кислоты. В указанных условиях скорость коррозии бронзы типа Бр.АМц около 0,3 мм/год. Близкую (0,4 мм/год) скорость коррозии имеет алюминиевая бронза Бр.А7 при температуре 40—60 °С в 93,2%-ной H_2SO_4 , содержащей 3—4% HI [43].

Другие металлы. Сплавы алюминия подвергаются сильной питтинговой коррозии в разбавленных смесях серной и иодоводородной кислот. В смеси состава 8—9% H_2SO_4 и 8—9% HI при 45 °С скорость коррозии сплавов Д1 и АМг3 соответственно около 2 и 6 мм/год. Титан ВТ1 в этих условиях корродирует со скоростью 1 мм/год. Относительно большей стойкостью обладают свинец и монель-металл НМЖМц 28-2,5-1,5. В тех же условиях скорость коррозии монель-металла около 0,65 мм/год, свинца С1 при 65 °С в той же смеси — около 0,85 мм/год [43].

34.7. $H_2SO_4 + HF$

Коррозионная активность смесей серной и плавиковой кислот определяется теми же факторами, что и смесей серной и соляной кислот, главным из которых является присутствие в смесях ионов-активаторов, способных нарушать пассивное состояние металлов. Следует отметить, что депассивирующая способность фторид-ионов больше, чем хлорид-ионов, особенно при повышенных температурах. Кроме того, как в серной, так и в плавиковой кислоте при больших концентрациях могут образовываться труднорастворимые солевые осадки, способные тормозить коррозионный процесс (солевая пассивность).

Металлы и сплавы в смесях серной и плавиковой кислот обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые стали при небольшой температуре относительно стойки в смесях плавиковой и серной кислот с высокой концентрацией последней. В смеси 91—96% H_2SO_4 и 0,7—7% HF при температуре до 40 °С сталь Ст3 корродирует со скоростью менее 1 мм/год, при температуре 60 °С — нестойка. По данным работы [132], в смеси, содержащей 90—95% H_2SO_4 и 5—8% HF, при температуре 20—40 °С сталь Ст3 корродирует со скоростью более 2 мм/год.

Смеси кислот, содержащие значительные количества плавиковой кислоты, оказывают меньшее разрушающее действие на углеродистые стали. В смеси 64—80% H_2SO_4 и 8—16% HF при температуре 80—100 °С скорость коррозии стали Ст3 до 1,8 мм/год, в смеси 60% H_2SO_4 и 40% HF при температуре 50—55 °С — около 0,4 мм/год [129].

Высоколегированные стали. Хромоникелевые стали типа X18H10T в смесях серной и плавиковой кислот с большим содержанием плавиковой кислоты менее стойки, чем углеродистые стали, даже при нормальной температуре. В смеси 60% H_2SO_4 и 40% HF сталь 12X18H10T при 20 °С корродирует со скоростью около 0,5 мм/год, при температуре до 50—55 °С — нестойка. Легирование молибденом хромоникелевых сталей значительно повышает их коррозионную стойкость. В смеси 60% H_2SO_4 и 40% HF при 50—55 °С сталь 10X17H13M3T

корродирует со скоростью менее 0,15 мм/год [129]. В смеси, содержащей 85—93% H_2SO_4 и 8—12% HF, при температуре 70 °С сталь нестойка [132].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ отличаются высокой стойкостью в смесях серной и плавиковой кислот при температуре до 40—50 °С. В смесях 60% H_2SO_4 и 40% HF или 91—96% H_2SO_4 и 0,7—7% HF скорость коррозии сплавов менее 0,01 мм/год. Повышение температуры увеличивает скорость коррозии до 0,1 мм/год в смеси 64—80% H_2SO_4 и 8—16% HF при 80—100 °С и до 0,35 мм/год в смеси 93% H_2SO_4 и 3—4% HF при 40—60 °С [129]. В смеси, содержащей 10—20% H_2SO_4 и 60—70% HF, при температуре до 35 °С скорость коррозии сплавов 0,2 мм/год [132].

Никель и сплавы никеля. Никель в смеси 60% H_2SO_4 и 40% HF при 20 °С подвергается коррозии со скоростью около 0,5 мм/год, монель-металл — со скоростью 0,15 мм/год. В олеуме, насыщенном HF, при 108 °С никелевые сплавы Н65М-ВИ, Н70МФВ-ВИ нестойки [2].

Медь и медные сплавы. Медь относительно стойка в смесях серной и плавиковой кислот с малым содержанием серной кислоты и высоким содержанием плавиковой кислоты даже при повышенных температурах. В смесях 5% H_2SO_4 и 40% HF при 110—114 °С или 64—80% H_2SO_4 и 8—16% HF при 80—100 °С скорость коррозии меди М1 около 0,15 мм/год. Увеличение концентрации серной кислоты в смеси приводит к возрастанию коррозии меди (до 0,4 мм/год при 10% и до 0,6 мм/год при 15% серной кислоты в смеси с 40% HF).

Алюминиевые бронзы (Бр.А5, Бр.А7) при небольшой (40—60 °С) температуре удовлетворительно стойки в смесях 91—96% H_2SO_4 и 0,7—7% HF (скорость коррозии <0,4 мм/год). С повышением температуры скорость коррозии возрастает (до 1,8 мм/год при 80—100 °С в смесях 64—80% H_2SO_4 и 8—16% HF). В этих условиях скорость коррозии оловянноцинковой бронзы не более 0,15 мм/год [129].

Свинец в смесях серной и плавиковой кислот корродирует с большой скоростью как при нормальной, так и при повышенной температуре. В смеси 60% H_2SO_4 и 40% HF при 20 °С скорость коррозии свинца 0,8 мм/год, в смесях 64—80% H_2SO_4 и 8—16% HF при 80—100 °С — скорость коррозии 0,5—5,7 мм/год [129].

34.8. $H_3PO_4 + HNO_3$

Агрессивность смеси фосфорной и азотной кислот определяется ее составом, поскольку коррозионная активность кислот очень различна (см. свойства индивидуальных кислот). При малом содержании азотной кислоты агрессивность смеси повышается с увеличением концентрации фосфорной кислоты. Увеличение содержания азотной кислоты в смеси способствует образованию и сохранению защитных пленок на металлической поверхности.

Металлы и сплавы в смесях фосфорной и азотной кислот обладают следующей коррозионной стойкостью.

Высоколегированные чугуны сохраняют стойкость только при небольшой температуре. В смеси 24% H_3PO_4 и 2,5% HNO_3 при 60 °С скорость коррозии кремнистого чугуна ЧС17М3 менее 0,1 мм/год, при 80 °С она возрастает до 0,5 мм/год. В смеси, содержащей 24% H_3PO_4 и 10% азотной кислоты, при

80 °С скорость коррозии чугуна ЧС17М3 остается равной 0,1 мм/год. Хромистый чугун ЧХ32 в этих условиях отличается высокой стойкостью (скорость коррозии 0,04 мм/год) [60].

Высоколегированные стали и сплавы на железоникелевой основе в разбавленных растворах фосфорной кислоты, содержащей небольшие добавки азотной кислоты, обладают высокой коррозионной стойкостью. В смеси 14,5% H_3PO_4 и 0,4% HNO_3 при 70 °С в условиях интенсивного перемешивания стали типа X18H10T, X17H13M3T и сплавы типа ХН28МДТ, ХН40МДБ корродируют со скоростью 0,003 мм/год [40]. В смеси 15% H_3PO_4 и 15% HNO_3 при 80 °С скорость коррозии стали 08X21H6M2T — 0,001 мм/год, сплава 06ХН28МДТ — 0,013 мм/год [54, 165]. В смеси состава 24% H_3PO_4 и 2,5—10% HNO_3 при 80 °С скорость коррозии стали 12Х18Н9Т не превышает 0,02 мм/год.

Добавление 1% HNO_3 в H_3PO_4 концентрацией 80% резко снижает скорость коррозии сталей 08Х18Н10Т и 10Х17Н13М2Т, а дальнейшее повышение содержания азотной кислоты в смеси приводит к увеличению скорости коррозии. Стали 08Х18Н10Т и 08Х22Н6Т остаются стойкими (скорость коррозии 0,1 мм/год) до 80 °С при концентрации азотной кислоты в смеси менее 5%, стали 10Х17Н13М2Т и 08Х21Н6М2Т — при концентрации до 10%. Сплав 06ХН28МДТ в этих условиях остается стойким до 100 °С [169].

Титан ВТ1 в смеси 80% H_3PO_4 и 10% HNO_3 при температуре 114 °С корродирует со скоростью 0,13 мм/год [7].

34.9. $H_3PO_4 + H_2SO_4$

Смеси фосфорной и серной кислот используют для травления различных сталей. При содержании серной кислоты до средних концентраций смеси отличаются достаточно высокой агрессивностью, хотя и меньшей, чем одна серная кислота. С увеличением содержания серной кислоты в смеси процесс коррозии ускоряется. При этом примеси серной кислоты в фосфорной кислоте интенсифицируют коррозию в большей степени, чем добавки азотной кислоты.

Металлы и сплавы в смесях фосфорной и серной кислот обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые и низколегированные стали в растворах фосфорной кислоты, содержащих небольшие добавки серной кислоты, растворяются с очень большой скоростью. В смеси 40% H_3PO_4 и 2% H_2SO_4 при 80 °С такие стали нестойки [2].

Серые чугуны в безводных смесях 5—30% H_3PO_4 и 95—70% H_2SO_4 при нормальной температуре сохраняют достаточную стойкость (скорость коррозии <0,25 мм/год) [46].

Высоколегированные чугуны. Кремнистый чугун ЧС17М3 и хромистый чугун ЧХ32 в 24%-ной фосфорной кислоте, содержащей до 6% серной кислоты, при 60 °С корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год. Повышение температуры до 80 °С увеличивает скорость коррозии кремнистого чугуна ЧС17М3 до 0,25—0,3 мм/год в смеси, содержащей менее 2,5% серной кислоты, и до 0,5 мм/год при содержании серной кислоты 6%. Хромистый чугун ЧХ32 в тех же условиях корродирует со скоростью соответственно около 0,3 и 26 мм/год [60].

Высоколегированные стали. Коррозионная стойкость хромистых сталей в смесях фосфорной и серной кислот возрастает с увеличением содержания хрома в стали. В смеси 40% H_3PO_4 и 2% H_2SO_4 при 80 °С стали типа X13, X17 нестойки, стали типа X25, X28 корродируют со скоростью до 1 мм/год. В той же смеси при температуре кипения все указанные стали нестойки [2].

Хромоникелевые аустенитные стали типа X18H10T сохраняют достаточную стойкость только в разбавленных смесях, содержащих небольшие добавки серной кислоты. При этом на коррозионное поведение сталей большое влияние оказывает температура, поскольку с ее повышением скорость коррозии может резко возрастать из-за нарушения пассивного состояния сталей. В 24%-ной фосфорной кислоте, содержащей до 6% серной кислоты, при 60 °С сталь 12X18H9T корродирует со скоростью 0,01 мм/год. При повышении температуры до 80 °С сталь остается стойкой (скорость коррозии 0,1 мм/год) только в смесях, содержащих менее 2,5% серной кислоты, в смеси 24% H_3PO_4 и 6% H_2SO_4 сталь нестойка [60].

Коррозионная стойкость хромоникелевых сталей сильно зависит от содержания фосфорной кислоты в смесях, поскольку ее агрессивность значительно изменяется с концентрацией (см. свойства фосфорной кислоты). Стали 12X18H10T, 08X18H10T в смеси 30% H_3PO_4 и 1% H_2SO_4 при 20 °С корродируют со скоростью менее 1 мм/год, в смеси 40% H_3PO_4 и 2% H_2SO_4 при 80 °С — нестойки [2]. В смеси 75% H_3PO_4 и 2% H_2SO_4 при 30 °С эти стали обладают высокой стойкостью (скорость коррозии 0,01 мм/год) [7].

Дополнительное легирование хромоникелевых сталей молибденом существенно повышает их стойкость в рассматриваемых условиях. Скорость коррозии сталей 10X17H13M3T, 03X17H14M3 в смеси 30% H_3PO_4 и 1% H_2SO_4 при 20 °С не превышает 0,1 мм/год, в смеси 40% H_3PO_4 и 2% H_2SO_4 при 80 °С — 1 мм/год [2], в смеси 75% H_3PO_4 и 2% H_2SO_4 при 30 °С — 0,003 мм/год [7].

Двухфазные стали 08X22H6T, 08X21H6M2T по коррозионной стойкости в указанных смесях фосфорной и серной кислот не отличаются от хромоникелевых аустенитных сталей.

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ обладают высокой стойкостью в смесях, содержащих 5—40% H_3PO_4 и 20—50% H_2SO_4 , при температуре до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год). В смеси с очень большим содержанием серной кислоты (5% H_3PO_4 и 92% H_2SO_4) при температуре 100 °С скорость коррозии сплавов возрастает до 0,9 мм/год [46].

Титан ВТ1-1 в смеси 15% H_3PO_4 и 80% H_2SO_4 при 20 °С нестойк, а в присутствии в этой смеси следов азотной кислоты корродирует со скоростью до 0,03 мм/год [39].

34.10. H_3PO_4 + HCl

Примеси соляной кислоты в фосфорной кислоте оказывают самое неблагоприятное влияние на коррозионную стойкость пассивирующихся металлов и сплавов. Соляная кислота не обладает окислительными свойствами, что затрудняет пассивирование металлов. Кроме того, образующиеся при диссоциации кислоты анионы Cl^- являются депассиваторами для металлов, находящихся в пассивном состоянии, и способствуют возникновению локальной коррозии.

Металлы и сплавы в смесях фосфорной и соляной кислот обладают следующей коррозионной стойкостью.

Высоколегированные чугуны. Кремнистый чугун ЧС15 в 32%-ной фосфорной кислоте, содержащей 0,7% HCl, при комнатной температуре удовлетворительно стоек (скорость коррозии <1 мм/год). Легирование кремнистого чугуна молибденом значительно увеличивает стойкость, и скорость коррозии чугуна ЧС17МЗ в этой смеси при 40 °С менее 0,2 мм/год [61]. При этом на стойкость чугуна сильно влияют концентрация соляной кислоты в смеси и температура. В 24%-ной фосфорной кислоте, содержащей 0,5% HCl, при 60 °С скорость коррозии чугуна ЧС17МЗ около 0,04 мм/год, а при 80 °С она возрастает до 0,3 мм/год. В смеси, содержащей 24% H₃PO₄ и 1,5% HCl, скорость коррозии чугуна при 60 и 80 °С равна соответственно 1 и 2,5 мм/год [60].

Хромистый чугун ЧХ32 в смеси 24% H₃PO₄ и 0,5% HCl сохраняет высокую стойкость до 80 °С (скорость коррозии 0,02 мм/год), а с увеличением содержания соляной кислоты до 1,5% становится нестойким (при 60 °С скорость коррозии >10 мм/год) [60].

Высоколегированные стали в смесях фосфорной и соляной кислот могут подвергаться как равномерной, так и питтинговой коррозии.

Даже небольшие добавки соляной кислоты резко усиливают коррозию стали 12Х18Н9Т, но с увеличением содержания соляной кислоты в смеси большей определенной величины коррозия замедляется. Содержание соляной кислоты в смеси, вызывающее максимальную скорость коррозии, мало зависит от температуры, но снижается с увеличением содержания фосфорной кислоты. При температуре 80 °С в 25%-ной H₃PO₄ максимальная коррозия происходит при содержании HCl более 1%, в 50%-ной H₃PO₄ максимальная коррозия соответствует содержанию HCl, равному 0,3%, а в 75%-ной H₃PO₄ — равному 0,1%. В 50%-ной H₃PO₄, содержащей более 0,5% HCl, на стали 12Х18Н9Т развивается питтинговая коррозия [170].

Сталь 12Х18Н9Т в смеси 24% H₃PO₄ и 0,5% HCl остается стойкой при температуре 80 °С (скорость коррозии 0,03 мм/год), а с увеличением содержания соляной кислоты до 1,5% даже при 60 °С сталь нестойка [60].

Медь в смеси фосфорной и соляной кислот при повышенных температурах стойка (скорость коррозии 0,1 мм/год) и используется для изготовления оборудования концентрирования соляной кислоты [40].

34.11. H₃PO₄ + HF (H₂SiF₆)

Присутствие плавиковой и/или кремнефтороводородной кислот в растворах фосфорной кислоты характерно для технологических процессов получения экстракционной фосфорной кислоты. Образующиеся при диссоциации примесных кислот ионы SiF₆²⁻ и особенно F⁻ являются депассиваторами для металлов, находящихся в пассивном состоянии. Кроме того, за счет образования фторидных комплексов хрома и железа может происходить полная активация пассивной поверхности сталей и сплавов. В результате из-за наличия указанных примесей агрессивность растворов фосфорной кислоты значительно возрастает. Сильное влияние на коррозионную активность смесей оказывает температура.

Кремнефтороводородная и фосфорная кислоты конкурируют друг с другом как активирующий и пассивирующий компоненты смеси. При температурах выше 60 °С происходит гидролиз кремнефтороводородной кислоты с образованием HF. Однако фосфорная кислота подавляет процесс гидролиза, а ее анионы H_2PO_4^- вследствие конкурирующей адсорбции с ионами F^- препятствуют образованию активирующих фторидных комплексов.

Металлы и сплавы в смесях H_3PO_4 и HF (H_2SiF_6) обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые и низколегированные стали в смеси 80% H_3PO_4 и 1% HF при 120 °С нестойки [2].

Высоколегированные чугуны. Кремнистый чугун ЧС17МЗ в смеси 24% H_3PO_4 и 1,6% HF при 60 °С корродирует со скоростью 1,8 мм/год, хромистый чугун ЧХЗ2 при температуре до 80 °С — со скоростью менее 0,1 мм/год [60].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X13 и хромоникелевые стали типа X18Н10Т в смеси 50% H_3PO_4 и 2% H_2SiF_6 при нормальной температуре стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) [40].

Хромоникелевые стали типа X18Н10Т, X17Н13М3Т сохраняют стойкость в некоторых смесях до 80 °С. В смеси 24% H_3PO_4 и 1,6% HF скорость коррозии стали 12X18Н9Т менее 0,05 мм/год [40]. Смеси состава 33% H_3PO_4 и 3—3,5% H_2SiF_6 вызывают коррозию сталей типа X18Н10Т со скоростью менее 0,2 мм/год (питтинг глубиной до 0,25 мм), сталей типа X17Н13М3Т — со скоростью менее 0,04 мм/год. В смеси 44—50% H_3PO_4 и 2—4% H_2SiF_6 скорость коррозии сталей типа X18Н10Т, X17Н13М3Т менее 0,01 мм/год [60].

С увеличением содержания фосфорной кислоты в смеси и температуры агрессивность смесей сильно возрастает. Хромистые и хромоникелевые аустенитные стали типа X18Н10Т в смеси 80% H_3PO_4 и 1% HF при 120 °С нестойки, хромоникелевые стали типа X17Н13М3Т — удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,5—1 мм/год) [2].

Двухфазные стали 08X22Н6Т, 08X21Н6М2Т в этих условиях нестойки [2]. В смеси 41—42% H_3PO_4 и 0,5% HF сталь 08X22Н6Т корродирует со скоростью более 3 мм/год, а сталь 08X21Н6М2Т — со скоростью 1 мм/год [15].

В смеси 15% H_3PO_4 и 1% H_2SiF_6 или 15% H_3PO_4 , 1% H_2SiF_6 и 0,1% HF при температуре 80 °С сталь 08X21Н6М2Т стойка (скорость коррозии <0,1 мм/год) [165].

В очень разбавленных смесях фосфорной кислоты (до 1,4%), содержащих до 3% кремнефтороводородной кислоты, при температуре 60 °С сталь 03X21Н21М4ГБ стойка (скорость коррозии ~0,1 мм/год) [55].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ удовлетворительно стойки в смеси 80% H_3PO_4 и 1% HF при 120 °С (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [2]. В смеси 15% H_3PO_4 и 1% H_2SiF_6 или в смеси 15% H_3PO_4 , 1% H_2SiF_6 и 0,1% HF при температуре 80 °С сплав 06ХН28МДТ остается стойким (скорость коррозии <0,1 мм/год) [165].

Никель и сплавы никеля. Никель Н0, Н1 подвергается сильному разрушению при 20 °С в смеси 20% H_3PO_4 и 0,4% HF [7].

Монель-металл нестойк в технической фосфорной кислоте с примесью плавиковой кислоты [61].

Сплав ХН65МВУ хорошо сопротивляется коррозии в смеси фосфорной и плавиковой кислот [27]. Сплавы Хлоримет 2 (типа Н65М) и Хлоримет 3 (типа ХН63МБ) при 80 °С в фосфорной кислоте, содержащей 3% HF, стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40].

Титан корродирует с большой скоростью в кислых средах, содержащих фторид-ионы [39].

34.12. $H_3PO_4 + HNO_3 + HF (H_2SiF_6)$

В таких смесях азотная и фосфорная кислоты ингибируют коррозионный процесс, а гексафторкремниевая и плавиковая кислоты усиливают его [165].
Металлы и сплавы в смесях фосфорной, азотной и плавиковой кислот обладают следующей стойкостью.

Высоколегированные стали. В смеси состава (г/л): 300 H_3PO_4 ; 450 HNO_3 ; 1 HF при температуре 60 °С стали 08X22Н6Т, 12X18Н10Т корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год. При этом сталь 08X22Н6Т может подвергаться межкристаллитной коррозии [15].

Сталь 08X21Н6М2Т в смеси 15% HNO_3 , 15% H_3PO_4 и 1% H_2SiF_6 при температуре 80 °С обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии <0,3 мм/год). Добавление в смесь плавиковой кислоты усиливает коррозионное разрушение стали. При добавлении 1% HF скорость коррозии возрастает до 1,2 мм/год [165].

В экстракционной фосфорной кислоте (36% P_2O_5), содержащей до 5% HNO_3 и примеси HF (H_2SiF_6), при температуре до 80 °С стали 08X22Н6Т, 08X21Н6М2Т корродируют со скоростью до 0,2 мм/год, сталь 03X21Н21М4ГБ — со скоростью 0,15 мм/год [171].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в смеси 15% HNO_3 , 15% H_3PO_4 и 1% H_2SiF_6 при температуре 80 °С удовлетворительно стойки (скорость коррозии <0,4 мм/год). Добавление в смесь до 1% плавиковой кислоты увеличивает скорость коррозии сплавов до 1,2 мм/год [165].

В ЭФК (36% P_2O_5), содержащей до 5% HNO_3 и примеси HF (H_2SiF_6), при температуре до 80 °С скорость коррозии сплава 06ХН28МДТ не превышает 0,15 мм/год [171].

34.13. $H_3PO_4 + H_2SO_4 + HF (H_2SiF_6)$

В производствах экстракционной фосфорной кислоты и ряда минеральных удобрений технологические среды содержат смеси фосфорной и серной кислот, а также растворимые примеси фтористых соединений (обычно в виде HF и H_2SiF_6). Присутствие в фосфорной кислоте указанных компонентов делает смеси этих кислот сильноагрессивными по отношению к большинству металлических материалов, особенно при повышенной температуре.

Металлы и сплавы в смесях фосфорной, серной и плавиковой кислот обладают следующей стойкостью.

Высоколегированные стали. Коррозионная стойкость хромистых сталей сильно зависит от содержания хрома. В смесях состава 27% H_3PO_4 ; 3% H_2SO_4 ; 0,04% HF и 1,5% H_2SiF_6 или 61% H_3PO_4 ; 6,5% H_2SO_4 ; 0,5% HF и 0,04% H_2SiF_6 при температуре 99 °С стали типа X13 нестойки. Сталь 15X28 в пер-

вой смеси при 99 °С и во второй смеси при 80 °С стойка (скорость коррозии ~0,1 мм/год) [88].

Аустенитные хромоникелевые стали типа X18H10T, X17H13M3T сохраняют стойкость только в разбавленных смесях при небольших температурах. В смеси 4% H₃PO₄, 1% H₂SO₄ и 0,2% HF при 30 °С скорость коррозии этих сталей менее 0,05 мм/год [40]. С увеличением концентрации компонентов смеси коррозия сталей значительно возрастает. В смеси 15% H₃PO₄, 1% H₂SO₄ и 20% H₂SiF₆ при 80 °С стали типа X18H10T корродируют со скоростью более 0,5 мм/год, стали типа X17H13M3T — со скоростью около 0,25 мм/год [40]. В смеси 75% H₃PO₄, 2% H₂SO₄ и 0,6% HF при 30 °С стали типа X18H10T нестойки, стали типа X17H13M3T — стойки (скорость коррозии ~0,2 мм/год) [7].

При повышенных температурах в смесях с большой концентрацией компонентов достаточной стойкостью обладают более высоколегированные стали. В смеси 44% H₃PO₄, 2% H₂SO₄ и 2% HF при 80 °С скорость коррозии стали 03X21H21M4ГБ не превышает 0,05 мм/год [172]. В смесях состава 44—75% H₃PO₄, 3% H₂SO₄ и 1,8% H₂SiF₆ эту сталь рекомендуют применять до температуры 70—80 °С [60].

Двухфазные стали 08X22H6Т, 08X21H6M2Т обладают несколько большей стойкостью. В смеси 55% H₃PO₄, 1% H₂SO₄ и 1% H₂SiF₆ при температуре 70 °С скорость коррозии стали 08X21H6M2Т менее 0,1 мм/год [2]. По данным работы [112], при температуре 90 °С такие двухфазные стали в этой смеси нестойки. В смеси 41% H₃PO₄, 1—5% H₂SO₄ и 0,5—1,5% HF при 70 °С стали 08X22H6Т, 08X21H6M2Т нестойки [173].

Коррозионная стойкость современных двухфазных сталей значительно выше. В смеси 57% H₃PO₄, 1,8% H₂SO₄ и 0,2% HF при 90 °С скорость коррозии стали 03X24H6AM3 не превышает 0,1 мм/год [27].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ стойки во многих смесях рассматриваемых кислот при повышенных температурах. В смеси 15% H₃PO₄, 1% H₂SO₄ и 20% H₂SiF₆ при 80 °С или в смеси 40% H₃PO₄, 5% H₂SO₄ и 3% HF при 50 °С скорость коррозии сплава 06ХН28МДТ около 0,1 мм/год [40, 112]. В смесях состава 44—75% H₃PO₄, 3% H₂SO₄ и 1,8% H₂SiF₆ этот сплав рекомендуют применять до температуры 70—80 °С [60]. В смеси, содержащей 41% H₃PO₄, 1—5% H₂SO₄ и 0,5% H₂SiF₆, сплав 06ХН28МДТ относительно стоек (скорость коррозии 0,2 мм/год) до 70 °С. При увеличении содержания плавиковой кислоты до 1,5% сплав нестойк [173].

Сплав типа ХН40МДБ в смеси 42% H₃PO₄, 2% H₂SO₄, следы HF при температуре 55—65 °С корродирует со скоростью менее 0,05 мм/год [40].

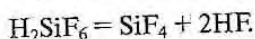
Никелевые сплавы, легированные хромом и молибденом, несколько менее стойки, чем сплавы, легированные только молибденом. В смеси 45% H₃PO₄, 5% H₂SO₄ и 3% HF при 50 °С скорость коррозии сплавов Н65М-ВИ, Н70МФВ-ВИ менее 0,05 мм/год, сплавов ХН65МВ, ХН65МВУ — 0,1 мм/год. Скорость коррозии сплавов значительно возрастает при увеличении температуры. В смеси 25% H₃PO₄, 2% H₂SO₄ и 1% HF при 80 °С или в смеси 30% H₃PO₄, 50% H₂SO₄, следы HF при 140 °С сплавы Н65М-ВИ, Н70МФВ-ВИ, ХН65МВ, ХН65МВУ нестойки [2].

Монель-металлы в смеси 42% H₃PO₄, 2% H₂SO₄, следы HF при температуре 55—65 °С нестойки [40].

Другие металлы. Свинец и сплавы свинца с сурьмой в смеси 80% H_3PO_4 , 5% H_2SO_4 и 1% H_2SiF_6 остаются стойкими до 80 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40].

34.14. $\text{HF} + \text{H}_2\text{SiF}_6$

В зависимости от состава смеси и температурных условий из кремнефтороводородной кислоты может образовываться фторид кремния:



В результате в парах над смесью кислот присутствуют HF и SiF_4 . При температуре кипения смесей с высоким содержанием кремнефтороводородной кислоты в парах преобладает фторид кремния, а над смесями с небольшим количеством кремнефтороводородной кислоты — фтороводород. Коррозионная активность смесей таких кислот в большей степени зависит от соотношения между содержанием фтора и кремния (см. п. 33.6), а в газовой фазе от соотношения между фторидом кремния и фтороводородом.

Металлы и сплавы в смесях плавиковой и кремнефтороводородной кислот обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в смеси 60—65% HF и 1,5—2,5% H_2SiF_6 , содержащей небольшое количество (0,3—1,5%) серной кислоты, даже при нормальной температуре нестойки [7].

Высоколегированные стали. Двухфазная сталь 08X21H6M2T в смеси 1% H_2SiF_6 и 0,1% HF при температуре 80 °С нестойка (скорость коррозии 2 мм/год) [165].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ стойки в разбавленных смесях рассматриваемых кислот. В смесях 1—2% HF и 0,1—0,2% H_2SiF_6 при температуре 40 °С скорость коррозии сплава 06ХН28МДТ около 0,1 мм/год, при температуре до 60 °С — скорость коррозии 0,5—1 мм/год [52]. В смеси 1% H_2SiF_6 и 0,1% HF при температуре 80 °С сплав нестойк [165].

Никель и сплавы никеля. Коррозионная стойкость никеля сильно зависит от состава смеси. При температуре 65 °С в смеси 10% HF и 5% H_2SiF_6 никель корродирует со скоростью 0,4 мм/год [40]. В более концентрированной смеси, содержащей 60—65% HF и 1,5—2,5% H_2SiF_6 с небольшим количеством (0,3—1,5%) серной кислоты, даже при нормальной температуре никель нестойк [7].

Сплавы никеля с молибденом или с молибденом и хромом обладают достаточно высокой стойкостью в смесях плавиковой и кремнефтороводородной кислот. В смеси 22,5% HF и 35% H_2SiF_6 при 45 °С скорость коррозии сплавов Н65М-ВИ, Н70МФВ-ВИ менее 0,15 мм/год, сплавов ХН65МВ, ХН65МВУ — менее 0,25 мм/год [2, 4]. Сплав ХН63МБ в смесях 1—2% HF и 0,1—0,2% H_2SiF_6 остается стойким до 70 °С, сплав ХН65МВ — до 40 °С (скорость коррозии 0,1 мм/год). Сплав Н70МФВ-ВИ в таких смесях удовлетворительно стойк при комнатной температуре (скорость коррозии 0,5—0,7 мм/год) [56, 174].

Монель-металл в смеси 65% HF и 2% H_2SiF_6 , содержащей 1% серной кислоты, при нормальной температуре корродирует со скоростью около 0,6 мм/год [40].

Медь и медные сплавы. Медь в смесях с невысокой концентрацией плавиковой кислоты не обладает коррозионной стойкостью. Так, в смеси 10% HF и 5% H_2SiF_6 при 65 °С медь нестойка [40]. В более концентрированных смесях стойкость меди выше. В смеси 60—65% HF и 1,5—2,5% H_2SiF_6 с небольшим количеством (0,3—1,5%) серной кислоты при 20 °С скорость коррозии меди М0, М1, М2 не более 0,3 мм/год [7].

Стойкость латуней и бронз выше, чем стойкость меди. В смеси 10% HF и 5% H_2SiF_6 при 65 °С скорость коррозии латуни Л85 около 0,4 мм/год, свинцовой латуни ЛС64-2 — около 0,8 мм/год. В этих условиях оловянистая бронза БрО10 и кремнистая бронза БрКМц3-1 нестойки [40]. В смеси 60—65% HF и 1,5—2,5% H_2SiF_6 , содержащей 0,3—1,5% серной кислоты, при 20 °С никелевая бронза (5% Ni, 5% Sn, 2% Zn) корродирует со скоростью около 0,4 мм/год [7].

Другие металлы. Свинец и его сплавы с сурьмой при нормальной температуре в смесях 60—65% HF и 1,5—2,5% H_2SiF_6 или 40—60% HF и 15—25% H_2SiF_6 , содержащих 0,3—1,5% серной кислоты, корродируют со скоростью до 0,4 мм/год [40].

Серебро в смеси 10% HF и 5% H_2SiF_6 при 65 °С обладает высокой стойкостью (скорость коррозии 0,01 мм/год) [40].

ГЛАВА 35. СОЛИ МИНЕРАЛЬНЫХ КИСЛОТ

Коррозионная активность растворов неорганических солей зависит от природы, концентрации присутствующих ионов и внешних условий.

Обычно считается, что катионный состав растворов солей мало влияет на коррозионное поведение металлических материалов. В действительности при одинаковом анионном составе раствора его агрессивность растет в ряду для щелочных металлов с переходом от Li^+ к Cs^+ , а для щелочноземельных металлов — от Mg^{2+} к Ba^{2+} [175]. При этом хлориды щелочноземельных металлов менее агрессивны, чем хлориды щелочных металлов. Соли аммония гораздо более агрессивны, чем соли щелочных металлов.

Отмеченная закономерность связана с увеличением радиуса ионов при измененной величине заряда (68 пм иона Li^+ и 165 пм иона Cs^+ , 160 пм иона Mg^{2+} и 221 пм иона Ba^{2+}). С увеличением радиуса ионов снижается степень их гидратации, в результате чего увеличивается электропроводность и уменьшается вязкость растворов. Это ускоряет диффузионные процессы, например, подвод кислорода к корродирующей поверхности, отвод ионов OH^- и катионов металла, образующихся соответственно в катодных и анодных реакциях. Последнее обстоятельство способствует образованию труднорастворимых гидроксидов металла в объеме раствора, а не на металлической поверхности, что в меньшей степени тормозит коррозионный процесс.

Катионно-анионный состав солей может значительно повлиять на значение pH растворов. Соли, образованные слабой кислотой и слабым основанием, слабой кислотой и сильным основанием или, наоборот, сильной кислотой и слабым основанием, в растворах подвергаются гидролизу. Степень гидролиза зависит от природы соли, концентрации раствора и температуры. Чем слабее

кислота или основание, тем в большей степени подвергаются гидролизу образованные ими соли. С разбавлением растворов степень гидролиза увеличивается. Поскольку реакции гидролиза являются эндотермическими, то с повышением температуры степень гидролиза возрастает. В результате процесса гидролиза раствор соли может стать более кислым или щелочным. Так, раствор хлорида алюминия при гидролизе становится настолько кислым, что действует на металлы подобно разбавленному раствору соляной кислоты, в котором коррозия протекает с восстановлением кислорода и катионов водорода.

От значения pH раствора зависит возможность образования труднорастворимых гидроксидов и формирования их осадков на корродирующей поверхности. Поэтому соли, имеющие щелочную реакцию (например, Na_2CO_3 , KCN), в большей степени тормозят коррозию металлов (железа, меди и др.) по сравнению с растворами солей с нейтральной реакцией. Подкисление растворов облегчает коррозионные процессы при восстановлении кислорода. При гидролизе некоторых солей сильных кислот железа, алюминия, аммония и др. образуются столь кислые растворы, что становится возможным процесс коррозии с участием восстанавливающихся катионов водорода.

Анионный состав солей часто определяет возможность образования труднорастворимых соединений корродирующего металла. Осаждающиеся слои из таких соединений (чаще всего солевые пленки) в той или иной степени препятствуют разрушению металлической поверхности. Так, коррозия углеродистых сталей в значительной степени снижается из-за образования труднорастворимых фосфатных, карбонатных, силикатных солей. Обратная ситуация возникает, когда катионы растворяющегося металла могут образовывать с компонентами соли комплексные, хорошо растворимые соединения (например, $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$, $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$, $[\text{PtCl}_6]^{2-}$). В таких случаях коррозия металлов значительно усиливается.

Некоторые анионы (особенно хлорид-ионы) обладают активирующим действием и разрушают защитные пленки. В растворах таких солей металлы и сплавы, коррозионная стойкость которых обусловлена возникновением пассивного состояния, подвергаются местной (точечной, язвенной) коррозии. При этом эффект депассивирующего действия ионов-активаторов в большой степени зависит от концентрации раствора соли.

Присутствие в растворе солей, обладающих окислительным действием, может интенсифицировать катодный процесс и увеличить коррозионное разрушение металла. Однако при содержании соли больше определенной критической концентрации значительное усиление катодного процесса вызовет сильное смещение потенциала металла в положительную сторону и облегчит наступление пассивного состояния с соответствующим снижением скорости коррозии. Кроме того, некоторые окислительные ионы (хроматы, дихроматы) могут непосредственно участвовать в формировании защитных пленок на поверхности металла, ингибируя коррозионный процесс.

Увеличению скорости катодного процесса могут способствовать присутствующие в растворе поливалентные катионы металлов. Восстанавливаясь в катодном процессе (например, $\text{Fe}^{3+} + e \rightarrow \text{Fe}^{2+}$, $\text{Cu}^{2+} + e \rightarrow \text{Cu}^+$), они образуют ионы с пониженной валентностью, которые в растворе вновь окисляются кислородом до высшей валентности. Это обеспечивает регенерацию окислителя

и ускоряет коррозионный процесс. В растворах тяжелых металлов (особенно меди, серебра, золота) катионы этих металлов могут восстанавливаться до атомарного состояния и оседать на корродирующей поверхности, вызывая контактную коррозию. Это особенно опасно для металлов с достаточно отрицательными потенциалами (например, для алюминия).

Влияние концентрации растворов нейтральных солей (особенно хлоридов и сульфатов) на коррозию металлов обычно носит экстремальный характер. В разбавленных растворах с ростом концентрации солей усиливаются указанные выше эффекты и облегчается анодный процесс растворения металла. Затем с повышением концентрации значительно уменьшается растворимость и скорость диффузии кислорода в растворе, что затрудняет протекание катодного процесса. В определенном интервале концентраций больше проявляется первый эффект, а с повышением концентрации преобладает второй.

Необходимо отметить, что с повышением температуры растворимость большинства солей сильно увеличивается. В результате насыщенный раствор соли, соответствующий определенной температуре, при ее повышении становится ненасыщенным. Представленные далее данные соответствуют коррозионной стойкости металлов и сплавов в растворах с концентрацией, не превышающей растворимость солей при указанной температуре. К сожалению, в некоторых опубликованных справочниках по коррозионной стойкости не учитывается ограниченная растворимость ряда солей при небольших температурах.

35.1. Бораты

В водных растворах ортоборная кислота находится в равновесии с другими борными кислотами (метаборной, тетраборной и др.). Поэтому борнокислые соли обычно являются производными не от H_3BO_3 , а от различных полиборных кислот общей формулы $xH_2O_3 \cdot yH_2O$. Чаще всего это соли тетраборной кислоты $H_2B_4O_7$, которая является несколько более сильной кислотой, чем борная кислота.

Бораты щелочных металлов и аммония хорошо растворимы в воде. Растворимость натрия метаборнокислого при 20 °С — 20,3%, при 60 °С — 39%, при 100 °С — 55,6%; натрия ортоборнокислого при 15 °С — 1,32%. Из борнокислых солей наиболее известен декагидрат тетрабората натрия (бура) $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$. Бура сравнительно мало растворима при обычной температуре (2,4% при 20 °С, считая на безводный $Na_2B_4O_7$), но при повышении температуры растворимость ее сильно увеличивается (28,1% при 100 °С). Насыщенный раствор буры концентрацией 36,7% кипит при 102,8 °С. В результате гидролиза растворы боратов проявляют сильнощелочную реакцию.

35.1.1. Аммония ортоборат — $(NH_4)_2B_4O_7$

Металлы и сплавы в растворах ортобората аммония, по данным работы [3], имеют следующую коррозионную стойкость.

Углеродистые стали и серые чугуны в растворах ортобората аммония концентрацией до 30% при температуре до 50 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Высоколегированные чугуны. Никелевые чугуны (14—32% Ni) по коррозионной стойкости в указанных условиях не отличаются от серых чугунов.

Высоколегированные стали типа Х17Н13М2Т в растворах бората аммония концентрацией до 30% при температуре до 50 °С удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в растворах бората аммония концентрацией менее 30% удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) при температуре до 50 °С.

35.1.2. Натрия метаборат — NaBO_2

Металлы и сплавы в растворах борнокислого натрия концентрацией до 20%, по данным справочника [1], имеют следующую стойкость.

Углеродистые стали при нормальной температуре не обладают достаточной стойкостью (скорость коррозии 1—3 мм/год).

Высоколегированные стали, как хромистые (типа Х17—Х28), так и хромоникелевые (типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т), при нормальной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год).

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год).

Никель при температуре 20 °С стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год). Мо-нель-металл с такой же скоростью корродирует при температуре до 100 °С.

Медь, бронзы, лагуни при температуре 20 °С в деаэрированных растворах стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год).

Алюминий при комнатной температуре обладает высокой стойкостью (скорость коррозии <0,01 мм/год).

Свинец при 20 °С удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,1—1 мм/год).

Серебро при комнатной температуре корродирует со скоростью менее 0,1 мм/год.

Титан и тантал сохраняют коррозионную стойкость до температуры кипения.

35.1.3. Натрия пероксоборат — NaBO_3

Металлы и сплавы в пероксоборате натрия обладают следующей стойкостью.

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х17 и хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в насыщенных (около 1,5%) растворах пероксобората (ортоборнокислого) натрия при обычной температуре стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) [112].

Алюминий в разбавленных растворах применим до температуры 60—80 °С [62].

35.1.4. Натрия тетраборат — $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$

Металлы и сплавы в тетраборате натрия обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали в разбавленных и насыщенных растворах тетраборнокислого натрия при нормальной температуре нестойки [2].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х25 и хромоникелевые аустенитные стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) в любых растворах тетраборнокислого натрия до температуры кипения [2].

Двухфазные аустенитно-ферритные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т в этих условиях по коррозионной стойкости не уступают аустенитным хромоникелевым сталям (скорость коррозии <0,1 мм/год) [2].

В расплавах буры высоколегированные хромистые (13—25% Cr), хромоникелевые (типа X18H10T, X17H13M2T) и хромомарганцевые (типа 18% Cr — 9% Mn) стали остаются стойкими (скорость коррозии <0,1 мм/год) [4].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в любых растворах тетрабората натрия остаются стойкими (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [2].

Никель в растворах тетраборнокислого натрия при температуре 20 °С обладает высокой стойкостью (скорость коррозии 0,005 мм/год) [2].

Медь обладает высокой стойкостью (скорость коррозии 0,01 мм/год) в любых растворах тетраборнокислого натрия при обычной температуре [2].

Алюминий в растворах тетраборнокислого натрия при температуре 20 °С сохраняет высокую стойкость (скорость коррозии <0,01 мм/год) [2, 4]. Сплавы алюминия с кремнием, марганцем, магнием при обычной температуре корродируют со скоростью менее 0,01—0,04 мм/год [4].

Свинец в растворах тетрабората натрия при 20 °С удовлетворительно стоек (скорость коррозии до 0,5 мм/год) [2, 46].

Серебро в растворах при обычной температуре и в расплаве тетраборнокислого натрия нестойко [2, 4].

Титан и тантал в растворах тетрабората натрия концентрацией до 20% при температуре кипения отличаются высокой стойкостью (скорость коррозии соответственно 0,001 и 0,01 мм/год) [2, 39]. В расплаве буры тантал неприменим [4].

35.2. Бромиды — MBr^+

Соли щелочных металлов и аммония бромоводородной кислоты хорошо растворимы в воде. Растворимость бромида аммония при 20 °С соответствует концентрации 43%, при 100 °С — 59,3%. Насыщенный раствор (60,8%) бромида аммония кипит при температуре 116,5 °С.

Растворимость бромида калия при 20 °С — 39,5%, при 100 °С — 50,8%. Насыщенный раствор бромида калия концентрацией около 52,4% кипит при температуре 112 °С. Раствор бромида натрия при 20 °С имеет концентрацию 47,6%, при 100 °С — 54,8%. Насыщенный раствор (55,1%) бромида натрия кипит при температуре 121 °С.

При диссоциации бромидов в водных растворах образуются анионы Br^- , которые, являясь депассиваторами, могут вызывать локальную (точечную и язвенную) коррозию металлов и сплавов (например, нержавеющей стали), находящихся в пассивном состоянии. Кроме того, коррозионная активность растворов бромидов сильно зависит от pH раствора. С уменьшением pH агрессивность растворов солей значительно усиливается, что сказывается на коррозионной стойкости металлов. Некоторые металлы (например, свинец в растворах бромида калия) при коррозии образуют труднорастворимые продукты, прочно связанные с металлической поверхностью. В результате скорость коррозии снижается, особенно при увеличении концентрации растворов.

Коррозионное поведение металлов и сплавов в растворах бромидов щелочных металлов слабо зависит от вида катиона, поэтому представленные данные

* Здесь и далее в общих формулах М — символ любого металла или аммония.

в известной степени можно использовать как для растворов бромида натрия, так и для растворов бромида калия.

Хромоникелевые стали, сплавы титана, легированные алюминием, молибденом и ванадием, подвержены коррозионному растрескиванию в растворах бромидов.

35.2.1. Аммония бромид — NH_4Br

Области применения металлических материалов в растворах бромида аммония ориентировочно показаны на рис. 35.1.

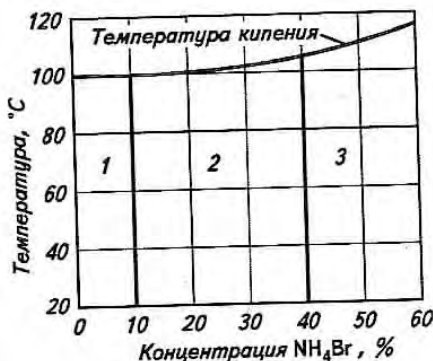


Рис. 35.1. Области применения металлических материалов в растворах бромида аммония:

1 — кремнистый чугун ЧС15М4, ЧС17М3 (до 60—70 °С); сталь типа Х18Н10Т (до 30 °С, питтинг); Х17Н13М2Т (питтинг); стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т (до 3%, 50 °С, питтинг); сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ; Н70МФВ-ВИ; Н65М-ВИ; ХН63МБ; ХН65МВУ; никель; монель-металлы; цирконий (до 60—70 °С); серебро; платина; золото; 2 — сталь типа Х17Н13М2Т (до 100 °С, питтинг); сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ (до 100 °С); Н70МФВ-ВИ, Н65М-ВИ, ХН63МБ, ХН65МВУ (до 70—80 °С); никель, монель-металлы (до 100 °С); серебро (до 60—70 °С); платина; золото; 3 — сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ (до 50%, 100 °С); Н70МФВ-ВИ, Н65М-ВИ, ХН63МБ, ХН65МВУ (до 70—80 °С); никель, монель-металлы (до 100 °С); серебро (до 60—70 °С); платина; золото

Углеродистые стали и серые чугуны в любых растворах бромида аммония при обычной температуре нестойки (скорость коррозии $>1,3$ мм/год) [3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 и др. в растворах бромида аммония концентрацией менее 10—12% удовлетворительно стойки до температуры 100 °С (скорость коррозии 0,5—1,3 мм/год) [3, 48, 62].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13 в разбавленных (5%) растворах бромида аммония при температуре 50 °С нестойки. Стали с 17—28% Cr в очень разбавленных (1%) растворах при 50 °С корродируют со скоростью до 0,1—0,5 мм/год при питтинговом характере разрушения. В более концентрированных растворах (<43%) при 100 °С такие стали нестойки [48].

Хромоникелевые аустенитные стали типа Х18Н10Т в растворах бромида аммония концентрацией менее 10% при температуре до 50 °С корродируют со скоростью 0,5—1,3 мм/год [3, 48]. При повышении температуры до 100 °С стали нестойки [48].

Стали типа Х17Н13М2Т в растворах концентрацией менее 50% удовлетворительно стойки до 100 °С (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [3].

Двухфазные аустенитно-ферритные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т в растворах концентрацией до 1—5% при температуре ниже 50 °С корродируют со скоростью 0,1 мм/год. Все хромоникелевые стали в растворах бромида аммония подвержены питтинговой коррозии [48].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в растворах бромида аммония концентрацией до 50% остаются стойкими при температуре до 100 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3]. Однако согласно другим данным [48] при этом скорость коррозии сплавов достигает 1 мм/год.

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл в любых растворах бромида аммония при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,1—0,5 мм/год [3, 48].

Никелевые сплавы ХН65МВУ, Н70МФВ в растворах бромида аммония концентрацией до 10% корродируют со скоростью 0,1—0,5 мм/год при температуре до 100 °С, в более концентрированных растворах — при температуре до 75 °С [3, 48].

Серебро в любых растворах бромида аммония при температуре до 100 °С корродирует со скоростью 0,1—0,5 мм/год [3].

Другие металлы. Платина, золото в любых растворах бромида аммония при температуре до 100 °С остаются стойкими (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Цирконий в разбавленных (10%) растворах при температуре до 100 °С корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Алюминий, медь, латунь, свинец в любых растворах бромида аммония при обычной температуре нестойки (скорость коррозии >1,3 мм/год) [3, 62].

35.2.2. Калия бромид — КВг

Области применения металлических материалов в растворах бромида калия ориентировочно показаны на рис. 35.2.



Рис. 35.2. Области применения металлических материалов в растворах бромида калия:

1 — углеродистые стали, серые чугуны (до 10%, 25 °С); кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; сталь типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т (до 100 °С); стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т (до 100 °С); сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; Н70МФВ-ВИ; Н65М-ВИ; ХН63МБ; ХН65МВУ; никель; монель-металл; медь, бронза, латунь (до 60—70 °С); свинец; титан; цирконий; тантал; серебро; платина; золото; 2 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; сталь типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т (до 60—70 °С); сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ (до 100 °С); Н70МФВ-ВИ; Н65М-ВИ; ХН63МБ, ХН65МВУ (до 70—80 °С); никель, монель-металл, медь, бронза, латунь (до 60—70 °С); свинец; титан; цирконий; тантал; серебро; платина; золото; 3 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17 (до 100 °С); сплавы Н70МФВ-ВИ, Н65М-ВИ (до 70—80 °С); свинец (до 100 °С); титан; цирконий; тантал; серебро; платина; золото

Углеродистые стали и серые чугуны в растворах бромидов калия концентрацией 10—40% при температуре до 100 °С обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,5—1,3 мм/год) [3]. По данным работы [1], стали и чугуны в этих условиях нестойки. В разбавленных (<10%) растворах бромидов калия при небольшой температуре (15—20 °С) углеродистые стали стойки (скорость коррозии ~0,1 мм/год), при повышении температуры до 50 °С — нестойки [2]. Кроме того, коррозия усиливается при уменьшении pH растворов.

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 и др. в растворах бромидов калия концентрацией менее 40% сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [1], в более концентрированных растворах — до 100 °С (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х17 в растворах бромидов калия концентрацией до 40% (pH > 7) при нормальной температуре удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) [1], при температуре до 50 °С даже в разбавленных (<10%) растворах — нестойки [2, 112].

Хромоникелевые аустенитные стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т до 100 °С в растворах концентрацией менее 20% стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) [1, 2, 112], в более концентрированных растворах — удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3]. Хромоникелевые аустенитные стали в растворах бромидов калия могут подвергаться питтинговой коррозии.

Двухфазные аустенитно-ферритные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т в растворах концентрацией менее 20% при температуре ниже 100 °С корродируют со скоростью 0,1 мм/год [1, 2].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в растворах бромидов калия концентрацией до 40% обладают стойкостью при температуре до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 2]. По другим данным [3], в этих условиях скорость коррозии сплавов может достигать 0,5 мм/год и коррозия может носить локальный характер.

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл при температуре кипения в растворах бромидов калия концентрацией до 40% корродируют со скоростью 0,1—1 мм/год в зависимости от pH раствора [1]. По данным работы [3], в любых растворах бромидов калия никель и монель-металл при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Никелевые сплавы ХН65МВУ, Н70МФВ в любых растворах бромидов калия при обычной температуре корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год, при температуре до 100 °С — со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3]. В растворах концентрацией менее 40% никельмолибденовый сплав Н70МФВ сохраняет стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [1].

Медь и медные сплавы. Медь, бронза, латунь при температуре кипения в растворах концентрацией до 40% корродируют со скоростью 0,1—1 мм/год [1]. Медь и латунь в любых деаэрированных растворах бромидов калия стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) до температуры 100 °С [3].

Алюминий и его сплавы с кремнием, марганцем, магнием при обычной температуре обладают высокой стойкостью (скорость коррозии <0,01 мм/год) в разбавленных (до 5%) растворах бромидов калия [2, 46], в более концентрированных растворах алюминий корродирует со скоростью 0,5—1,3 мм/год [3]. В растворах концентрацией до 40% при 100 °С скорость коррозии алюминия 0,1—1 мм/год, при температуре кипения алюминий нестойк [1].

Свинец в любых растворах бромида калия стоек (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) при температуре до 100 °С [1, 3].

Титан при 100 °С в растворах концентрацией до 40% корродирует со скоростью менее 0,1 мм/год [1], в насыщенном растворе — со скоростью менее 0,05 мм/год [3, 39].

Серебро в растворах бромида калия концентрацией до 40% при температуре 120 °С стойко (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1]. По данным работы [3], в любых растворах бромида калия при температуре до 100 °С серебро корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год. В расплаве соли серебро нестойко [4].

Другие металлы. Тантал, цирконий, платина, золото в любых растворах бромида калия при температуре до 100 °С остаются стойкими (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

35.2.3. Натрия бромид — NaBr

Области применения металлических материалов в растворах бромида натрия ориентировочно показаны на рис. 35.3.



Рис. 35.3. Области применения металлических материалов в растворах бромида натрия:

1 — кремнистый чугун ЧС15М4, ЧС17М3 (до 30 °С); никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа Х18Н10Т (питтинг), Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т (питтинг); 08Х21Н6М2Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; Н70МФВ-ВИ; Н65М-ВИ; ХН63МБ; ХН65МВУ; никель; монель-металл; медь; бронза; свинец; титан; тантал; серебро; 2 — никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа Х18Н10Т (питтинг), Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т (питтинг); 08Х21Н6М2Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; Н70МФВ-ВИ; Н65М-ВИ; ХН63МБ; ХН65МВУ; никель; монель-металл; медь; бронза; свинец; титан; тантал; серебро; 3 — никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа Х17Н13М2Т (до 100 °С); сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ (до 100 °С); Н70МФВ-ВИ; Н65М-ВИ; ХН63МБ; ХН65МВУ; монель-металл (до 40%, 70 °С); медь, бронза (до 100 °С); свинец (до 100 °С); титан (до 100 °С); тантал; серебро

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали нестойки в растворах бромида натрия даже при обычной температуре [2, 4]. По данным работы [3], в растворах концентрацией до 50% при рН > 7 углеродистые стали обладают удовлетворительной стойкостью до 100 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Серые чугуны в любых растворах бромида натрия при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,5—1,3 мм/год [3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 при нормальной температуре в разбавленных (10%) растворах бромиды натрия разрушаются со скоростью 0,5—1,3 мм/год [3].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в любых растворах бромиды натрия стойки (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) до 100 °С [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали с 13—17% Cr в растворах бромиды натрия концентрацией до 48% при температуре 50 °С нестойки [1].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т при комнатной температуре в растворах концентрацией менее 10% обладают высокой стойкостью (скорость коррозии 0,01 мм/год) и остаются стойкими (скорость коррозии <0,1 мм/год) в растворах концентрацией 10—20% до 100 °С [1, 2, 112]. Стали этого типа в растворах бромиды натрия могут подвергаться питтинговой коррозии. Хромоникелевые стали с молибденом типа Х17Н13М2Т в растворах бромиды натрия концентрацией менее 50% при температуре до 100 °С обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Двухфазные аустенитно-ферритные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т в растворах концентрацией менее 20% стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 112].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ при 20 °С в растворах бромиды натрия концентрацией до 10% обладают высокой стойкостью (скорость коррозии <0,005 мм/год) [2]. С увеличением концентрации и повышением температуры коррозия сплавов усиливается, но они остаются стойкими (скорость коррозии <0,1 мм/год) в растворах концентрацией менее 55% при температуре до 100 °С [1]. Согласно работе [3], при этом сплавы корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Никель и сплавы никеля. Никель в растворах бромиды натрия концентрацией до 55% при температуре ниже 100 °С корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3], при температуре кипения в зависимости от характера (рН) раствора скорость коррозии может достигать 1 мм/год [1].

Никелевые сплавы Н70МФВ, ХН63МБ в этих условиях стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1] (по данным работы [3], скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Монель-металлы при концентрации растворов до 40% и температуре до 100 °С корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Медь и медные сплавы. Медь, бронза в растворах бромиды натрия концентрацией до 55% при температуре кипения обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [1]. Латунь в разбавленных (10%) растворах при обычной температуре корродируют со скоростью 0,1—1,3 мм/год [3].

Алюминий в растворах бромиды натрия концентрацией до 48% при нормальной температуре корродирует со скоростью от 0,1 до 10 мм/год и более, сильно зависящей от рН раствора [1].

Свинец при температуре до 100 °С в растворах бромиды натрия концентрацией менее 50% при рН < 7 удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

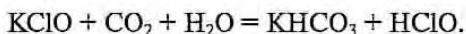
Другие металлы. Титан при температуре до 100 °С стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) в растворах бромиды натрия концентрацией менее 55% [1].

Серебро в растворах бромида натрия концентрацией менее 50% при температуре до 100 °С стойко (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

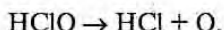
Тантал в любых растворах бромида натрия практически не подвергается разрушению до температуры кипения (скорость коррозии <0,01 мм/год) [1, 83].

35.3. Гипохлориты — МСlО

Соли хлорноватистой кислоты щелочных и щелочноземельных металлов хорошо растворимы в воде. Растворимость гипохлорита натрия при 20 °С соответствует концентрации 34,8%, при 30 °С — 50,0%, при 50 °С — 56,5%; растворимость гипохлорита кальция при 0 °С — 13,6%, при 20 °С — 25%. В растворах гипохлориты малоустойчивы (NaClO более устойчив, чем KClO) и легко разлагаются, особенно при повышении температуры. Гипохлорит натрия разлагается при температуре выше 40 °С, гипохлорит кальция — выше 180 °С. Химизм разложения гипохлоритов аналогичен разложению хлорноватистой кислоты. Кроме того, гипохлориты могут разлагаться в результате взаимодействия с диоксидом углерода воздуха:



Образующаяся хлорноватистая кислота обеспечивает сильные окислительные свойства растворам гипохлоритов. В присутствии восстановителей хлорноватистая кислота распадается с выделением атомарного кислорода, являющегося эффективным окислителем:



Окислительная способность гипохлоритов условно выражается содержанием «активного хлора» — количеством хлора, выделяющегося при взаимодействии гипохлорита с соляной кислотой. Гипохлорит калия содержит 78,4% активного хлора, гипохлорит натрия — 95,2%, гипохлорит кальция — 99,2%.

К гипохлоритам можно отнести смешанную соль кальция хлорноватистой и соляной кислот (гипохлорит-хлорид кальция), известную под техническим названием «хлорная известь». Хлорная известь представляет собой сочетание комплексных гидратов солей CaOCl₂, CaCl₂ и гидроксида Ca(OH)₂. Хлорная известь также является сильным окислителем (содержание активного хлора 55—75%). Осветленный (отфильтрованный) раствор хлорной извести идентичен гипохлориту кальция.

В водных растворах гипохлориты подвергаются гидролизу (при 30 °С константа гидролиза $3,18 \cdot 10^{-7}$):



Подкисление растворов гипохлоритов способствует образованию хлорноватистой кислоты, а подщелачивание повышает устойчивость гипохлоритов.

Растворы гипохлоритов очень агрессивны, причем коррозионная агрессивность растворов сильно зависит от степени кислотности: даже содержание 0,02% кислоты усиливает коррозию [150]. Кроме того, коррозионная активность растворов в значительной степени зависит от содержания свободного хлора и присутствия в них ионов Cl⁻. Из-за наличия последних пассивирую-

щиеся металлы и сплавы (например, нержавеющие стали) в растворах гипохлоритов подвергаются локальной (питтинговой и язвенной) коррозии.

35.3.1. Калия гипохлорит — КСЮ

Металлы и сплавы в растворах гипохлорита калия обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в любых растворах гипохлорита калия при нормальной температуре удовлетворительно стойки (скорость коррозии до 1 мм/год) [1, 61] (по другим данным [3, 48], в 10%-ном растворе нестойки), при температуре кипения — нестойки [1].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) в любых растворах гипохлорита калия при нормальной температуре [1, 61]. В растворах концентрацией менее 20% кремнистые чугуны стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) до температуры 100 °С [3].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в разбавленных (10%) растворах гипохлорита калия при обычной температуре нестойки (скорость коррозии >1,3 мм/год) [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13, Х17 стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) в любых растворах гипохлорита калия до 50 °С [1], при температуре кипения — нестойки [1, 48].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в разбавленных (до 10%) растворах гипохлорита калия стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) при температуре до 50 °С [1]. По данным работы [3], в 10%-ном растворе при нормальной температуре стали типа Х18Н10Т нестойки, стали типа Х17Н13М2Т корродируют со скоростью 0,5—1,3 мм/год. В более концентрированных растворах при обычной температуре стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т нестойки [1, 88]. В растворах гипохлорита калия хромоникелевые стали подвержены питтинговой коррозии.

Двухфазные аустенитно-ферритные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год) в растворах концентрацией до 10% при температуре до 50 °С [112].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в любых растворах гипохлорита калия до температуры кипения корродируют со скоростью 0,1—10 мм/год и более. Эти сплавы можно применять в растворах гипохлорита калия, содержащих до 3% активного хлора [1].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл при нормальной температуре в разбавленных растворах гипохлорита калия, содержащих до 3% активного хлора, стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) [1], в растворе концентрацией 10% при 25—30 °С — корродируют со скоростью 0,1—0,5 мм/год при локальном характере разрушения [3, 48]. В более концентрированных растворах никель и монель-металл нестойки [3].

Никельмолибденовые сплавы Н70МФВ, ХН65МВ в любых растворах гипохлорита калия при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3]. Такую же скорость коррозии имеет сплав ХН78Т в 10%-ном растворе при 25 °С (отмечается наличие питтинговой коррозии) [48].

Медь и медные сплавы. Медь в растворах гипохлорита калия концентрацией менее 20% при нормальной температуре обладает удовлетворительной стой-

костью [61]. По справочным данным [1, 3, 48], в таких растворах при $\text{pH} > 7$ скорость коррозии меди 0,5—1,3 мм/год.

Бронзы в разбавленных (до 10%) растворах при комнатной температуре корродируют со скоростью до 1,3 мм/год [1]. Фосфористые бронзы в 20%-ном растворе при 25 °С корродируют со скоростью до 0,5 мм/год [48], алюминиевые бронзы в 12%-ном растворе при 25 °С нестойки. Коррозионная стойкость оловянистых бронз в зависимости от содержания свободного хлора в растворе изменяется от 0,1 до 2,4 мм/год [45].

Стойкость латуней также в основном зависит от содержания свободного хлора в растворах (скорость коррозии 0,1—0,8 мм/год) [45].

Алюминий удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,3 мм/год) в растворах гипохлорита калия, содержащих 1—2% активного хлора, при температуре до 40 °С [176]. По другим данным [3], алюминий нестойк в растворах гипохлорита калия при обычной температуре.

Свинец удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) в любых растворах гипохлорита калия при обычной температуре [1]. В растворе концентрацией 10% ($\text{pH} < 7$) при 25 °С скорость коррозии свинца 0,1—0,5 мм/год [3, 48].

Титан сохраняет высокую стойкость в любых растворах гипохлорита калия при температуре до 120 °С [1, 2]. В растворах концентрацией до 40% при 100 °С скорость коррозии титана менее 0,05 мм/год [3, 39].

Другие металлы. Серебро удовлетворительно стойко (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) в любых растворах гипохлорита калия только при комнатной температуре, при температуре выше 60 °С — нестойко [1].

Тантал при температуре 120 °С отличается высокой стойкостью (скорость коррозии 0,002 мм/год) в нейтральных и кислых ($\text{pH} \leq 7$) растворах любой концентрации, в щелочных растворах тантал нестойк [2].

35.3.2. Кальция гипохлорит — $\text{Ca}(\text{ClO})_2$

Металлы и сплавы в растворах гипохлорита кальция обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали при нормальной температуре обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,5—1,3 мм/год) в растворах гипохлорита кальция с $\text{pH} > 7$ при содержании активного хлора до 3% [1, 3] (по другим данным [177] — до 44%).

Серые чугуны при обычной температуре удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,5—1,3 мм/год) в растворах концентрацией до 10% [3]. В 20%-ном растворе серые чугуны нестойки [48].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 при 20 °С стойки в растворах гипохлорита кальция, содержащих до 5% активного хлора [176], в более концентрированных растворах при температуре до 100 °С скорость коррозии может возрастать до 0,5 мм/год [3, 48].

Хромистые чугуны ЧХ28, ЧХ32 стойки (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год) в разбавленных растворах гипохлорита кальция (до 5% активного хлора) при обычной температуре [176]. В насыщенном растворе при 40 °С скорость коррозии чугунов увеличивается до 1 мм/год [88, 102].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) при комнатной температуре в растворах любой концентрации корродируют со скоростью 0,5—1,3 мм/год [3, 48].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X13, X17 при 20 °С в очень разбавленных (до 2%) растворах гипохлорита кальция стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) [2, 176], при увеличении содержания активного хлора до 5% скорость коррозии возрастает до 0,3—0,7 мм/год [176]. Повышение температуры и концентрации растворов резко увеличивает коррозию сталей, и при температуре 100 °С в любых растворах такие стали нестойки [1].

Хромоникелевые аустенитные стали типа X18N10T, X17N13M2T при 20 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) в разбавленных растворах гипохлорита кальция, содержащих до 5% активного хлора [176]. В более концентрированных (18—20%) растворах при 30 °С скорость коррозии сталей типа X17N13M2T возрастает до 0,5 мм/год [2, 3], а при дальнейшем увеличении концентрации — до 1—3 мм/год [1]. Стали типа X18N10T (кроме сталей 02X18N11, 03X18N11) в любых растворах гипохлорита кальция при обычной температуре нестойки. Все хромоникелевые стали в растворах гипохлорита кальция подвержены питтинговой коррозии [3].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) в любых растворах гипохлорита кальция с рН ~ 7 [3]. При температуре 100 °С сплавы сохраняют такую же стойкость в растворах концентрацией до 10% [2] (по данным работы [1], в этом случае скорость коррозии до 1 мм/год). Сплавы типа ХН28МДТ в растворах гипохлорита кальция могут подвергаться питтинговой коррозии [3].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл при обычной температуре в любых растворах гипохлорита кальция с рН < 7 нестойки [3].

Никельмолибденовые сплавы Н70МФВ, ХН65МВ при нормальной температуре стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) в любых растворах гипохлорита кальция [1]. При повышении температуры до 100 °С сплавы сохраняют удовлетворительную стойкость (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) только в растворах концентрацией менее 10% [3, 48]. По данным работы [1], сплав ХН65МВ в любых растворах при 70 °С корродирует со скоростью 1—3 мм/год.

Медь и медные сплавы. Медь в разбавленных (<10%) растворах гипохлорита кальция с рН > 7 при нормальной температуре обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год). В насыщенном растворе скорость коррозии меди 0,5—1,3 мм/год [3]. При повышении концентрации и температуры до 100 °С медь нестойка [1, 2].

Бронзы алюминиевые и фосфористые в разбавленных растворах, содержащих до 5% активного хлора, при комнатной температуре корродируют со скоростью 0,4—0,7 мм/год [176]. С увеличением концентрации растворов коррозионное разрушение сплавов усиливается. Фосфористые бронзы в 10%-ном растворе при 25 °С корродируют со скоростью 0,5—1,3 мм/год [2]. Такое же влияние на коррозию бронз оказывает температура (при 100 °С бронзы нестойки) [1].

Латуни в любых растворах гипохлорита кальция при нормальной температуре корродируют со скоростью от 0,1 до 1 мм/год [1].

Алюминий при обычной температуре нестойк в растворах гипохлорита кальция концентрацией более 10% [3]. В растворах, содержащих до 5% активного хлора, при 20 °С алюминий стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) [176].

Свинец удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,1—1,3 мм/год) в любых растворах гипохлорита кальция при температуре до 50 °С [3].

Сурьмянистый свинец в разбавленных растворах, содержащих до 5% активного хлора, при 20 °С корродирует со скоростью до 0,3 мм/год [176].

Другие металлы. Титан, серебро, платина, тантал при температуре до 100 °С стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) в любых растворах гипохлорита кальция [1—3], цирконий — в растворах концентрацией менее 20% [3].

35.3.3. Кальция гипохлорит-хлорид — CaOCl_2

Металлы и сплавы в растворах гипохлорит-хлорида кальция обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали при обычной температуре можно применять в растворах хлорной извести с $\text{pH} > 7$ при содержании активного хлора до 0,3%. В более концентрированных растворах стали нестойки [1].

Скорость коррозии серых чугунов зависит от концентрации и температуры растворов хлорной извести и при их увеличении возрастает от 0,1 до 10 мм/год и более (при температуре кипения) [1].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3 в любых растворах хлорной извести стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) при 20 °С, при температуре 100 °С скорость коррозии может возрастать до 1 мм/год [1, 4, 43, 46].

Хромистые чугуны ЧХ28, ЧХ32 при обычной температуре обладают удовлетворительной стойкостью в растворах хлорной извести (скорость коррозии в насыщенном растворе при 40 °С <1 мм/год) [4, 46, 61].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х25 при нормальной температуре нестойки как в разбавленных (до 2,5% активного хлора), так и в насыщенных растворах хлорной извести [2, 4, 46].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т при 20 °С удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) в разбавленных (до 2,5% активного хлора) растворах хлорной извести, в более концентрированных растворах такие стали нестойки [1]. Хромоникелевые стали типа Х17Н13М2Т стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) в растворах хлорной извести концентрацией до 15% при 20 °С [46], в растворах концентрацией до 10% — при температуре кипения [2, 112].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ при 20 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) в любых растворах хлорной извести, при 100 °С даже в разбавленных (6%) растворах скорость коррозии возрастает до 1 мм/год [1].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл при температуре до 100 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) в разбавленных (5%) растворах хлорной извести, в более концентрированных растворах — нестойки [1].

Никельмолибденовые сплавы Н70МФВ, ХН65МВ в растворах хлорной извести в коррозионном отношении ведут себя так же, как и в растворах гипохлорита кальция.

Медь и медные сплавы. Медь, бронзы в любых растворах хлорной извести стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) при нормальной температуре, при

100 °С — нестойки. Латуни в любых растворах хлорной извести при обычной температуре корродируют со скоростью 0,1—1 мм/год [1].

Алюминий и его сплавы с кремнием, марганцем, магнием стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) только в очень разбавленных (1%) растворах хлорной извести при обычной температуре. С увеличением концентрации и температуры скорость коррозии резко возрастает (до 10 мм/год и более) [1].

Свинец при обычной температуре в растворах хлорной извести корродирует со скоростью от 0,2 до 3 мм/год [1].

Другие металлы. Титан, серебро сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год) в любых растворах хлорной извести при температуре до 100 °С [1].

35.3.4. Натрия гипохлорит — NaClO

Металлы и сплавы в растворах гипохлорита натрия обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в растворах гипохлорита натрия концентрацией до 35% при 20 °С обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии <1 мм/год) [1, 61], при увеличении температуры до 100 °С — нестойки [1]. В растворах, содержащих 10—15% активного хлора, углеродистые стали корродируют со скоростью 0,3 мм/год [140].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17МЗ в растворах гипохлорита натрия концентрацией до 35% при 20 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 4, 88, 140] (по другим данным [3], 0,5—1,3 мм/год). При температуре выше 100 °С такие чугуны нестойки [1, 88, 140]. В разбавленном растворе (4%, рН > 7) кремнистые чугуны корродируют со скоростью 0,2—0,3 мм/год [140].

Хромистые чугуны ЧХ28, ЧХ32 при обычной температуре в растворах, содержащих до 2% активного хлора, стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [176].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) при комнатной температуре в растворах любой концентрации нестойки (скорость коррозии >1,3 мм/год) [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали с 13% Cr при нормальной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) только в разбавленных (до 2% активного хлора) растворах гипохлорита натрия. Однако в этих условиях они подвергаются питтинговой коррозии [176]. В более концентрированных растворах хромистые стали типа Х13—Х25 даже при 20 °С нестойки [1, 4, 140].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т при обычной температуре в разбавленных (до 2% активного хлора) растворах гипохлорита натрия стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [176]. В более концентрированных растворах щелочного характера, содержащих 3—15% активного хлора, при 20 °С скорость коррозии возрастает до 0,2 мм/год. Причем во всех случаях стали подвергаются питтинговой коррозии. В растворах концентрацией до 35% при температуре кипения такие стали нестойки [4, 140].

Хромоникелевые стали типа Х17Н13М2Т при 40 °С стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) в разбавленных (до 2% активного хлора) растворах гипохлорита натрия [176]. В растворах, содержащих 3—16% активного хлора, скорость коррозии сталей возрастает до 1—1,2 мм/год при локальном характере корро-

зии [140]. При температуре кипения и концентрации растворов до 35% стали типа Х17Н13М2Т нестойки [1].

Двухфазные аустенитно-ферритные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т сохраняют стойкость (скорость коррозии 0,1 мм/год) в растворах, содержащих до 7% активного хлора, при температуре до 50 °С. Небольшое повышение концентрации и температуры приводит к резкому увеличению скорости коррозии сталей. В растворе гипохлорита натрия концентрацией около 9% при 60 °С скорость коррозии этих сталей возрастает до 1 мм/год [140]. По данным справочника [1], указанные стали корродируют со скоростью до 1 мм/год в растворах концентрацией менее 35% при 100 °С.

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ при обычной температуре удовлетворительно стойки (скорость коррозии <0,5 мм/год) в растворах гипохлорита натрия, содержащих 2—16% активного хлора [140]. При повышении температуры до 100 °С даже в разбавленных (<5%) растворах сплавы корродируют со скоростью 0,5—1,3 мм/год [3]. В насыщенном растворе при температуре кипения сплавы нестойки [112].

Никель и сплавы никеля. Никель практически неприменим в растворах гипохлорита натрия. В растворах, содержащих 0,3—0,7% активного хлора, при 40 °С никель корродирует со скоростью 0,8—1,3 мм/год [140].

Монель-металл стоек только в очень сильно разбавленных (0,01%) растворах гипохлорита натрия (при 40 °С скорость коррозии 0,1 мм/год). Уже при содержании в растворе 0,3% активного хлора скорость коррозии сплава возрастает до 1 мм/год, а при содержании 0,65% — до 2,8 мм/год. В растворах гипохлорита натрия концентрацией до 34% при нормальной температуре монель-металл нестойк [3, 140].

Никельмолибденовые сплавы Н70МФВ, ХН65МВ стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) в любых растворах гипохлорита натрия при температуре до 50 °С. В растворах, содержащих до 15% активного хлора, сплавы стойки до 100 °С [3]. По данным работы [140], в разбавленных (1,5—4%) растворах при 95 °С сплав ХН65МВ корродирует со скоростью 1,2 мм/год.

Медь и медные сплавы. Медь при обычной температуре в разбавленных (<2%) растворах гипохлорита натрия корродирует со скоростью 0,1 мм/год [3], в более концентрированных растворах — нестойка [1, 2].

Алюминиевые бронзы даже при 20 °С в растворах, содержащих 2% активного хлора, разрушаются со скоростью 1,2 мм/год. Фосфористые бронзы в подобных условиях (40 °С, 1% активного хлора) обладают высокой стойкостью (скорость коррозии 0,001 мм/год) [176]. В растворах гипохлорита натрия концентрацией до 35% при температуре 20 °С алюминиевые бронзы корродируют со скоростью до 1 мм/год, оловянистые бронзы — со скоростью до 0,1 мм/год [1, 43]. Латунни в таких же условиях подвергаются коррозии со скоростью до 1 мм/год [140].

Мельхиор (10—30% Ni) в разбавленных (<2%) растворах гипохлорита натрия при обычной температуре стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Алюминий практически нестойк в растворах гипохлорита натрия даже при нормальной температуре. Только в растворе с содержанием 1% активного хлора при 40 °С скорость коррозии алюминия около 0,1 мм/год, а при концентрации 2% активного хлора и температуре 20 °С скорость коррозии увеличивается до 0,3 мм/год [176]. При концентрации активного хлора 10—15% алюминий нестойк [140].

Свинец при нормальной температуре обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,5—1,2 мм/год) в разбавленных растворах гипохлорита натрия, содержащих до 2% активного хлора [176]. При содержании 12—16% активного хлора в слабощелочных растворах свинец нестойк [140]. По данным работ [2, 3], при обычной температуре свинец сохраняет удовлетворительную стойкость (скорость коррозии 0,5—1,3 мм/год) в любых растворах гипохлорита натрия.

Сурьмянистый свинец при обычной температуре в растворах гипохлорита натрия, содержащих до 2% активного хлора, корродирует со скоростью менее 0,3 мм/год [176].

Титан стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) при температуре ниже 100 °С в растворах гипохлорита натрия концентрацией до 35% [1] (по другим данным [3], до 20%). В растворах, содержащих 9—15% активного хлора, при 40 °С скорость коррозии титана 0,01 мм/год [140].

Серебро при 20 °С остается стойким (скорость коррозии <0,05 мм/год) в любых растворах гипохлорита натрия [3]. При повышении температуры до 100 °С в растворах концентрацией до 10—20% серебро корродирует со скоростью 0,1—0,5 мм/год [1, 3].

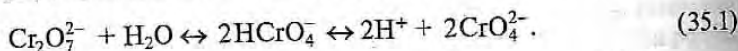
Металлы платиновой группы. В любых растворах гипохлорита натрия при температуре до 100 °С платина сохраняет стойкость (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3], иридий, родий корродируют со скоростью 0,1—0,5 мм/год, палладий, рутений, осмий — нестойки [2].

Другие металлы. Тантал при температуре до 100 °С стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) в любых растворах гипохлорита натрия [3], цирконий — в растворах концентрацией до 10% [3, 43].

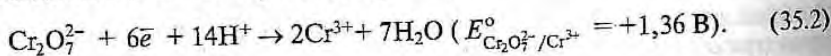
35.4. Дихроматы — $M_2Cr_2O_7$

Дихроматы щелочных металлов и аммония в воде лучше растворимы, чем хроматы. Растворимость дихромата калия при температуре 20 °С составляет 11,1%, при 50 °С — 27,4%, при 100 °С — 50,5%. Растворимость дихромата натрия при тех же температурах соответственно — 64,3; 70 и 80,7%, дихромата аммония соответственно — 26,2; 41,8 и 60,9%. Насыщенный раствор дихромата калия концентрацией 51,9% кипит при температуре 103 °С. Дихромат аммония при температуре 185 °С разлагается.

Водные растворы дихроматов щелочных металлов проявляют кислую реакцию:



В кислых растворах дихроматы являются сильными окислителями, восстанавливаясь до ионов Cr^{3+} или $[Cr(H_2O)_6]^{3+}$:



Столь положительное значение равновесного потенциала реакции (35.2) свидетельствует о большой окислительной способности дихроматов. В результате при небольших концентрациях, участвуя в катодном процессе, дихроматы могут усиливать коррозию металлов в активном состоянии, а при некоторой пороговой концентрации, зависящей от конкретных условий, способствовать

переходу металлов в пассивное состояние. Кроме того, дихроматы могут адсорбироваться на металлической поверхности, способствуя образованию защитных пленок.

Коррозионное поведение металлов и сплавов в растворах дихроматов щелочных металлов слабо зависит от вида катиона, поэтому данные, представленные для растворов дихромата калия, в известной степени можно использовать для растворов дихромата натрия.

35.4.1. Аммония дихромат — $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

По данным работы [3], металлы и сплавы в растворах дихромата аммония имеют следующую стойкость.

Углеродистые стали и серые чугуны в насыщенном растворе дихромата аммония при обычной температуре стойки (скорость коррозии $<0,05$ мм/год).

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в любых растворах дихромата аммония стойки (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) при температуре до 100°C .

Высоколегированные стали. Хромоникелевые стали типа Х17Н13М2Т в растворах дихромата аммония концентрацией менее 30% при температуре до 50°C корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год.

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в растворах дихромата аммония при температуре до 50°C остаются стойкими (скорость коррозии $<0,05$ мм/год).

Алюминий в любых растворах дихромата аммония стоек (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) до температуры 100°C .

35.4.2. Калия дихромат — $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

Области применения металлических материалов в растворах дихромата калия ориентировочно показаны на рис. 35.4.

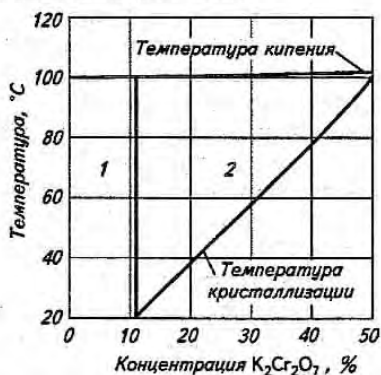


Рис. 35.4. Области применения металлических материалов в растворах дихромата калия:

1 — углеродистая сталь; серый чугун; кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа Х13—Х28 (до 90°C), Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т; 08Х18Г8Н3М2Т; 10Х14Г14Н4Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; никель; монель-металл; медь; бронза; мельхиор; алюминий; свинец; титан; цирконий; тантал; серебро; платина; золото; 2 — углеродистая сталь; серый чугун (до $80-90^\circ\text{C}$); кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; никель, монель-металл, медь, бронза, мельхиор (до 90°C); алюминий (до $70-80^\circ\text{C}$); титан; цирконий; тантал; серебро; платина; золото

Углеродистые стали и серые чугуны в любых растворах дихромата калия до температуры кипения корродируют со скоростью 0,1—0,5 мм/год [3]. По данным работ [1, 4], при температуре кипения такие стали и чугуны нестойки.

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 и никелевые чугуны (14—32% Ni) в любых растворах дихромата калия стойки до температуры кипения (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х28 в растворах дихромата калия концентрацией менее 11% стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) до 90 °С [1, 2, 112], при температуре кипения стали типа Х13, Х17 — нестойки, стали типа Х25—Х28 — корродируют со скоростью до 1 мм/год [1]. В растворе концентрацией 25% все указанные стали нестойки [4].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в любых растворах дихромата калия сохраняют стойкость до температуры кипения (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Аустенитные стали 08Х18Г8Н3М2Т, 10Х14Г14Н4Т в растворах дихромата калия концентрацией до 10% стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [15].

Двухфазные аустенитно-ферритные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т в растворах дихромата калия концентрацией до 11% при температуре кипения корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [1].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в любых растворах дихромата калия стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1—3].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл в любых растворах дихромата калия до температуры кипения корродируют со скоростью 0,1—0,5 мм/год [3].

Медь и медные сплавы. Медь, бронзы при 100 °С стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) в растворах дихромата калия концентрацией до 11% [1, 2], при температуре кипения в любых растворах скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год [3]. В очень кислых растворах, особенно при повышенной температуре, скорость коррозии резко возрастает (в 5%-ном растворе с рН < 1 при 38 °С медь нестойка) [2]. Латунь в растворах дихромата калия разрушается с большой скоростью [5].

Медноникелевые сплавы, содержащие 30—45% Ni, в растворах дихромата калия отличаются высокой стойкостью (в 5%-ном растворе при 30 °С скорость коррозии <0,001 мм/год) [5]. Мельхиоры (11—33% Ni) в любых растворах корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год при температуре до 75 °С и со скоростью 0,1—0,5 мм/год при температуре кипения [3].

Алюминий и его сплавы с кремнием, марганцем, магнием в растворах дихромата калия концентрацией до 11% можно применять (скорость коррозии <0,01 мм/год) при температуре до 100 °С [1, 2, 46]. В более концентрированных растворах при температуре до 75 °С скорость коррозии алюминия менее 0,05 мм/год, при температуре кипения — 0,1—0,5 мм/год [3].

Свинец в растворах дихромата калия концентрацией менее 11% при температуре до 60 °С корродирует со скоростью 0,1 мм/год [1, 2], при температуре кипения — со скоростью 0,1—0,5 мм/год [3].

Титан сохраняет стойкость (скорость коррозии <0,05 мм/год) в любых растворах дихромата калия до температуры кипения [3].

Другие металлы. Цирконий, тантал, серебро, платина, золото остаются стойкими в любых растворах дихромата калия до температуры кипения (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [3].

Цинк в растворах дихромата калия концентрацией до 11% при обычной температуре удовлетворительно стоек (скорость коррозии $0,5-1$ мм/год), при температуре до 100°C — нестойк [2].

35.4.3. Натрия дихромат — $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

Металлы и сплавы в дихромате натрия обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в любых растворах дихромата натрия до температуры кипения корродируют со скоростью $0,1-0,5$ мм/год [3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 и никелевые чугуны (14—32% Ni) в любых растворах дихромата натрия стойки до температуры кипения (скорость коррозии $0,1-0,5$ мм/год) [3].

Высоколегированные стали. Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в любых растворах дихромата натрия удовлетворительно стойки (скорость коррозии $0,1-0,5$ мм/год) до температуры 100°C [3]. По данным работы [62], такие стали сохраняют стойкость в растворах концентрацией менее 25%.

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в любых растворах дихромата натрия до температуры кипения корродируют со скоростью $0,1-0,5$ мм/год [3].

Никелевые сплавы типа ХН65МВ в растворах дихромата натрия концентрацией до 10% при обычной температуре обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии $0,1-0,5$ мм/год) [3].

Монель-металл нестойк в растворах дихромата натрия при обычной температуре [5].

Медь и медные сплавы. Медь, бронза, латунь при обычной температуре в 10%-ном растворе дихромата натрия корродируют со скоростью более $1,3$ мм/год [3, 5].

Мельхиор при обычной температуре в растворах дихромата натрия стоек (скорость коррозии $0,003-0,25$ мм/год) [5].

Алюминий применим в любых растворах дихромата натрия при температуре до $50-70^\circ\text{C}$ [62]. По данным работы [3], в растворе концентрацией 10% при обычной температуре скорость коррозии алюминия $0,1-0,5$ мм/год.

Титан при обычной температуре сохраняет стойкость (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) в растворах дихромата натрия концентрацией 10% [3]. По данным работ [10, 39], в насыщенном растворе скорость коррозии титана менее $0,1$ мм/год.

Другие металлы. Тантал при обычной температуре остается стойким в любых растворах дихромата натрия (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [3].

35.5. Иодиды — MI

Соли аммония и щелочных металлов иодоводородной кислоты очень хорошо растворимы в воде. Растворимость иодида аммония при 20°C составляет 63,3%, при 50°C — 66,7% и при 100°C — 71,4%.

Растворимость иодида калия при 20 °С составляет 39,5%, при 50 °С — 44,7% и при 100 °С — 50,8%. Температура кипения раствора концентрацией 20% — 101,3 °С, а концентрацией 50% — 107 °С. Насыщенный раствор иодида калия концентрацией 68,8% кипит при максимальной для всех растворов температуре 118,4 °С.

Растворимость иодида натрия при 20 °С составляет 64,2%, при 50 °С — 69,4% и при 100 °С — 75,1%. Насыщенный раствор иодида натрия концентрацией 76,3% кипит при температуре 141 °С.

Растворы иодидов не обладают окислительными свойствами, и коррозионное поведение металлов в них в значительной степени зависит от количества растворенного кислорода воздуха. Поскольку с увеличением концентрации растворов и повышением температуры растворимость кислорода снижается, то в горячих концентрированных растворах скорость коррозии может быть меньше, чем в разбавленных растворах.

На поверхности некоторых металлов при коррозии в растворах иодидов могут образовываться пленки нерастворимых продуктов коррозии, тормозящие процесс разрушения. Так, в разбавленных растворах иодида калия свинец корродирует медленно, поскольку на его поверхности образуется осадок PbI_2 , растворимость которого даже при 100 °С составляет лишь 0,43%. В концентрированных растворах из-за образования хорошо растворимого $KPbI_3$ коррозионное разрушение металла усиливается.

При диссоциации иодидов в водных растворах образуются анионы I^- , обладающие депассивирующим действием. В результате металлы (например, нержавеющие стали), коррозионная стойкость которых обусловлена пассивностью, могут подвергаться локальной (питтинговой и язвенной) коррозии.

Сплавы титана, легированные алюминием, молибденом и ванадием, подвержены коррозионному растрескиванию в растворах иодидов.

35.5.1. Аммония иодид — NH_4I

Металлы и сплавы в иодиде аммония обладают следующей стойкостью.

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в насыщенном растворе иодида аммония при нормальной температуре нестойки [3].

Высоколегированные стали. Хромоникелевые стали типа Х17Н13М2Т в растворах иодида аммония концентрацией менее 30% при температуре до 50 °С корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год [3].

Медь и медные сплавы. Медь, фосфористая бронза при 25 °С нестойки в твердой соли иодида аммония [48].

35.5.2. Калия иодид — KI

Области применения металлических материалов в растворах иодида калия ориентировочно показаны на рис. 35.5.

Углеродистые стали и серые чугуны в разбавленных растворах иодида калия при нормальной температуре обладают удовлетворительной стойкостью. В растворах концентрацией до 30% скорость коррозии углеродистых сталей 0,1—0,5 мм/год [3]. В более концентрированных (до 59%) растворах при температуре кипения такие стали и чугуны нестойки. Примечательно, что в горячих концентрированных растворах скорость коррозии сталей и чугунов меньше, чем в растворах средних концентраций [1].

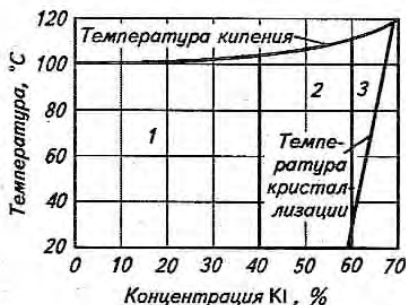


Рис. 35.5. Области применения металлических материалов в растворах иодида калия:

1 — углеродистая сталь, серый чугун (до 30%, 25 °С); кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; сталь типа Х17—Х28 (до 30—50 °С), Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т; сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ; Н70МФВ-ВИ; Н65М-ВИ; ХН63МБ; ХН65МВУ; никель (до 30—50 °С); монель-металл; медь; Al-бронза; свинец (до 30 °С); титан; цирконий; тантал; платина; золото; 2 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; сталь типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т (до 100 °С); стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т (до 100 °С); сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ, Н70МФВ-ВИ, Н65М-ВИ, ХН63МБ, ХН65МВУ (до 100 °С); монель-металл, медь, Al-бронза (до 100 °С); титан; цирконий; тантал; платина; золото; 3 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; сталь типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т (до 100 °С); стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т (до 100 °С); сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ, Н70МФВ-ВИ, Н65М-ВИ, ХН63МБ, ХН65МВУ (до 100 °С); титан; цирконий; тантал; платина; золото

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в любых растворах иодида калия стойки (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) до температуры кипения [1, 3, 48].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в разбавленных (10%) растворах иодида калия при нормальной температуре стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13 в растворах иодида калия концентрацией до 39% при нормальной температуре нестойки, стали типа Х17 корродируют со скоростью 0,5—3 мм/год, стали типа Х25, Х28 — со скоростью 0,1—0,5 мм/год [1, 2]. По данным работы [4], стали типа Х17 в растворах иодида калия обладают удовлетворительной стойкостью до температуры кипения (скорость коррозии <1 мм/год).

Хромоникелевые аустенитные стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в любых растворах иодида калия стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) до температуры кипения [1, 2, 4]. Согласно работе [3], при этом скорость коррозии может увеличиваться до 0,5 мм/год. Кроме того, стали типа Х18Н10Т подвержены питтинговой коррозии.

Двухфазные аустенитно-ферритные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год) в растворах концентрацией до 59% при температуре кипения [1]. В 10%-ном растворе иодида калия при 100 °С скорость коррозии стали 08Х22Н6Т менее 0,01 мм/год [15].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в растворах иодида калия концентрацией менее 59% стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [1]. По данным работы [3], при этом скорость коррозии может возрастать до 0,5 мм/год.

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл в любых растворах иодида калия при обычной температуре стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год), а при повышении температуры до 100 °С в растворах концентрацией до 59% скорость коррозии может возрастать до 0,5 мм/год [1—3].

Никельмолибденовый сплав Н70МФВ в растворах концентрацией менее 59% стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [1]. По данным работы [3], скорость коррозии сплавов Н70МФВ, ХН65МВ в любых растворах иодида калия при 100 °С может достигать 0,5 мм/год.

Медь и медные сплавы. Медь в любых растворах иодида калия до температуры кипения обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [3, 48].

Алюминиевые бронзы в растворах иодида калия концентрацией менее 59% стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) до 100 °С [1].

Алюминий в растворах иодида калия концентрацией до 39% можно применять (скорость коррозии 0,1 мм/год) только при нормальной температуре. В растворах концентрацией до 59% при 100 °С алюминий нестойк [1, 2].

Свинец в растворах иодида калия концентрацией менее 39% при 20 °С стоек (скорость коррозии 0,1 мм/год), при 100 °С в растворах концентрацией до 59% — нестойк [1, 2]. Согласно работам [3, 48], уже при концентрации 30% и температуре 25 °С свинец нестойк.

Другие металлы. Титан, цирконий, тантал отличаются высокой стойкостью в любых растворах иодида калия при температуре до 100 °С (скорость коррозии тантала <0,001 мм/год [2], титана и циркония — <0,05 мм/год [3]).

Серебро при нормальной температуре нестойко в растворах иодида калия [1—3].

35.5.3. Натрия иодид — NaI

Области применения металлических материалов в растворах иодида натрия ориентировочно показаны на рис. 35.6.

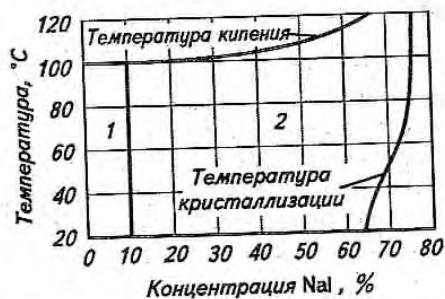


Рис. 35.6. Области применения металлических материалов в растворах иодида натрия:

1 — углеродистая сталь; кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; сталь типа Х18Н10Т (питтинг), Х17Н13М2Т; сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ (до 80—90 °С); Н70МФВ-ВИ; Н65М-ВИ; никель; монель-металл; алюминий (до 30 °С); свинец (до 30 °С); титан; цирконий; серебро (до 30 °С); 2 — углеродистая сталь (до 80—90 °С); кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; сталь типа Х18Н10Т (питтинг), Х17Н13М2Т (до 80—90 °С); сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ, Н70МФВ-ВИ, Н65М-ВИ (до 80—90 °С); никель, монель-металл (до 80—90 °С); свинец (до 20%, 30 °С); титан, цирконий (до 100 °С); свинец (до 30 °С); серебро (до 30 °С)

Углеродистые стали и серые чугуны в коррозионном отношении в растворах иодида натрия ведут себя так же, как и в растворах иодида калия, сохраняя удовлетворительную коррозионную стойкость при средних концентрациях и небольших температурах. В 10%-ном растворе иодида натрия при 25 °С скорость коррозии чугунов менее 0,5 мм/год [48]. Углеродистые стали с такой же скоростью корродируют в любом растворе иодида натрия при температуре до 100 °С [3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в любых растворах иодида натрия при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в насыщенном растворе при нормальной температуре стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Высоколегированные стали. Хромоникелевые аустенитные стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в любых деаэрированных растворах иодида натрия при температуре до 100 °С удовлетворительно стойки (скорость коррозии <0,5 мм/год). При этом стали подвержены питтинговой коррозии, а при соответствующих напряжениях — коррозионному растрескиванию [3, 48].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в любых растворах иодида натрия при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3, 48].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл и никельмолибденовый сплав Н70МФВ в любых растворах иодида натрия при температуре 100 °С удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [3, 48].

Медь и медные сплавы. Медь в 10%-ном растворе иодида натрия при обычной температуре корродирует со скоростью 0,5—1,3 мм/год [3].

Латуни в растворах иодида натрия при температуре до 75 °С обладают меньшей стойкостью, чем в растворах хлорида и бромиды натрия [5].

Алюминий в любых растворах иодида натрия можно применять (скорость коррозии до 0,5 мм/год) только при нормальной температуре [3].

Свинец при обычной температуре сохраняет удовлетворительную стойкость (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) в разбавленных (<20%) растворах иодида натрия, в более концентрированных растворах свинец нестойк [3].

Другие металлы. Титан, цирконий остаются стойкими в любых растворах иодида натрия при температуре до 100 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3, 48].

Серебро при обычной температуре стойко (скорость коррозии <0,05 мм/год) в любых растворах иодида натрия [3].

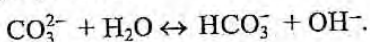
35.6. Карбонаты — M_2CO_3 и гидрокарбонаты — $MHCO_3$

Из средних солей угольной кислоты хорошо растворимы в воде только карбонаты щелочных металлов и аммония. Растворимость карбоната натрия с повышением температуры до 35 °С увеличивается (до 33,8%), а затем постепенно снижается (при 20 °С растворимость составляет 17,9%, при 50 °С — 32,1%, при 100 °С — 30,9%). Раствор Na_2CO_3 концентрацией 20% кипит при температуре 102,4 °С, насыщенный раствор концентрацией 31,1% — при 104,8 °С.

Растворимость карбоната калия с повышением температуры постепенно увеличивается и при 20 °С составляет 52,6%, при 50 °С — 54,8%, при 100 °С — 60,9%. Раствор концентрацией 20% кипит при 102,2 °С, 50%-ный раствор — при 113,1 °С, 67%-ный — при 140 °С.

Карбонат аммония очень хорошо растворим в воде. Насыщенный раствор при 15 °С имеет концентрацию около 50%. При повышении температуры растворов карбонат аммония разлагается.

Водные растворы карбонатов щелочных металлов подвержены гидролизу и имеют сильнощелочную реакцию:



Щелочной характер растворов оказывает большое влияние на коррозионное поведение металлов. Так, в результате образования защитных пленок гидроксидов углеродистые стали в растворах карбонатов корродируют меньше, чем в нейтральных растворах солей. С другой стороны, с увеличением концентрации растворов, особенно при повышенных температурах, на некоторых амфотерных металлах (алюминий, свинец) защитные пленки гидроксидов растворяются, и металлы теряют коррозионную стойкость. Такой же эффект наблюдается при коррозии латуней, в результате чего латуни стойки в растворах карбонатов только при нормальной температуре.

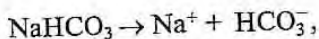
При коррозии меди и ее сплавов в растворах карбоната аммония образуются растворимые комплексные соединения, что резко увеличивает коррозию этих металлов.

По агрессивности растворы карбонатов щелочных металлов близки к растворам гидроксида натрия концентрацией до 10% [45]. Коррозионная активность растворов карбонатов натрия и калия различается незначительно, поэтому представленные данные в известной степени можно использовать для оценки скорости коррозии металлов и сплавов как в растворах карбоната калия, так и в растворах карбоната натрия.

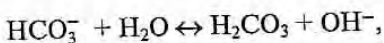
Большинство кислых солей угольной кислоты (гидрокарбонатов) хорошо растворимы в воде. При 20 °С концентрация насыщенного раствора гидрокарбоната натрия составляет 8,8%, гидрокарбоната аммония — 17,8%, гидрокарбоната калия — 24,9%. С увеличением температуры растворимость возрастает, и при 60 °С концентрация насыщенных растворов гидрокарбонатов натрия, аммония и калия достигает соответственно 14,1; 30,0 и 37,5%. При 100 °С растворимость гидрокарбонатов натрия и аммония составляет 19,5 и 78%.

Гидрокарбонаты разлагаются легче карбонатов. При этом образуется средняя соль и выделяется диоксид углерода. Уже при температуре выше 20 °С из растворов гидрокарбоната натрия постепенно выделяется CO_2 . Температура разложения гидрокарбоната аммония ~70 °С (начинает разлагаться при 20 °С), гидрокарбоната калия — 100–120 °С, гидрокарбоната натрия — 100–150 °С (начинает разлагаться при 60 °С).

При растворении гидрокарбонатов в результате диссоциации образуются катионы металла и сложные анионы кислотного остатка, например, в случае NaHCO_3 по уравнению:



Поскольку анионы HCO_3^- образованы слабой кислотой, то в водных растворах они одновременно подвергаются гидролизу, приводящему к образованию ионов OH^- :



и протолизу, в результате которого образуются ионы H_3O^+ :



В зависимости от преобладающего наличия в растворе ионов OH^- или H_3O^+ реакция раствора может быть как щелочной, так и кислой. В случае гидрокарбонатов щелочных металлов преобладает процесс гидролиза, и растворы имеют слабощелочную реакцию (раствор NaHCO_3 концентрацией 4% имеет рН 8,7).

Возможность разложения гидрокарбонатов щелочных металлов и слабощелочной характер их растворов способствуют образованию труднорастворимых карбонатов корродирующих металлов. Это может вызывать формирование осадков на металлической поверхности и торможение коррозионного процесса.

Коррозионное поведение металлов и сплавов в растворах гидрокарбонатов щелочных металлов слабо зависит от вида катиона, поэтому представленные данные в известной степени можно использовать для растворов гидрокарбонатов натрия и калия.

35.6.1. Аммония карбонат — $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$

Металлы и сплавы в карбонате аммония обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали в растворах карбоната аммония концентрацией до 20% с рН > 7 при нормальной температуре стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) [1] (по другим данным [178], стойки до концентрации 40%). При температуре до 100 °С углеродистые стали удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) в любых растворах карбоната аммония [3].

Серые чугуны при нормальной температуре в растворах концентрацией менее 10—20% разрушаются со скоростью до 0,5—1 мм/год [1, 3].

В твердой соли при обычной температуре углеродистые стали корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год, серые чугуны — менее 0,5 мм/год [3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 при температуре до 100 °С в растворах карбоната аммония концентрацией менее 50% корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год, в более концентрированных растворах — со скоростью 0,1—0,5 мм/год. Такая же скорость коррозии кремнистых чугунов в твердой соли при температуре ниже 100 °С [3].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в любых растворах карбоната аммония при температуре до 100 °С и в твердой соли при нормальной температуре стойки (скорость коррозии $< 0,5$ мм/год) [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X13—X28 в растворах карбоната аммония любой концентрации при 20 °С стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год). При повышении температуры до 100 °С стали типа X13 удовлетворительно стойки (скорость коррозии $< 0,5$ мм/год), при температуре кипения — нестойки [1, 2]. Стали типа X17, X25 при температуре кипения остаются стойкими (скорость коррозии 0,1 мм/год) [2] (по другим данным [1] — нестойки).

Хромоникелевые аустенитные стали типа X18N10T, X17N13M2T в растворах карбоната аммония концентрацией менее 20% стойки до температуры кипения (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год) [2, 43, 88]. При температуре до 100 °С

в любых растворах карбоната аммония такие стали обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [3].

При действии растягивающих напряжений хромоникелевые стали подвержены коррозионному растрескиванию в растворах карбоната аммония [1].

Двухфазные аустенитно-ферритные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т сохраняют стойкость (скорость коррозии 0,1 мм/год) в растворах концентрацией менее 20% при температуре до 110 °С [43].

Высоколегированные стали с марганцем 08Х18Г8Н3М2Т, 10Х14Г14Н4Т в разбавленных (10%) растворах стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [2, 15].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в любых растворах карбоната аммония удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) до температуры 100 °С [3]. Согласно справочным данным [45], такие сплавы можно применять до температуры кипения.

Никель и сплавы никеля. Никель в насыщенных растворах карбоната аммония при обычной температуре стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год), при температуре кипения — нестойк [1, 2].

Монель-металл в растворах концентрацией менее 10—20% при температуре до 100 °С удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [1, 3].

Никельмолибденовые сплавы Н70МФВ, ХН65МВ в любых растворах карбоната аммония при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Алюминий в растворах карбоната аммония концентрацией до 20% с $pH > 7$ стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 100 °С [1]. По данным работы [3], алюминий удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) в любых растворах карбоната аммония при температуре до 100 °С.

Свинец в растворах карбоната аммония концентрацией менее 50% сохраняет удовлетворительную стойкость (скорость коррозии <0,5 мм/год) при температуре до 100 °С [3].

Титан при нормальной температуре отличается высокой стойкостью (скорость коррозии <0,01 мм/год) в растворах концентрацией до 20% [39].

Серебро в 10%-ном растворе карбоната аммония стойко (скорость коррозии <0,05 мм/год) при температуре до 100 °С. В более концентрированных растворах серебро стойко при обычной температуре [3] (по данным работы [2], в насыщенном растворе нестойко).

Другие металлы. Тантал практически не подвергается коррозии в растворах карбоната аммония концентрацией менее 50% при температуре до 80—100 °С [3].

Медь, бронзы, латуни неприменимы в растворах карбоната аммония концентрацией до 30—40% даже при комнатной температуре [1—3].

35.6.2. Аммония гидрокарбонат — $(NH_4)HCO_3$

Металлы и сплавы в гидрокарбонате аммония обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в разбавленных (10%) растворах гидрокарбоната аммония при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,1—0,5 мм/год.

В твердой соли при обычной температуре скорость коррозии углеродистой стали менее 0,05 мм/год, серого чугуна — менее 0,5 мм/год [3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 при температуре до 100 °С в растворах гидрокарбоната аммония концентрацией менее 50% корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год, в более концентрированных растворах — со скоростью 0,05—0,5 мм/год. Такая же скорость коррозии кремнистых чугунов в твердой соли при температуре ниже 100 °С [3].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в разбавленных (10%) растворах гидрокарбоната аммония при температуре до 100 °С и в твердой соли при нормальной температуре стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х25 при обычной температуре в растворах гидрокарбоната аммония любой концентрации стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [2, 112].

Хромоникелевые аустенитные стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в любых растворах гидрокарбоната аммония стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения. По данным работы [3], при температуре до 100 °С скорость коррозии таких сталей 0,05—0,5 мм/год. Хромоникелевые стали в любых растворах гидрокарбоната аммония подвержены питтинговой коррозии.

В твердой соли при температуре до 100 °С стали типа Х18Н10Т корродируют со скоростью 0,5—1,3 мм/год [3].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в любых растворах гидрокарбоната аммония стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) до температуры 100 °С [3].

Алюминий в растворах гидрокарбоната аммония концентрацией менее 10% при температуре до 100 °С и в твердой соли при обычной температуре удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Свинец в разбавленных (10%) растворах гидрокарбоната аммония при температуре до 100 °С сохраняет удовлетворительную стойкость (скорость коррозии <0,5 мм/год) [3].

Титан в 50%-ном растворе гидрокарбоната аммония при температуре 100 °С корродирует со скоростью менее 0,01 мм/год [39].

Другие металлы. Серебро в 10%-ном растворе гидрокарбоната аммония при температуре до 100 °С удовлетворительно стойко (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год), тантал — стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год).

Медь, латуни нестойки в разбавленных (10%) растворах гидрокарбоната аммония даже при комнатной температуре (скорость коррозии >1,3 мм/год) [3].

35.6.3. Калия карбонат (поташ) — K_2CO_3

Области применения металлических материалов в растворах карбоната калия ориентировочно показаны на рис. 35.7.

Углеродистые стали и серые чугуны в любых растворах карбоната калия удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) до 75 °С. При температуре кипения скорость коррозии углеродистых сталей и серых чугунов до 1 мм/год и более [3, 61, 179].

Низколегированные никелевые чугуны ЧНХТ, ЧН2Х в насыщенных растворах карбоната калия при температуре 120 °С корродируют со скоростью 1,4—1,9 мм/год [46, 179].

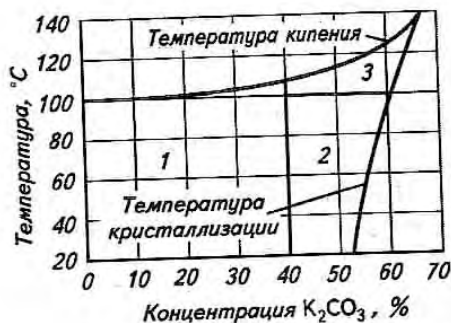


Рис. 35.7. Области применения металлических материалов в растворах карбоната калия:

1 — углеродистая сталь, серый чугун (до 80 °С); кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; сталь типа X17—X28, X18H10T, X17H13M2T; стали 08X22H6T, 08X21H6M2T; сплавы 06XH28MДТ; 03XH28MДТ; H70MФВ-ВИ; H65M-ВИ; ХН63МБ; ХН65МВУ; никель; монель-металл; медь; бронза (до 70—80 °С); свинец; титан; цирконий; тантал; серебро; платина; золото; 2 — углеродистая сталь, серый чугун (до 80 °С); кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; сталь типа X17—X28, X18H10T, X17H13M2T; стали 08X22H6T, 08X21H6M2T; сплавы 06XH28MДТ; 03XH28MДТ; H70MФВ-ВИ; H65M-ВИ; ХН63МБ; ХН65МВУ; монель-металл; медь (до 70—80 °С); титан; цирконий; тантал; серебро; платина; золото; 3 — сплавы 06XH28MДТ, 03XH28MДТ (до 50%); титан; цирконий; тантал; серебро; платина; золото

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в любых растворах карбоната калия обладают высокой стойкостью (скорость коррозии < 0,05 мм/год) при температуре до 100 °С [3]. При температуре кипения в зависимости от концентрации раствора кремнистые чугуны разрушаются со скоростью 0,1—1 мм/год [1, 61].

Хромистые чугуны, содержащие 32—34% Cr, стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) в растворах концентрацией до 50% при температуре до 100 °С [1, 46]. По данным справочника [61], такие чугуны стойки в любых растворах карбоната калия до температуры кипения.

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в любых растворах карбоната калия стойки (скорость коррозии < 0,5 мм/год) при температуре до 100 °С [3, 4].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X13—X25 в растворах карбоната калия любой концентрации стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) до температуры кипения [1, 61, 88, 112] (по данным работы [4], при концентрации менее 50% стойки до 100 °С).

Хромоникелевые аустенитные стали типа X18H10T, X17H13M2T в любых растворах карбоната калия стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) до температуры кипения [1, 4, 61, 88]. По данным работы [3], такие стали обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) при температуре до 100 °С.

Хромистые и хромоникелевые стали в растворах карбоната калия могут подвергаться локальной (питтинговой) коррозии [2].

Двухфазные аустенитно-ферритные стали 08X22H6T, 08X21H6M2T сохраняют стойкость (скорость коррозии 0,1 мм/год) в растворах концентрацией менее 52% до температуры кипения [1, 112].

Сплавы на железоникелевой основе 03XH28MДТ, 06XH28MДТ в растворах карбоната калия концентрацией менее 52% стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год)

до температуры кипения [1, 2]. Согласно работе [3], такие сплавы стойки (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) в любых растворах карбоната калия до 100°C .

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл в растворах карбоната калия концентрацией до 52% обладают стойкостью (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до температуры кипения [1, 61]. По данным работы [3], эти металлы в любых растворах карбоната калия удовлетворительно стойки (скорость коррозии $0,1-0,5$ мм/год) при температуре до 100°C .

Никельмолибденовый сплав Н70МФВ в растворах карбоната калия концентрацией до 52% стоек (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до температуры кипения [1]. По данным справочника [45], сплав в разбавленных (10%) растворах сохраняет стойкость (скорость коррозии $0,1$ мм/год) до температуры кипения. Согласно работе [3], сплавы Н70МФВ, ХН65МВ обладают стойкостью (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) в любых растворах карбоната калия до 100°C .

Медь и медные сплавы. Медь в растворах карбоната калия концентрацией менее 52% стойка (скорость коррозии $0,1$ мм/год) до температуры кипения [1]. Согласно работам [3, 61], в любых растворах карбоната калия при температуре до 100°C скорость коррозии меди $0,5-1,3$ мм/год.

Бронзы при температуре кипения растворов карбоната калия концентрацией до 52% обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии $0,1-1$ мм/год) [1].

Латуни в растворах концентрацией до 52% удовлетворительно стойки при комнатной температуре, при температуре кипения — нестойки [1]. В работах [2, 46] не рекомендуют использовать латуни в растворах карбоната калия даже при обычной температуре.

Свинец в растворах карбоната калия концентрацией до 52% стоек (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) при температуре до 100°C , в более концентрированных растворах при $50-60^{\circ}\text{C}$ — нестойк [1, 3].

Другие металлы. Титан, цирконий, тантал, серебро, платина, золото практически не подвергаются коррозии в любых растворах карбоната калия при температуре до 100°C [1-3].

Алюминий нестойк в растворах карбоната калия при обычной температуре [3, 62].

35.6.4. Калия гидрокарбонат — KHCO_3

Металлы и сплавы в растворах гидрокарбоната калия имеют следующую стойкость.

Углеродистые стали и серые чугуны обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии $0,3-0,35$ мм/год) в растворах гидрокарбоната калия концентрацией до 10% при 85°C [1, 46, 179]. По данным работы [3], углеродистые стали и серые чугуны в любых растворах при температуре до 100°C корродируют со скоростью $0,1-0,5$ мм/год.

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 и никелевые чугуны (нирезисты) сохраняют коррозионную стойкость (скорость коррозии $0,1$ мм/год) в разбавленных ($<10\%$) растворах гидрокарбоната калия до температуры кипения [45], в более концентрированных ($<40\%$) растворах при температуре до 100°C — корродируют со скоростью $0,1-0,5$ мм/год [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X13—X28 стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) в растворах гидрокарбоната калия концентрацией менее 15% до температуры 60 °С [1, 2], а концентрацией менее 10% — до температуры кипения [45].

Хромоникелевые аустенитные стали типа X18Н10Т, X17Н13М2Т в растворах гидрокарбоната калия концентрацией менее 30% стойки до температуры 100 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Двухфазные аустенитно-ферритные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) в растворах концентрацией менее 15% при температуре до 60 °С [1, 2].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) в растворах концентрацией до 15% при температуре 60 °С [1, 2], концентрацией до 10% — при температуре кипения [45]. По данным работы [3], сплавы в любых растворах при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл в растворах гидрокарбоната калия концентрацией до 10% можно применять (скорость коррозии 0,1 мм/год) до температуры кипения [45], в более концентрированных растворах при температуре до 100 °С — скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год [3].

Никельмолибденовые сплавы типа Н70МФВ, ХН63МБ стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) в растворах концентрацией менее 10% до температуры кипения [45], в более концентрированных растворах — удовлетворительно стойки до 100 °С (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [3].

Медь и медные сплавы. Медь, латунь в любых растворах гидрокарбоната калия удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) до температуры 100 °С [3].

Алюминий при нормальной температуре стоек в растворах концентрацией до 10% [61, 62].

Другие металлы. Титан, цирконий сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,05 мм/год) в любых растворах гидрокарбоната калия до температуры 100 °С [3].

Свинец при обычной температуре нестойк в растворах концентрацией более 10% [3].

35.6.5. Натрия карбонат (кальцинированная сода) — Na_2CO_3

Области применения металлических материалов в растворах карбоната натрия ориентировочно показаны на рис. 35.8.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали в любых растворах карбоната натрия до температуры кипения корродируют со скоростью 0,1 мм/год, серые чугуны — со скоростью 0,1—0,5 мм/год [3, 46, 88, 179]. В твердой соли углеродистые стали и серые чугуны стойки до 125 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Низколегированные никелевые чугуны ЧНХТ и ЧН2Х в любых растворах карбоната натрия до температуры кипения стойки (скорость коррозии <0,5 мм/год) [46, 179].

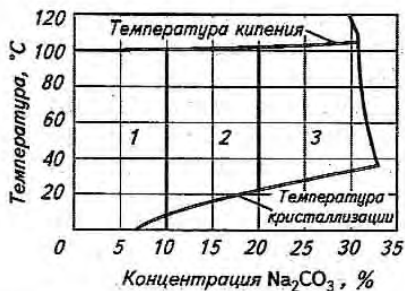


Рис. 35.8. Области применения металлических материалов в растворах карбоната натрия:

1 — углеродистая сталь; серый чугун; никелевый чугун ЧНХТ, ЧН2Х; никелевый чугун (нирезист); кремнистый чугун ЧС15, ЧС17 (до 70—80 °С); хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; сталь типа Х13—Х28, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т; 08Х21Н6М2Т; 08Х18Г8Н3М2Т; 10Х14Г14Н4Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; Н70МФВ-ВИ; Н65М-ВИ; ХН63МБ; ХН65МВУ; никель; монель-металл; медь; Sn-бронза; Al-бронза; мельхиор; свинец (до 25 °С); сурьмянистый свинец (до 80 °С); титан; тантал; серебро; платина; золото; 2 — углеродистая сталь; серый чугун; никелевый чугун ЧНХТ, ЧН2Х; хромистый чугун (нирезист); хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; сталь типа Х13—Х28, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т; 08Х21Н6М2Т; 08Х18Г8Н3М2Т; 10Х14Г14Н4Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; Н70МФВ-ВИ; Н65М-ВИ; ХН63МБ; ХН65МВУ; никель; монель-металл; медь; Sn-бронза, Al-бронза (до 70—80 °С); мельхиор; свинец (до 25 °С); сурьмянистый свинец (до 80 °С); титан; тантал; серебро; платина; золото; 3 — углеродистая сталь; серый чугун; никелевый чугун ЧНХТ, ЧН2Х; никелевый чугун (нирезист); хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32 (до 80 °С); сталь типа Х13—Х28, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т; 08Х21Н6М2Т; 08Х18Г8Н3М2Т; 10Х14Г14Н4Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; Н70МФВ-ВИ; Н65М-ВИ; ХН63МБ; ХН65МВУ; никель; монель-металл; медь (до 80 °С); мельхиор; титан; тантал; серебро; платина; золото

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в разбавленных (10%) растворах карбоната натрия стойки (скорость коррозии <0,5 мм/год) до 70—80 °С [3, 48], в растворах любой концентрации при температуре кипения скорость коррозии может возрастать до 1—1,3 мм/год [1, 3, 61]. В твердой соли кремнистые чугуны стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,05—0,5 мм/год) [3].

Хромистые чугуны ЧХ32, ЧХ34 в растворах карбоната натрия концентрацией менее 20% стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) до температуры кипения, в более концентрированных растворах — до 80—100 °С [4, 46, 61].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в любых растворах карбоната натрия стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х28 в растворах карбоната натрия концентрацией менее 20% стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) до температуры кипения [1, 46, 61] (по другим данным [4], стойки в любых растворах).

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в любых растворах карбоната натрия стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [1, 3, 4, 61]. В твердой соли стали такого типа стойки до 150 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Двухфазные аустенитно-ферритные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т обладают стойкостью (скорость коррозии 0,1 мм/год) в насыщенных растворах карбоната натрия до температуры кипения [1, 112].

Высоколегированные стали с марганцем 08X18Г8НЗМ2Т, 10X14Г14Н4Т стойки как в разбавленных (<10%), так и в насыщенных растворах до температуры кипения [2, 4, 15, 48].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в любых растворах карбоната натрия можно применять до температуры кипения (скорость коррозии <0,05 мм/год). В твердой соли такие сплавы стойки до 150 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металлы и никельмолибденовые сплавы Н70МФВ, ХН65МВ в любых растворах карбоната натрия стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [1, 3, 46]. В твердой соли никель и монель-металл стойки до 125 °С, никельмолибденовые сплавы — до 150 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Медь и медные сплавы. Медь в растворах карбоната натрия концентрацией менее 18% стойка (скорость коррозии 0,1 мм/год) до температуры кипения [1] (по другим данным [3], стойка в растворах любой концентрации).

Бронзы в растворе карбоната натрия концентрацией до 18% до температуры кипения корродируют со скоростью 0,1—1 мм/год [1]. При температуре до 80 °С в растворах концентрацией менее 22% скорость коррозии оловянистых и алюминиевых бронз не превышает 0,1 мм/год [88].

Латуни (Л68 и др.) в разбавленных (10%) растворах карбоната натрия при 20 °С стойки [21], в растворах концентрацией до 18% при температуре кипения — нестойки [1].

Медноникелевые сплавы с 20—30% Ni (мельхиор МН19, МНЖМц 30-1-1) в любых растворах карбоната натрия сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [3, 45].

Свинец в растворах карбоната натрия концентрацией до 18% при 20 °С стоек (скорость коррозии 0,1 мм/год), при температуре выше 60 °С — нестойк [1, 3]. Сурьмянистый свинец в растворах концентрацией менее 22% стоек (скорость коррозии 0,1 мм/год) до 80 °С [88].

Другие металлы. Титан, тантал, серебро, платина, золото в растворах карбоната натрия практически не подвергаются коррозии при любой температуре [1—3, 10, 61].

Алюминий нестойк в растворах карбоната натрия при обычной температуре [1, 3, 61].

35.6.6. Натрия гидрокарбонат (питьевая сода) — NaHCO_3

Металлы и сплавы в растворах гидрокарбоната натрия имеют следующую стойкость.

Углеродистые стали и серые чугуны обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,2 мм/год) в растворах гидрокарбоната натрия концентрацией до 8% при 85 °С [1, 46, 179], повышение температуры до 100 °С увеличивает скорость коррозии до 0,5 мм/год [3] (по данным работы [1], до 3 мм/год). В твердой соли при нормальной температуре серые чугуны корродируют со скоростью 0,5—1,3 мм/год [3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в разбавленных (10%) растворах гидрокарбоната натрия стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) до 100 °С [3].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в разбавленных (10%) растворах при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X13—X28 в растворах гидрокарбоната натрия концентрацией менее 8% стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) при температуре до 60 °С [1].

Хромоникелевые стали типа X18N10T, X17N13M2T в разбавленных (<8—10%) растворах гидрокарбоната натрия стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 60—100 °С [1, 3].

Двухфазные аустенитно-ферритные стали 08X22H6T, 08X21H6M2T стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) в растворах концентрацией до 8% при температуре ниже 60 °С [1].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в растворах концентрацией менее 8—10% стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) при температуре до 100 °С [1, 3].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл можно применять (скорость коррозии <0,1 мм/год) в разбавленных (<8—10%) растворах гидрокарбоната натрия при температуре до 100 °С [1, 3].

Никельмолибденовые сплавы типа Н70МФВ, ХН65МБ в разбавленных (<10%) растворах гидрокарбоната натрия при температуре до 100 °С корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год [3]. По данным работы [1], при температуре 100 °С скорость коррозии сплавов возрастает до 0,5 мм/год.

Медь и медные сплавы. Медь, бронза, латунь в разбавленных (<10%) растворах гидрокарбоната натрия при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,1—0,5 мм/год [1, 3], при температуре кипения — нестойки [1, 46]. В деаэрированных растворах скорость коррозии таких металлов меньше. Латунь в растворах гидрокарбоната натрия могут подвергаться обесцинкованию.

Медноникелевые сплавы (20—30% Ni) в растворах гидрокарбоната натрия концентрацией менее 8% стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) до температуры кипения [45].

Алюминий в растворах гидрокарбоната натрия (<8%) при температуре до 50 °С отличается высокой стойкостью (скорость коррозии <0,01 мм/год), при 100 °С скорость коррозии увеличивается до 0,3 мм/год [1]. По данным работы [3], в таких растворах при обычной температуре алюминий корродирует со скоростью 0,1—0,5 мм/год, при 100 °С — со скоростью 0,5—1,3 мм/год.

Свинец в растворах гидрокарбоната натрия концентрацией до 8% стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) при комнатной температуре, при температуре 60 °С — нестойк [1]. По данным работы [3], в растворах гидрокарбоната натрия при 100 °С свинец корродирует со скоростью 0,5—1,3 мм/год.

Титан в растворах гидрокарбоната натрия концентрацией менее 30% сохраняет стойкость (скорость коррозии <0,05 мм/год) при температуре до 100 °С [3, 18].

Серебро стойко (скорость коррозии <0,05 мм/год) в растворах гидрокарбоната натрия концентрацией менее 20% при температуре до 100 °С. В более концентрированных растворах при обычной температуре скорость коррозии серебра 0,1—0,5 мм/год [3].

Другие металлы. Цирконий в растворах гидрокарбоната натрия концентрацией менее 20% стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) при температуре до 100 °С [3].

Тантал в разбавленных (10%) растворах гидрокарбоната натрия при температуре до 75 °С корродирует со скоростью менее 0,05 мм/год [3].

35.7. Квасцы — $M^I M^{III}(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$

Квасцы — двойные соли серной кислоты, образованные однозарядными катионами металла (или аммония) и трехзарядными катионами другого металла. Квасцы существуют только в твердом виде, а при растворении распадаются на катионы соответствующих металлов и анионы сульфата. Квасцы хорошо растворимы в воде. Растворимость алюмоаммонийных квасцов (в пересчете на безводную соль) составляет 7,2% (20 °C); 16,7% (50 °C); 52,3% (95 °C); алюмокалиевых квасцов — 5,6% (20 °C); 14,5% (50 °C); 60,6% (100 °C); хромокалиевых квасцов — 11,1% (25 °C); 18,9% (100 °C); хромонатриевых квасцов — 29% (25 °C).

Температуры кипения водных растворов квасцов повышаются незначительно. Так, раствор алюмокалиевых квасцов концентрацией 20% кипит при 100,8 °C; 33,3% — при 101,9 °C; 50% — при 105,2 °C.

В результате гидролиза водные растворы квасцов имеют кислую реакцию и на металлы при соответствующей концентрации действуют как разбавленные (до 10%) растворы серной кислоты [45]. В процессе коррозии на поверхности некоторых металлов (например, на свинце) образуются труднорастворимые солевые (сульфатные) пленки, защищающие металл от сильного разрушения.

Данные по коррозионной стойкости нержавеющей сталей в растворах квасцов при одинаковых условиях часто сильно различаются. Вероятно, это связано с нахождением сталей в активно-пассивном состоянии и переходом их из одного состояния в другое при незначительном изменении концентрации и температуры растворов.

35.7.1. Алюмоаммонийные квасцы — $NH_4Al(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$

Металлы и сплавы в растворах алюмоаммонийных квасцов обладают следующей стойкостью.

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X13—X25 в растворах алюмоаммонийных квасцов концентрацией до 45% стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) до температуры кипения [2, 180]. По данным работы [112], стали с 13—17% Cr при температуре кипения в насыщенном растворе корродируют со скоростью до 1 мм/год. Согласно работе [88], стали типа X13 в насыщенном растворе уже при температуре 93 °C нестойки.

Хромоникелевые стали типа X18N10T в растворах алюмоаммонийных квасцов концентрацией менее 45% стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [2, 180]. В насыщенном растворе такие стали стойки до 90 °C [88], при температуре кипения — нестойки [112].

Аустенитные хромоникелевые стали типа X17N13M2T и двухфазная аустенитно-ферритная сталь 08X21N6M2T в насыщенных растворах алюмоаммонийных квасцов остаются стойкими (скорость коррозии 0,1 мм/год) до температуры кипения [112].

Медь в растворах алюмоаммонийных квасцов концентрацией менее 45% стойка (скорость коррозии <0,2 мм/год) до температуры кипения [2, 180].

Свинец сохраняет стойкость (скорость коррозии <0,05 мм/год) в растворах концентрацией менее 45% до температуры кипения [2, 180].

Другие металлы. Алюминий нестойк в растворах алюмоаммонийных квасцов [2]. Согласно работе [180], алюминий стойк (скорость коррозии 0,2 мм/год) при комнатной температуре.

35.7.2. Алюмокалиевые квасцы — $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$

Области применения металлических материалов в растворах алюмокалиевых квасцов ориентировочно показаны на рис. 35.9.

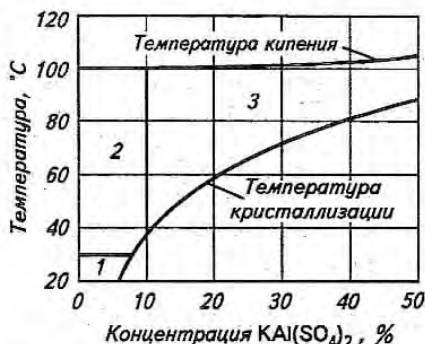


Рис. 35.9. Области применения металлических материалов в растворах алюмокалиевых квасцов:

1 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; никелевый чугун (нирезист); сталь типа Х17—Х28 (до 3%), Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т; 08Х21Н6М2Т; 08Х18Г8Н3М2Т; 10Х14Г14Н4Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; Н70МФВ-ВИ; Н65М-ВИ; ХН63МБ; ХН65МВУ; никель; монель-металл; медь; бронза; латунь; алюминий; свинец; сурьмянистый свинец; серебро; 2 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32 (до 50 °С); сталь типа Х18Н10Т (до 90 °С), Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т (до 90 °С); 08Х18Г8Н3М2Т, 10Х14Г14Н4Т (до 60 °С); сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; Н70МФВ-ВИ, Н65М-ВИ, ХН63МБ, ХН65МВУ (до 70 °С); никель (до 60 °С); медь, бронза, латунь (до 60—70 °С); алюминий (до 40—50 °С); свинец; сурьмянистый свинец; серебро; 3 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; серебро (до 70—90 °С)

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали в разбавленных (до 8%) растворах алюмокалиевых квасцов даже при комнатной температуре нестойки [1, 2].

Серые чугуны при комнатной температуре в растворах концентрацией менее 5% корродируют со скоростью до 1 мм/год, в более концентрированных растворах — нестойки [40].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) в любых растворах алюмокалиевых квасцов до температуры кипения [40, 46, 88].

Хромистые чугуны ЧХ28, ЧХ32 при обычной температуре стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) в любых растворах алюмокалиевых квасцов [40, 46], при 100 °С в разбавленных (10%) растворах — нестойки [40].

Никелевые чугуны (нирезисты) с 14—15% Ni стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) в разбавленных (до 5%) растворах алюмокалиевых квасцов при обычной температуре [10].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13, Х17 в очень разбавленных (<3—5%) растворах алюмокалиевых квасцов при температуре 90 °С корродируют со скоростью до 1 мм/год, стали типа Х25 — со скоростью до 0,5 мм/год [2, 88]. В растворах концентрацией до 10% при 20 °С стали типа Х13 нестойки, скорость коррозии сталей типа Х17 до 1 мм/год, сталей

типа Х25 — до 0,5 мм/год [1, 2, 88]. По данным работы [181], в 10%-ном растворе квасцов при 50—60 °С сталь 15Х25Т корродирует со скоростью менее 0,01 мм/год. В более концентрированных растворах при температуре кипения все хромистые стали нестойки [1, 2, 102].

Хромоникелевые аустенитные стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в растворах алюмокалиевых квасцов концентрацией менее 10% стойки до 90 °С (скорость коррозии 0,1 мм/год) [1, 2, 46]. При температуре кипения в таких растворах скорость коррозии сталей типа Х18Н10Т возрастает до 0,5—1 мм/год, сталей типа Х17Н13М2Т остается неизменной [46, 88, 112]. По данным работ [1, 2, 112], при температуре кипения в любых растворах обе группы сталей нестойки.

Двухфазные аустенитно-ферритные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т в разбавленных (<10%) растворах алюмокалиевых квасцов до температуры кипения сохраняют стойкость (скорость коррозии 0,1 мм/год) [1, 2] (по данным работы [112], нестойки).

Высоколегированные стали с марганцем 08Х18Г8Н3М2Т, 10Х14Г14Н4Т в разбавленных (<10%) растворах алюмокалиевых квасцов стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 60 °С [15, 181], при температуре кипения — нестойки [15].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ при температуре кипения в растворах алюмокалиевых квасцов концентрацией менее 10% корродируют со скоростью 0,1 мм/год [1, 2], в насыщенных растворах — со скоростью до 0,5 мм/год [2]. По данным справочника [40], в любых растворах квасцов при температуре кипения скорость коррозии сплавов 0,1 мм/год.

Никель и сплавы никеля. Никель в разбавленных (8%) растворах алюмокалиевых квасцов стоек (скорость коррозии 0,1 мм/год) при обычной температуре, при повышении температуры до 100 °С скорость коррозии возрастает до 1 мм/год [1, 46].

Монель-металл в таких растворах при обычной температуре удовлетворительно стоек (скорость коррозии <0,5 мм/год), при температуре 75 °С — нестойк [1]. По данным работы [40], в растворах алюмокалиевых квасцов при кипении никель и монель-металл корродируют со скоростью 0,1 мм/год.

Никельмолибденовые сплавы Н70МФВ, ХН65МВ в растворах концентрацией менее 10% при температуре до 75 °С обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии <0,5 мм/год), при температуре выше 100 °С скорость коррозии резко возрастает. Согласно справочным данным [40, 45], такие сплавы сохраняют стойкость (скорость коррозии 0,1 мм/год) до температуры кипения.

Медь и медные сплавы. Медь, бронзы в разбавленных (10%) растворах алюмокалиевых квасцов при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,5—1 мм/год [2]. Согласно данным справочника [40], в любых растворах алюмокалиевых квасцов до 100 °С скорость коррозии меди, оловянистых и кремнистых бронз не более 0,1 мм/год.

Латуни, содержащие 60—90% Cu, стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) в растворах алюмокалиевых квасцов при температуре до 100 °С [40].

Алюминий и его сплавы с кремнием, марганцем, магнием в растворах квасцов концентрацией до 10% можно применять (скорость коррозии 0,1 мм/год) при комнатной температуре [1, 2, 40, 46], при температуре 50 °С скорость коррозии алюминия увеличивается до 0,7 мм/год [40].

Свинец в разбавленных (10%) растворах алюмокалиевых квасцов при температуре ниже 100 °С корродирует со скоростью до 0,5 мм/год [1], сурьмянистый свинец — со скоростью 0,1 мм/год [45].

Другие металлы. Серебро стойко (скорость коррозии 0,1 мм/год) в любых растворах алюмокалиевых квасцов до температуры кипения [40]. По данным работ [1, 2], в разбавленных (10%) растворах при 100 °С скорость коррозии серебра 0,5—1 мм/год.

35.7.3. Хромокалиевые квасцы — $KCr(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$

Металлы и сплавы в растворах хромокалиевых квасцов обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали нестойки в растворах хромокалиевых квасцов при комнатной температуре [2].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 при обычной температуре обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии <1 мм/год) в растворах хромокалиевых квасцов [46].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13, Х17 в насыщенных растворах хромокалиевых квасцов при комнатной температуре корродируют со скоростью до 0,5 мм/год, стали типа Х25 — со скоростью до 0,1 мм/год [2]. При повышении температуры до 90 °С даже в разбавленных (6%) растворах стали типа Х13, Х17 нестойки [2, 112], стали типа Х25 — удовлетворительно стойки (скорость коррозии <0,5 мм/год) [2]. В растворе, насыщенном при температуре кипения, стали типа Х13, Х17 нестойки, стали типа Х25 корродируют со скоростью до 1 мм/год [2].

Хромоникелевые аустенитные стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в разбавленных и насыщенном (при 20 °С) растворах хромокалиевых квасцов стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) до температуры кипения [2, 112]. В растворе, насыщенном при температуре кипения, такие стали нестойки [2].

Двухфазные аустенитно-ферритные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) в насыщенном растворе при 20 °С [2, 112].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в растворе, насыщенном при температуре кипения, корродируют со скоростью 0,1 мм/год [2].

Никель и сплавы никеля. Никель удовлетворительно стоек (скорость коррозии <1 мм/год) в насыщенном при 20 °С растворе хромокалиевых квасцов, при температуре этого раствора до 100 °С — нестойк [2, 46].

Монель-металл можно применять в растворах хромокалиевых квасцов [46].

Алюминий в растворах хромокалиевых квасцов концентрацией менее 10% корродирует со скоростью до 0,5 мм/год [2, 46], в более концентрированных растворах — нестойк [2].

Титан стоек (скорость коррозии 0,1 мм/год) в любых растворах хромокалиевых квасцов до температуры кипения [83].

Другие металлы. Латуни нестойки в растворах хромокалиевых квасцов.

35.7.4. Хромонатриевые квасцы — $NaCr(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$

Высоколегированные стали в хромонатриевых квасцах обладают следующей стойкостью. Хромоникелевые аустенитные стали типа Х18Н10Т и двухфазная

аустенитно-ферритная сталь 08X22H6T в кислых растворах хромонатриевых квасцов при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год). При повышении температуры до 100 °С скорость коррозии стали 08X22H6T превышает 4 мм/год, сталей типа X18H10T возрастает до 1 мм/год, сталей типа X17H13M2T — до 0,2 мм/год [15].

35.8. Нитраты — MNO_3

Азотнокислые соли хорошо растворимы в воде. Растворимость нитрата аммония при 20 °С составляет 64%, при 50 °С — 77,6%, при 130 °С — 95,6%. Раствор нитрата аммония концентрацией 50% кипит при температуре 108 °С; 70% — при 119 °С; 90% — при 147 °С; 99% — при 222 °С. При такой температуре раствор нитрата аммония концентрацией 98—99% представляет собой расплавленную массу (плав). Температура плавления чистого нитрата аммония 169,6 °С, температура кипения 235 °С.

Растворимость нитрата калия при 20 °С составляет 24,1%, при 50 °С — 46,1%, при 100 °С — 70,9%. Насыщенный раствор нитрата калия концентрацией 77,2% кипит при 118 °С.

Растворимость нитрата кальция при 20 °С составляет 56,2%, при 50 °С — 73,7%, при 100 °С — 78,4%. Насыщенный раствор концентрацией около 79% кипит при 151 °С.

Растворимость нитрата натрия при 20 °С составляет 46,7%, при 50 °С — 53,3%, при 100 °С — 63,8%. Насыщенный раствор концентрацией 68,9% кипит при 120 °С.

Нитраты легко отщепляют кислород и при высокой температуре являются сильными окислителями, но в водных растворах они почти не проявляют окислительных свойств. Лишь в сильноокислой среде нитраты окисляют катионы Fe^{2+} до Fe^{3+} , восстанавливаясь до NO. Водные растворы нитрата аммония имеют кислую реакцию.

Коррозионное поведение металлов и сплавов в растворах нитратов натрия и калия различается мало, и при необходимости можно использовать данные для обоих растворов.

В растворах нитратов аммония, кальция, натрия при действии растягивающих напряжений углеродистые стали подвержены коррозионному растрескиванию. Особенно сильное агрессивное действие оказывают концентрированные смеси растворов нитратов кальция и аммония, а также растворы нитрата аммония концентрацией 60—95% при кипении [5].

35.8.1. Аммония нитрат (аммонийная селитра) — NH_4NO_3

Области применения металлических материалов в растворах нитрата аммония ориентировочно показаны на рис. 35.10.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии до 1 мм/год) в разбавленных (<10%) и концентрированных (>60%) растворах нитрата аммония. При нормальной температуре скорость коррозии стали Ст3 при увеличении концентрации от 10 до 60% возрастает, достигая максимума 2,2 мм/год при 40%, а затем снижается [36]. С повышением температуры указанный максимум сдвигается в сторону меньших концентраций. При 20 °С в растворах концентрацией до 64% углеродистые стали

корродируют со скоростью 0,6—0,8 мм/год [1], при 90 °С в 10 и 75%-ных растворах — со скоростью 0,5—1 мм/год, в насыщенном кипящем растворе — нестойки [2]. По данным работы [3], в растворах концентрацией менее 50% при pH > 7 углеродистые стали стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год).

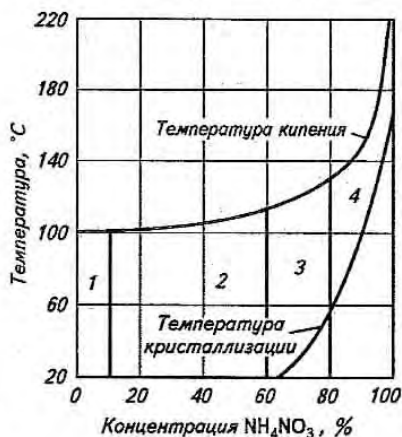


Рис. 35.10. Области применения металлических материалов в растворах нитрата аммония:

1 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; никелевый (14—32% Ni) чугун (до 30 °С); сталь типа X13—X28, X18N10T, X17N13M2T; стали 08X22H6T; 08X21H6M2T; сплавы 06XН28МДТ; 03XН28МДТ; ХН65МВ; ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ; алюминий; титан; цирконий; тантал; серебро (до 60—80 °С); платина; 2 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; сталь типа X17—X28, X18N10T, X17N13M2T; стали 08X22H6T; 08X21H6M2T; сплавы 06XН28МДТ; 03XН28МДТ; ХН65МВ, ХН65МВУ, Н70МФВ-ВИ (до 40%); алюминий; титан; цирконий (до 50%, 100 °С); тантал; серебро (до 50%, 50 °С); платина; 3 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; сталь типа X17—X28, X18N10T, X17N13M2T; стали 08X22H6T; 08X21H6M2T; алюминий; титан (до 70%, 70 °С); тантал; платина; 4 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17 (до 90%); сталь типа X17—X28 (до 90%, 100 °С); X18N10T, X17N13M2T (до 90%); алюминий; тантал (до 150 °С); платина (до 210 °С)

Серые чугуны по коррозионной стойкости мало отличаются от углеродистых сталей. В растворах нитрата аммония с увеличением концентрации до 64% при 20 °С скорость коррозии возрастает от 0,2 до 1,3 мм/год [1]. Однако даже в разбавленном (5%) растворе она может превышать 0,7 мм/год [10].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 при обычной температуре обладают высокой стойкостью (скорость коррозии <0,01 мм/год) в растворах концентрацией до 65% [46, 88]. С повышением температуры скорость коррозии возрастает и в кипящем 62%-ном растворе увеличивается до 0,1 мм/год, в более концентрированном (91%) растворе — до 1 мм/год [88]. По данным работы [3], в любых растворах нитрата аммония кремнистые чугуны остаются стойкими (скорость коррозии <0,05 мм/год) при температуре до 200 °С.

Хромистые чугуны в растворах нитрата аммония сохраняют стойкость до температуры кипения. В растворе концентрацией 50—65% при температуре кипения скорость коррозии чугунов ЧХ28, ЧХ32 менее 0,1 мм/год [4, 46, 88].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) при обычной температуре в разбавленных (10%) растворах нитрата аммония стойки (скорость коррозии <0,5 мм/год),

в растворах концентрацией до 20% — нестойки [3]. Никелевые чугуны (нирезисты) с 14—15% Ni в разбавленных (до 5%) растворах при обычной температуре корродируют со скоростью менее 0,025 мм/год [4] (по данным работы [10], до 0,25 мм/год).

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X13 в растворах нитрата аммония концентрацией до 64% стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры 80 °С, стали типа X17, X25 — до 125 °С [12]. При температуре кипения стали типа X13 в растворах концентрацией до 64% корродируют со скоростью 0,3—0,4 мм/год [1], в 91%-ном растворе — со скоростью менее 1 мм/год [46]. Хромистые стали типа X17—X28 корродируют со скоростью 0,1 мм/год в растворах концентрацией до 90% при 100 °С [46], концентрацией 50—80% — при температуре кипения [1, 17].

Хромоникелевые стали типа X18N10T, X17N13M2T в растворах нитрата аммония концентрацией до 90% стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) до температуры кипения [46, 88].

Двухфазные стали 08X22N6T, 08X21N6M2T сохраняют стойкость (скорость коррозии 0,1 мм/год) при температуре кипения в растворах концентрацией до 60—80% [1, 15, 112].

Высоколегированная сталь с марганцем 08X18Г8Н3М2Т в кипящем насыщенном растворе корродирует со скоростью 0,1 мм/год, сталь 10X14Г14Н4Т — со скоростью 0,5 мм/год [2, 46].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год) в растворах концентрацией менее 64% до температуры кипения [1, 2].

Никель и сплавы никеля. Никель в растворах нитрата аммония концентрацией до 64% стоек (скорость коррозии 0,1 мм/год) при нормальной температуре [1], при 100 °С — нестойк [2, 21, 25].

Никельмолибденовые сплавы типа Н70МФВ, ХН65МВ в растворах нитрата аммония концентрацией менее 40% при температуре до 100 °С удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Монель-металлы в растворах азотнокислого аммония нестойки при нормальной температуре [3, 61].

Алюминий отличается высокой стойкостью в растворах нитрата аммония. В насыщенном растворе при 20 °С скорость коррозии алюминия менее 0,01 мм/год, при температуре кипения — 0,1 мм/год [2]. В кипящих растворах концентрацией до 64% скорость коррозии алюминия менее 0,01 мм/год [1]. По данным работы [3], алюминий в любых растворах нитрата аммония удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) до температуры 210 °С. В расплаве нитрата аммония при 180 °С алюминий корродирует со скоростью 0,005 мм/год [4].

Сплавы алюминия с магнием и марганцем стойки (скорость коррозии <0,02 мм/год) в растворах концентрацией до 50% при 50 °С [61, 182]. При повышении температуры возможно локальное разрушение сплавов [182].

Титан и сплавы титана. Титан обладает высокой стойкостью (скорость коррозии <0,01 мм/год) в растворах нитрата аммония концентрацией до 70% при 70 °С [1, 2] и концентрацией до 64% при температуре кипения (скорость коррозии <0,05 мм/год) [1, 39].

Титан, легированный молибденом (сплав 4201), в кислом (0,5% HNO_3) 80%-ном растворе нитрата аммония при 115 °С корродирует со скоростью 0,003 мм/год [39].

Серебро в растворах азотнокислого аммония концентрацией до 64% в интервале температур от 20 °С до температуры кипения подвергается коррозии со скоростью 0,1–3 мм/год [1]. В растворах концентрацией менее 50%, не содержащих азотную кислоту, серебро стойко (скорость коррозии <0,05 мм/год) до температуры 50 °С [3].

Другие металлы. Тантал стоек в любых растворах нитрата аммония при температуре до 150 °С, платина — до 210 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3], а также в растворах концентрацией до 64% при температуре кипения [1, 83].

Цирконий в растворах концентрацией до 50% стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) при температуре до 100 °С [3].

Медь, бронза, латунь, свинец нестойки в растворах азотнокислого аммония при нормальной температуре [1, 3, 46, 61].

35.8.2. Калия нитрат (калийная селитра) — KNO_3

Области применения металлических материалов в растворах нитрата калия ориентировочно показаны на рис. 35.11.



Рис. 35.11. Области применения металлических материалов в растворах нитрата калия:

1 — углеродистая сталь, серый чугун (до 30 °С); кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; никелевый чугун (14–32% Ni); сталь типа X13–X28, X18H10T, X17H13M2T; стали 08X22H6T; 08X21H6M2T; 08X18Г8H3M2T; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН65МВ; ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металл (до 60 °С); медь, бронза, латунь (до 60–80 °С); алюминий; свинец (до 30 °С); титан; тантал; серебро; платина; 2 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; никелевый чугун (14–32% Ni); сталь типа X17–X28, X18H10T, X17H13M2T; стали 08X22H6T; 08X21H6M2T; 08X18Г8H3M2T; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН65МВ, ХН65МВУ (до 80 °С); Н70МФВ-ВИ (до 100 °С); медь, латунь (до 60–80 °С); алюминий; свинец (до 40%, 30 °С); титан (до 100 °С); тантал; серебро; платина; 3 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17 (до 100 °С); никелевый (14–32% Ni) чугун (до 100 °С); сталь типа X17–X28; типа X18H10T, X17H13M2T (до 80–100 °С); сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ (до 100 °С); ХН65МВ, ХН65МВУ (до 80 °С); Н70МФВ-ВИ (до 100 °С); медь, латунь (до 60–80 °С); алюминий (до 100 °С); титан (до 100 °С); тантал; серебро; платина

Углеродистые стали и серые чугуны стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) в растворах нитрата калия концентрацией до 24% только при нормальной температуре, при 100 °С углеродистые стали нестойки [1]. По данным работы [3] в любых растворах нитрата калия при температуре до 100 °С углеродистые стали (при $\text{pH} > 7$) и серые чугуны корродируют со скоростью 0,1–0,5 мм/год.

В твердой соли и ее расплавах углеродистые стали стойки (скорость коррозии $< 0,05$ мм/год) при температуре до 350°C [3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в любых растворах нитрата калия при температуре до 100°C сохраняют высокую стойкость (скорость коррозии $< 0,05$ мм/год) [3].

Хромистые чугуны ЧХ28, ЧХ32 в растворах концентрацией до 24% при температуре кипения корродируют со скоростью менее $0,1$ мм/год [88] (по другим данным [4] — до 2 мм/год).

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в любых растворах нитрата калия обладают высокой стойкостью (скорость коррозии $< 0,05$ мм/год) при температуре до 100°C [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13 в растворах нитрата калия концентрацией менее 24% стойки (скорость коррозии $0,1$ мм/год) до температуры кипения [1], в более концентрированных растворах и в расплавах — нестойки [2, 4]. Хромистые стали типа Х17—Х28 при температуре кипения стойки (скорость коррозии $0,1$ мм/год) в растворах нитрата калия любой концентрации [2, 43].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т при температуре кипения стойки (скорость коррозии $0,1$ мм/год) в растворах концентрацией до 25—50% [1, 43, 88, 150]. Согласно работам [2, 3, 112], в любых растворах до температуры кипения такие стали удовлетворительно стойки (скорость коррозии $0,1$ — $0,5$ мм/год). В твердой соли и ее расплавах хромоникелевые стали стойки (скорость коррозии $< 0,05$ мм/год) при температуре до 300°C [3].

Двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т сохраняют стойкость (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год) при температуре кипения в растворах концентрацией до 50% [2, 15].

Высоколегированная сталь с марганцем 08Х18Г8Н3М2Т в кипящих растворах нитрата калия концентрацией до 50% корродирует со скоростью менее $0,1$ мм/год [2, 15].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ стойки (скорость коррозии $0,05$ — $0,1$ мм/год) при температуре кипения в любых растворах нитрата калия [2] (по данным работы [3], скорость коррозии $0,1$ — $0,5$ мм/год).

Никель и сплавы никеля. Никель в растворах нитрата калия концентрацией менее 24% стоек до 100°C (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год) [1, 2, 43, 46]. Монель-металл в растворах концентрацией менее 24% стоек (скорость коррозии $0,1$ мм/год) при температуре до 60°C , при 100°C скорость коррозии возрастает до 1 мм/год [1]. Согласно работе [3], никель и монель-металл в любых деаэрированных растворах нитрата калия при температуре до 100°C корродируют со скоростью $0,1$ — $0,5$ мм/год.

Никельмолибденовый сплав Н70МФВ сохраняет стойкость (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год) в любых растворах нитрата калия при температуре до 100°C [1]. Сплавы типа ХН65МВ в любых растворах нитрата калия при температуре до 100°C обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии $0,1$ — $0,5$ мм/год) [3].

Медь и медные сплавы. Медь, латунь в любых растворах нитрата калия при температуре до 100°C обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии $0,1$ — $0,5$ мм/год). В твердой соли при обычной температуре эти металлы стойки (скорость коррозии $< 0,05$ мм/год) [3]. Бронза в растворах концентрацией менее 24% при температуре ниже 100°C корродирует со скоростью $0,1$ — $0,5$ мм/год [1].

35.7.2. Алюмокалиевые квасцы — $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$

Области применения металлических материалов в растворах алюмокалиевых квасцов ориентировочно показаны на рис. 35.9.

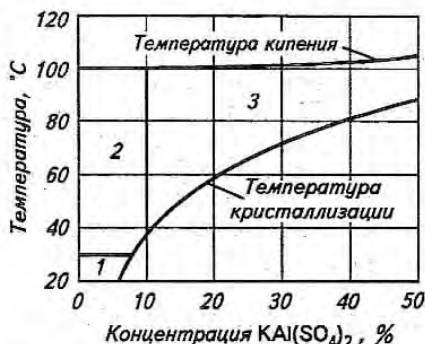


Рис. 35.9. Области применения металлических материалов в растворах алюмокалиевых квасцов:

1 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; никелевый чугун (нирезист); сталь типа Х17—Х28 (до 3%), Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т; 08Х21Н6М2Т; 08Х18Г8Н3М2Т; 10Х14Г14Н4Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; Н70МФВ-ВИ; Н65М-ВИ; ХН63МБ; ХН65МВУ; никель; монель-металл; медь; бронза; латунь; алюминий; свинец; сурьмянистый свинец; серебро; 2 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32 (до 50 °С); сталь типа Х18Н10Т (до 90 °С), Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т (до 90 °С); 08Х18Г8Н3М2Т, 10Х14Г14Н4Т (до 60 °С); сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; Н70МФВ-ВИ, Н65М-ВИ, ХН63МБ, ХН65МВУ (до 70 °С); никель (до 60 °С); медь, бронза, латунь (до 60—70 °С); алюминий (до 40—50 °С); свинец; сурьмянистый свинец; серебро; 3 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; серебро (до 70—90 °С)

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали в разбавленных (до 8%) растворах алюмокалиевых квасцов даже при комнатной температуре нестойки [1, 2].

Серые чугуны при комнатной температуре в растворах концентрацией менее 5% корродируют со скоростью до 1 мм/год, в более концентрированных растворах — нестойки [40].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) в любых растворах алюмокалиевых квасцов до температуры кипения [40, 46, 88].

Хромистые чугуны ЧХ28, ЧХ32 при обычной температуре стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) в любых растворах алюмокалиевых квасцов [40, 46], при 100 °С в разбавленных (10%) растворах — нестойки [40].

Никелевые чугуны (нирезисты) с 14—15% Ni стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) в разбавленных (до 5%) растворах алюмокалиевых квасцов при обычной температуре [10].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13, Х17 в очень разбавленных (<3—5%) растворах алюмокалиевых квасцов при температуре 90 °С корродируют со скоростью до 1 мм/год, стали типа Х25 — со скоростью до 0,5 мм/год [2, 88]. В растворах концентрацией до 10% при 20 °С стали типа Х13 нестойки, скорость коррозии сталей типа Х17 до 1 мм/год, сталей

Свинец в разбавленных (10%) растворах алюмокалиевых квасцов при температуре ниже 100 °С корродирует со скоростью до 0,5 мм/год [1], сурьмянистый свинец — со скоростью 0,1 мм/год [45].

Другие металлы. Серебро стойко (скорость коррозии 0,1 мм/год) в любых растворах алюмокалиевых квасцов до температуры кипения [40]. По данным работ [1, 2], в разбавленных (10%) растворах при 100 °С скорость коррозии серебра 0,5—1 мм/год.

35.7.3. Хромокалиевые квасцы — $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$

Металлы и сплавы в растворах хромокалиевых квасцов обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали нестойки в растворах хромокалиевых квасцов при комнатной температуре [2].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 при обычной температуре обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии <1 мм/год) в растворах хромокалиевых квасцов [46].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13, Х17 в насыщенных растворах хромокалиевых квасцов при комнатной температуре корродируют со скоростью до 0,5 мм/год, стали типа Х25 — со скоростью до 0,1 мм/год [2]. При повышении температуры до 90 °С даже в разбавленных (6%) растворах стали типа Х13, Х17 нестойки [2, 112], стали типа Х25 — удовлетворительно стойки (скорость коррозии <0,5 мм/год) [2]. В растворе, насыщенном при температуре кипения, стали типа Х13, Х17 нестойки, стали типа Х25 корродируют со скоростью до 1 мм/год [2].

Хромоникелевые аустенитные стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в разбавленных и насыщенном (при 20 °С) растворах хромокалиевых квасцов стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) до температуры кипения [2, 112]. В растворе, насыщенном при температуре кипения, такие стали нестойки [2].

Двухфазные аустенитно-ферритные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) в насыщенном растворе при 20 °С [2, 112].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в растворе, насыщенном при температуре кипения, корродируют со скоростью 0,1 мм/год [2].

Никель и сплавы никеля. Никель удовлетворительно стоек (скорость коррозии <1 мм/год) в насыщенном при 20 °С растворе хромокалиевых квасцов, при температуре этого раствора до 100 °С — нестойк [2, 46].

Монель-металл можно применять в растворах хромокалиевых квасцов [46].

Алюминий в растворах хромокалиевых квасцов концентрацией менее 10% корродирует со скоростью до 0,5 мм/год [2, 46], в более концентрированных растворах — нестойк [2].

Титан стоек (скорость коррозии 0,1 мм/год) в любых растворах хромокалиевых квасцов до температуры кипения [83].

Другие металлы. Латунь нестойка в растворах хромокалиевых квасцов.

35.7.4. Хромонатриевые квасцы — $\text{NaCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$

Высоколегированные стали в хромонатриевых квасцах обладают следующей стойкостью. Хромоникелевые аустенитные стали типа Х18Н10Т и двухфазная

корродируют со скоростью 0,6—0,8 мм/год [1], при 90 °С в 10 и 75%-ных растворах — со скоростью 0,5—1 мм/год, в насыщенном кипящем растворе — нестойки [2]. По данным работы [3], в растворах концентрацией менее 50% при pH > 7 углеродистые стали стойки до 100 °С (скорость коррозии < 0,05 мм/год).

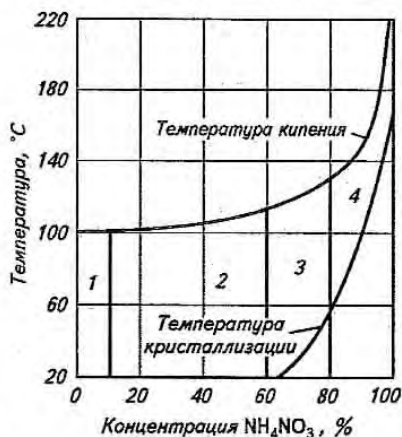


Рис. 35.10. Области применения металлических материалов в растворах нитрата аммония:

1 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; никелевый (14—32% Ni) чугун (до 30 °С); сталь типа X13—X28, X18N10T, X17N13M2T; стали 08X22H6T; 08X21H6M2T; сплавы 06XН28МДТ; 03XН28МДТ; ХН65МВ; ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ; алюминий; титан; цирконий; тантал; серебро (до 60—80 °С); платина; 2 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; сталь типа X17—X28, X18N10T, X17N13M2T; стали 08X22H6T; 08X21H6M2T; сплавы 06XН28МДТ; 03XН28МДТ; ХН65МВ, ХН65МВУ, Н70МФВ-ВИ (до 40%); алюминий; титан; цирконий (до 50%, 100 °С); тантал; серебро (до 50%, 50 °С); платина; 3 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; сталь типа X17—X28, X18N10T, X17N13M2T; стали 08X22H6T; 08X21H6M2T; алюминий; титан (до 70%, 70 °С); тантал; платина; 4 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17 (до 90%); сталь типа X17—X28 (до 90%, 100 °С); X18N10T, X17N13M2T (до 90%); алюминий; тантал (до 150 °С); платина (до 210 °С)

Серые чугуны по коррозионной стойкости мало отличаются от углеродистых сталей. В растворах нитрата аммония с увеличением концентрации до 64% при 20 °С скорость коррозии возрастает от 0,2 до 1,3 мм/год [1]. Однако даже в разбавленном (5%) растворе она может превышать 0,7 мм/год [10].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 при обычной температуре обладают высокой стойкостью (скорость коррозии < 0,01 мм/год) в растворах концентрацией до 65% [46, 88]. С повышением температуры скорость коррозии возрастает и в кипящем 62%-ном растворе увеличивается до 0,1 мм/год, в более концентрированном (91%) растворе — до 1 мм/год [88]. По данным работы [3], в любых растворах нитрата аммония кремнистые чугуны остаются стойкими (скорость коррозии < 0,05 мм/год) при температуре до 200 °С.

Хромистые чугуны в растворах нитрата аммония сохраняют стойкость до температуры кипения. В растворе концентрацией 50—65% при температуре кипения скорость коррозии чугунов ЧХ28, ЧХ32 менее 0,1 мм/год [4, 46, 88].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) при обычной температуре в разбавленных (10%) растворах нитрата аммония стойки (скорость коррозии < 0,5 мм/год),

Титан, легированный молибденом (сплав 4201), в кислом (0,5% HNO_3) 80%-ном растворе нитрата аммония при 115 °С корродирует со скоростью 0,003 мм/год [39].

Серебро в растворах азотнокислого аммония концентрацией до 64% в интервале температур от 20 °С до температуры кипения подвергается коррозии со скоростью 0,1—3 мм/год [1]. В растворах концентрацией менее 50%, не содержащих азотную кислоту, серебро стойко (скорость коррозии <0,05 мм/год) до температуры 50 °С [3].

Другие металлы. Тантал стоек в любых растворах нитрата аммония при температуре до 150 °С, платина — до 210 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3], а также в растворах концентрацией до 64% при температуре кипения [1, 83].

Цирконий в растворах концентрацией до 50% стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) при температуре до 100 °С [3].

Медь, бронза, латунь, свинец нестойки в растворах азотнокислого аммония при нормальной температуре [1, 3, 46, 61].

35.8.2. Калия нитрат (калийная селитра) — KNO_3

Области применения металлических материалов в растворах нитрата калия ориентировочно показаны на рис. 35.11.

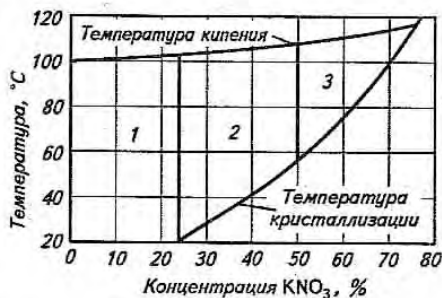


Рис. 35.11. Области применения металлических материалов в растворах нитрата калия:

1 — углеродистая сталь, серый чугун (до 30 °С); кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа X13—X28, X18N10T, X17N13M2T; стали 08X22N6T; 08X21N6M2T; 08X18Г8НЗМ2Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН65МВ; ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металл (до 60 °С); медь, бронза, латунь (до 60—80 °С); алюминий; свинец (до 30 °С); титан; тантал; серебро; платина; 2 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа X17—X28, X18N10T, X17N13M2T; стали 08X22N6T; 08X21N6M2T; 08X18Г8НЗМ2Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН65МВ, ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ (до 100 °С); медь, латунь (до 60—80 °С); алюминий; свинец (до 40%, 30 °С); титан (до 100 °С); тантал; серебро; платина; 3 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17 (до 100 °С); никелевый (14—32% Ni) чугун (до 100 °С); сталь типа X17—X28; типа X18N10T, X17N13M2T (до 80—100 °С); сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ (до 100 °С); ХН65МВ, ХН65МВУ (до 80 °С); Н70МФВ-ВИ (до 100 °С); медь, латунь (до 60—80 °С); алюминий (до 100 °С); титан (до 100 °С); тантал; серебро; платина

Углеродистые стали и серые чугуны стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) в растворах нитрата калия концентрацией до 24% только при нормальной температуре, при 100 °С углеродистые стали нестойки [1]. По данным работы [3] в любых растворах нитрата калия при температуре до 100 °С углеродистые стали (при $\text{pH} > 7$) и серые чугуны корродируют со скоростью 0,1—0,5 мм/год.

Медноникелевые сплавы при обычной температуре обладают большой стойкостью. Скорость коррозии мельхиора МН19 в 10%-ном растворе нитрата калия при 20 °С менее 0,001 мм/год [1, 43, 46].

Алюминий в любых растворах нитрата калия при температуре до 100 °С стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год). В твердой соли и ее расплавах алюминий стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) при температуре до 350 °С [3].

Сплавы алюминия с кремнием, марганцем, магнием обладают стойкостью (скорость коррозии <0,1 мм/год) в разбавленных (<24%) растворах до 100 °С [1, 46]. Согласно работам [46, 61], такая стойкость сохраняется только при нормальной температуре, а повышение температуры до 100 °С может увеличить скорость коррозии до 0,5 мм/год [43, 46].

Свинец в растворах нитрата калия концентрацией менее 24% при обычной температуре стоек (скорость коррозии 0,1 мм/год), при 100 °С — нестойк [1]. В растворах концентрацией до 40% при обычной температуре скорость коррозии свинца 0,1—0,5 мм/год [3]. Причем в насыщенных растворах скорость коррозии меньше, чем в разбавленных растворах.

Титан в растворах нитрата калия концентрацией менее 24% стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [1], в более концентрированных растворах — до 100 °С [3, 39].

Другие металлы. Тантал, серебро, платина обладают высокой стойкостью в растворах азотнокислого калия до температуры кипения [1, 3, 46].

35.8.3. Кальция нитрат (кальциевая селитра) — $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$

Области применения металлических материалов в растворах нитрата кальция ориентировочно показаны на рис. 35.12.

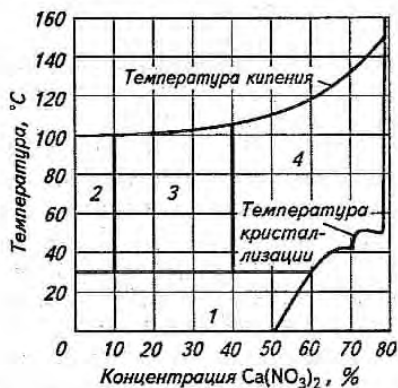


Рис. 35.12. Области применения металлических материалов в растворах нитрата кальция:

1 — углеродистая сталь, серый чугун; кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; сталь типа Х13—Х28, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т; 08Х21Н6М2Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН65МВ; ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металл (до 60 °С); медь; бронза; алюминий; титан; серебро; 2 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; сталь типа Х13—Х28, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т; 08Х21Н6М2Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН65МВ; ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ (до 100 °С); медь; латунь; алюминий; титан; серебро; 3 — сталь типа Х17—Х28, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; алюминий (до 100 °С); титан (до 100 °С); серебро (до 100 °С); 4 — сталь типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т (до 80—100 °С); алюминий (до 50%, 100 °С)

Медноникелевые сплавы при обычной температуре обладают большой стойкостью. Скорость коррозии мельхиора МН19 в 10%-ном растворе нитрата калия при 20 °С менее 0,001 мм/год [1, 43, 46].

Алюминий в любых растворах нитрата калия при температуре до 100 °С стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год). В твердой соли и ее расплавах алюминий стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) при температуре до 350 °С [3].

Сплавы алюминия с кремнием, марганцем, магнием обладают стойкостью (скорость коррозии <0,1 мм/год) в разбавленных (<24%) растворах до 100 °С [1, 46]. Согласно работам [46, 61], такая стойкость сохраняется только при нормальной температуре, а повышение температуры до 100 °С может увеличить скорость коррозии до 0,5 мм/год [43, 46].

Свинец в растворах нитрата калия концентрацией менее 24% при обычной температуре стоек (скорость коррозии 0,1 мм/год), при 100 °С — нестойк [1]. В растворах концентрацией до 40% при обычной температуре скорость коррозии свинца 0,1—0,5 мм/год [3]. Причем в насыщенных растворах скорость коррозии меньше, чем в разбавленных растворах.

Титан в растворах нитрата калия концентрацией менее 24% стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [1], в более концентрированных растворах — до 100 °С [3, 39].

Другие металлы. Тантал, серебро, платина обладают высокой стойкостью в растворах азотнокислого калия до температуры кипения [1, 3, 46].

35.8.3. Кальция нитрат (кальциевая селитра) — $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$

Области применения металлических материалов в растворах нитрата кальция ориентировочно показаны на рис. 35.12.

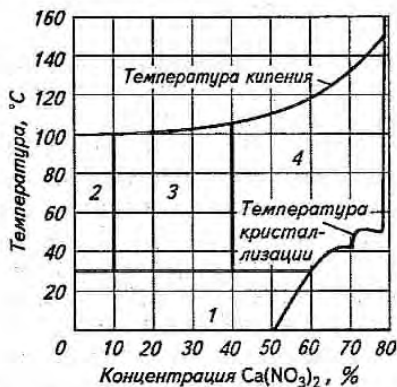


Рис. 35.12. Области применения металлических материалов в растворах нитрата кальция:

1 — углеродистая сталь, серый чугун, кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; сталь типа Х13—Х28, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т; 08Х21Н6М2Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН65МВ; ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металлы (до 60 °С); медь; бронза; алюминий; титан; серебро; 2 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; сталь типа Х13—Х28, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т; 08Х21Н6М2Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН65МВ; ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ (до 100 °С); медь; латунь; алюминий; титан; серебро; 3 — сталь типа Х17—Х28, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ; алюминий (до 100 °С); титан (до 100 °С); серебро (до 100 °С); 4 — сталь типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т (до 80—100 °С); алюминий (до 50%, 100 °С)

Углеродистые стали и серые чугуны при нормальной температуре обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии $<0,5$ мм/год) в растворах нитрата кальция концентрацией до 56% [1, 2]. При температуре до 100°C стали и чугуны удовлетворительно стойки в разбавленных ($<20\%$) растворах [3], в более концентрированных растворах — нестойки [1, 2].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 при нормальной температуре обладают стойкостью (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) в растворах азотнокислого кальция концентрацией до 56% [1]. В разбавленных ($<10\%$) растворах такие чугуны стойки (скорость коррозии $0,1-0,5$ мм/год) при температуре до 100°C [3].

Высоколегированные стали, как хромистые (типа Х13—Х28), так и хромоникелевые (типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т), при температуре до 100°C стойки (скорость коррозии $0,1$ мм/год) в растворах нитрата кальция концентрацией менее 56% [1] (по данным работ [2, 112], и в насыщенных растворах).

Нержавеющие стали с пониженным содержанием никеля (14Х17Н2, 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т) стойки (скорость коррозии $0,1$ мм/год) в растворах нитрата кальция концентрацией менее 56% при обычной температуре [112].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в насыщенных растворах нитрата кальция стойки (скорость коррозии $0,01-0,05$ мм/год) при температуре до 100°C [2]. По данным работы [3], в растворах концентрацией $10-40\%$ при 100°C скорость коррозии сплавов $0,1-0,5$ мм/год.

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл в растворах нитрата кальция концентрацией до 56% при обычной температуре стойки (скорость коррозии $0,1$ мм/год), с повышением температуры скорость коррозии увеличивается до 1 мм/год и более [1, 2]. В растворах концентрацией $10-40\%$ при 100°C скорость коррозии составляет $0,1-0,5$ мм/год [3].

Никельмолибденовый сплав Н70МФВ при нормальной температуре стоек (скорость коррозии $0,1$ мм/год) в растворах азотнокислого кальция до 56% [1]. В разбавленных (10%) растворах сплавы типа Н70МФВ, ХН65МВ удовлетворительно стойки (скорость коррозии $0,1-0,5$ мм/год) при температуре до 100°C [3].

Медь и медные сплавы. Медь и оловянистые бронзы применимы (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) в растворах азотнокислого кальция концентрацией менее 56% только при нормальной температуре [1], при 100°C — нестойки [1, 2]. Алюминиевые бронзы в этих условиях сохраняют стойкость (скорость коррозии $0,1$ мм/год) [1]. Латунь в разбавленных (10%) растворах удовлетворительно стойки до 100°C (скорость коррозии $0,05-0,5$ мм/год) [3].

Алюминий и его сплавы с кремнием, марганцем, магнием обладают стойкостью (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) в растворах нитрата кальция концентрацией менее 56% при температуре до 100°C [1, 2, 21]. По данным работы [3], в растворах концентрацией $10-40\%$ при 100°C скорость коррозии алюминия $0,1-0,5$ мм/год.

Другие металлы. Титан, серебро при температуре 100°C стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) в растворах азотнокислого кальция концентрацией до 56% [1, 2, 39]. По данным работы [3], в растворах концентрацией $10-40\%$ при 100°C скорость коррозии серебра $0,1-0,5$ мм/год.

Свинец в разбавленных (10%) растворах нитрата кальция нестойк при обычной температуре [3].

35.8.4. Натрия нитрат (натриевая селитра) — NaNO_3

Области применения металлических материалов в нитрате натрия ориентировочно показаны на рис. 35.13.

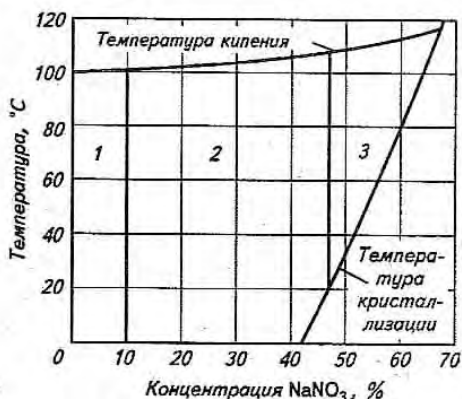


Рис. 35.13. Области применения металлических материалов в растворах нитрата натрия:

1 — углеродистая сталь; серый чугун; кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа X13—X28, X18N10T, X17N13M2T; стали 08X22H6T; 08X21H6M2T; 08X18Г8НЗМ2T; 10X14Г14Н4T; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН65МВ; ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металл; медь; бронза; мельхиор; алюминий; титан; тантал; серебро; платина; золото; 2 — углеродистая сталь; серый чугун; кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа X13—X28, X18N10T, X17N13M2T; стали 08X22H6T; 08X21H6M2T; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН65МВ, ХН65МВУ (до 80 °С); Н70МФВ-ВИ (до 100 °С); никель; монель-металл (до 60 °С); медь, бронза (до 60—80 °С); мельхиор (до 100 °С); алюминий (до 100 °С); титан (до 100 °С); тантал; серебро; платина; золото; 3 — углеродистая сталь, серый чугун (до 50 °С); кремнистый чугун ЧС15, ЧС17 (до 100 °С); никелевый (14—32% Ni) чугун (до 100 °С); сталь типа X17—X28; типа X18N10T, X17N13M2T (до 100 °С); стали 08X22H6T, 08X21H6M2T (до 100 °С); сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ (до 100 °С); ХН65МВ, ХН65МВУ (до 80 °С); Н70МФВ-ВИ (до 100 °С); мельхиор (до 80—100 °С); алюминий (до 100 °С); титан (до 100 °С); тантал; серебро; платина; золото

Углеродистые стали и серые чугуны в растворах нитрата натрия концентрацией до 47% при температуре кипения стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год). В насыщенных растворах при температуре 100—115 °С углеродистые стали нестойки [1]. Согласно работе [3], углеродистые стали и серые чугуны при температуре до 50 °С остаются стойкими (скорость коррозии <0,05 мм/год) в любых растворах нитрата натрия, при 70—80 °С скорость коррозии возрастает до 0,1—0,5 мм/год, при 100 °С — до 0,5—1,3 мм/год.

В твердой соли и ее расплавах углеродистые стали удовлетворительно стойки (скорость коррозии <0,5 мм/год) до температуры 510 °С. Серые чугуны в твердой соли при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,1—0,5 мм/год [3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС15М4 и др. обладают высокой стойкостью (скорость коррозии <0,05 мм/год) в любых растворах нитрата натрия и в твердой соли до температуры 100 °С [1, 3, 61].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в любых растворах нитрата натрия сохраняют высокую стойкость (скорость коррозии <0,05 мм/год) при температуре до 100 °С [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X13—X28 до температуры кипения стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) в растворах нитрата натрия концентрацией менее 47% [1, 4] (по данным работ [2, 112], в растворах любой концентрации). Стали типа X17, X25 стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) в насыщенный растворе до температуры кипения [2].

Аустенитные хромоникелевые стали типа X18H10T, X17H13M2T при температуре кипения стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) в растворах концентрацией до 47% [1, 150]. В более концентрированных растворах стали стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) до температуры 100 °С (при 125 °С скорость коррозии до 0,5 мм/год). Согласно работам [2, 61, 112], такие стали стойки в любых растворах нитрата натрия до температуры кипения.

Двухфазные стали 08X22H6T, 08X21H6M2T сохраняют стойкость (скорость коррозии 0,1 мм/год) при температуре кипения в растворах нитрата натрия концентрацией до 47% [1] (по другим данным [2, 112], при любой концентрации).

Высоколегированные стали с марганцем 08X18Г8Н3М2Т, 10X14Г14Н4Т стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) в разбавленных (10%) кипящих растворах нитрата натрия [2, 15]. Согласно работе [46], нержавеющие стали с 18% Cr и 8% Mn при температуре кипения стойки в растворах любой концентрации.

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в любых растворах нитрата натрия стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) при температуре до 100 °С [3].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл в любых растворах нитрата натрия стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) до температуры 100 °С. Согласно работе [1], в растворах концентрацией до 47% повышение температуры до 100 °С вызывает увеличение скорости коррозии монель-металла до 1 мм/год. В твердой соли и ее расплавах никель удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) при температуре до 420 °С [3].

Никельмолибденовый сплав Н70МФВ обладает стойкостью (скорость коррозии <0,1 мм/год) в растворах азотнокислого натрия концентрацией менее 47% при температуре до 100 °С, повышение температуры до 130 °С увеличивает скорость коррозии до 0,5 мм/год. Сплав ХН65МВ в растворах нитрата натрия (до 47%) при 100 °С корродирует со скоростью до 0,5 мм/год [1].

Медь и медные сплавы. Медь, бронзы в растворах нитрата натрия концентрацией менее 47% при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,1—0,5 мм/год (при 100 °С скорость коррозии достигает 0,5—1,3 мм/год) [1]. Латунь при обычной температуре в растворах концентрацией менее 20—40% корродируют со скоростью до 0,5—1,3 мм/год [3].

Медноникелевые сплавы, содержащие 10—30% Ni, обладают стойкостью (скорость коррозии <0,05 мм/год) в любых растворах азотнокислого натрия до 100 °С [3]. При обычной температуре в 10%-ном растворе нитрата натрия скорость коррозии мельхиора МН19 менее 0,001 мм/год [43, 46], сплав 70% Cu — 30% Ni в 27%-ном растворе при температуре 50 °С корродирует со скоростью менее 0,0001 мм/год [5].

Алюминий в растворах азотнокислого натрия любой концентрации при температуре 100 °С обладает высокой стойкостью [2, 46, 61].

Сплавы алюминия (АД1, АД2 и др.) при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) в разбавленных (5%) растворах [43, 46].

Титан в растворах нитрата натрия концентрацией до 47% стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [1], в более концентрированных растворах — до 100 °С [3, 39].

Другие металлы. Тантал, серебро, платина, золото при температуре до 100 °С сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,05 мм/год) в любых растворах нитрата натрия [3].

35.9. Нитриты — MNO_2

Почти все соли азотистой кислоты хорошо растворимы в воде (за исключением $AgNO_2$, растворимость которого около 1% при 50 °С). Растворимость нитрита калия при 20 °С составляет 75,4%, при 60 °С — 77,7%, при 98 °С — 80,4%. Концентрация насыщенного раствора нитрита натрия при 20 °С составляет 45,3%, при 60 °С — 52,9%, при 100 °С — 61,5%. Насыщенный раствор концентрацией 68,7% кипит при температуре 128 °С.

Поскольку азотистая кислота является слабой кислотой, из-за протекающего гидролиза показатель рН растворов нитритов щелочных металлов изменяется до значения 9—10.

В растворах нитриты проявляют как окислительные, так и восстановительные свойства. Нейтральные и слабощелочные растворы солей щелочных и щелочноземельных металлов не окисляются кислородом воздуха, но разбавленные растворы последних менее устойчивы к окислению. Глубина восстановления нитритов зависит от силы восстановителя. В слабокислой или нейтральной среде при наличии в растворе ионов Fe^{2+} , проявляя окислительные свойства, нитриты восстанавливаются до NO . Вообще нитриты — окислители умеренной силы, но могут способствовать пассивации металлов.

Коррозионное поведение металлов и сплавов в растворах нитритов щелочных металлов мало зависит от характера катиона, поэтому представленные данные применимы как для растворов нитрита натрия, так и для растворов нитрита калия.

35.9.1. Калия нитрит — KNO_2

Металлы и сплавы в нитрите калия обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в любых растворах нитрита калия обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) при температуре до 100 °С. Углеродистые стали сохраняют удовлетворительную стойкость в твердой соли до температуры плавления (298 °С) [3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС15М4 стойки (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) в любых растворах нитрита калия и в твердой соли до температуры 100 °С. При температуре 250 °С в твердой соли кремнистые чугуны нестойки [3].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в указанных условиях обладают такой же стойкостью (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год), как кремнистые чугуны [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х28, хромоникелевые аустенитные стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М3Т и двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год)

в растворах нитрита калия концентрацией до 75% при температуре до 100 °С [15, 112]. По данным работы [3], хромоникелевые аустенитные стали в любых растворах нитрита калия и в твердой соли при температуре до 100 °С обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в любых растворах нитрита калия и в твердой соли удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) при температуре до 100 °С [3].

Никель и сплавы никеля. Никель при нормальной температуре в растворах нитрита калия подвергается заметному разрушению. При 25 °С в аэрированном растворе KNO_2 концентрацией 8% (рН 2) скорость коррозии никеля около 0,3 мм/год [68]. Согласно работе [3], в любых растворах нитрита калия и в твердой соли при температуре до 100 °С скорость коррозии никеля 0,1—0,5 мм/год.

Монель-металл при обычной температуре остается стойким в растворах нитрита калия. При повышении температуры до 100 °С в любых растворах нитрита калия и в твердой соли монель-металл корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Сплавы типа ХН65МВ в любых растворах нитрита калия и в твердой соли сохраняют удовлетворительную стойкость (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) до температуры 100 °С [3].

Медь и медные сплавы. Медь, латунь в любых растворах нитрита калия и в твердой соли при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год. При температуре 250 °С в твердой соли эти металлы нестойки [3].

Алюминий в растворах нитрита калия при обычной температуре практически не подвергается коррозии [46], при температуре до 100 °С в любых растворах и в твердой соли корродирует со скоростью 0,1—0,5 мм/год [3, 62].

Свинец в любых растворах нитрита калия и в твердой соли удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) при температуре до 50 °С. При температуре 100 °С в растворах концентрацией 50—70% свинец нестойк [3].

Другие металлы. Титан, цирконий, серебро сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,05 мм/год) в любых растворах нитрита калия и в твердой соли при температуре до 100 °С, при 200 °С в твердой соли — нестойки [3].

Тантал в насыщенном растворе нитрита калия при высокой температуре подвергается сильной коррозии (при 260 °С скорость коррозии до 1,3 мм/год) [10].

35.9.2. Натрия нитрит — NaNO_2

Области применения металлических материалов в нитрите натрия ориентировочно показаны на рис. 35.14.

Углеродистые стали и серые чугуны при нормальной температуре обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) в растворах нитрита натрия концентрацией до 46% [1]. По данным работы [3], углеродистые стали и серые чугуны стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) в любых растворах (рН > 7) при температуре до 70—80 °С, при 100 °С — корродируют со скоростью 0,1—0,5 мм/год. В твердой соли и ее расплаве углеродистые стали сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,05 мм/год) до температуры 300 °С.

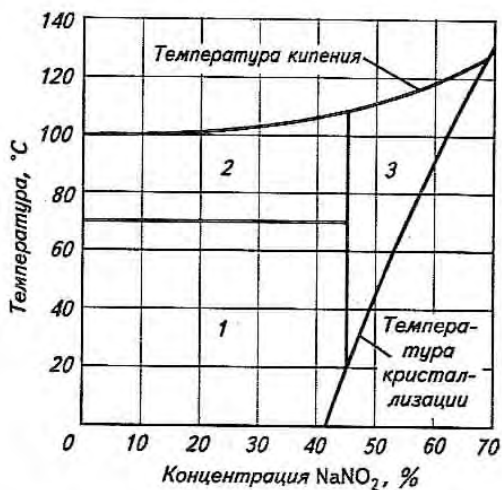


Рис. 35.14. Области применения металлических материалов в растворах нитрита натрия:

1 — углеродистая сталь; серый чугун; кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа X13—X28, X18H10T, X17H13M2T; стали 08X22H6T; 08X21H6M2T; сплавы 06XH28MДТ; 03XH28MДТ; ХН65МВ; ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металл; медь; латунь; бронза; алюминий; свинец; цирконий; 2 — серый чугун; кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа X17—X28, X18H10T, X17H13M2T; стали 08X22H6T; 08X21H6M2T; сплавы 06XH28MДТ; 03XH28MДТ; ХН65МВ; ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ; никель (до 60—80 °С); монель-металл; алюминий; свинец; цирконий; 3 — все указанные металлы и сплавы до 100 °С: серый чугун; кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа X18H10T, X17H13M2T; стали 08X22H6T; 08X21H6M2T; сплавы 06XH28MДТ; 03XH28MДТ; ХН65МВ, ХН65МВУ (до 80 °С); Н70МФВ-ВИ; монель-металл; алюминий; свинец; цирконий

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС15М4 и никелевые чугуны (14—32% Ni) стойки (скорость коррозии <0,05—0,5 мм/год) в любых растворах (рН > 7) нитрита натрия до температуры 100 °С. В твердой соли при обычной температуре кремнистые и никелевые чугуны корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X13—X28 в растворах нитрита натрия концентрацией менее 46% сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [1, 112]. По данным работы [3], стали типа X13 стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) до температуры 75 °С, при повышении температуры до 100 °С скорость коррозии возрастает до 0,5 мм/год.

Хромоникелевые аустенитные стали типа X18H10T, X17H13M3T в любых растворах нитрита натрия стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) при температуре до 100 °С [3, 15]. В твердой соли при обычной температуре такие стали корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год [3].

Двухфазные стали 08X22H6T, 08X21H6M2T стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) в растворах концентрацией менее 46% до температуры кипения [1, 112], в насыщенном растворе — до 100 °С [15].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в любых растворах нитрита натрия сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,05 мм/год) при тем-

пературе до 100 °С. В твердой соли при обычной температуре такие сплавы корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год [3].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл, сплавы типа Н70МФВ, ХН65МВ в любых растворах нитрита натрия стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) при температуре до 100 °С [3]. Согласно работам [1, 2], никель при нормальной температуре в растворах концентрацией до 46% подвергается заметному разрушению (скорость коррозии 0,1—1 мм/год).

Медь и медные сплавы. Медь, латунь в любых растворах нитрита натрия стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) при температуре до 100 °С [3]. По данным работы [1], медь, бронза при обычной температуре в растворах концентрацией до 46% корродируют со скоростью 0,1—1 мм/год.

Алюминий в любых растворах нитрита натрия стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) при температуре до 100 °С [3, 62].

Свинец обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) при температуре до 100 °С в любых растворах нитрита натрия [3].

Другие металлы. Цирконий в любых растворах нитрита натрия стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) при температуре до 100 °С [3].

35.10. Перманганаты — MnO_4

Из солей марганцевой кислоты наибольшее применение находит перманганат калия, обладающий умеренной растворимостью в воде (6% при 20 °С; 11,2% — при 40 °С и 20% — при 65 °С).

Перманганат калия является сильным окислителем, причем его окислительные свойства зависят от рН среды. В кислых средах Mn^{7+} восстанавливается до Mn^{2+} , в нейтральной и слабощелочной — до Mn^{4+} , а в сильнощелочной — до Mn^{6+} , т.е. наибольшие окислительные свойства перманганата калия проявляются в кислых средах.

В коррозионном отношении растворы перманганата калия благодаря окислительным свойствам (в кислой среде $E_{\text{Mn}^{7+}/\text{Mn}^{2+}}^P = +1,51$ В) способствуют переходу металлов в пассивное состояние и увеличению их коррозионной стойкости. В то же время для металлов, растворяющихся в активном состоянии, усиление катодного процесса в растворах перманганата калия может привести к резкому увеличению скорости растворения таких металлов и потере коррозионной стойкости.

35.10.1. Калия перманганат — KMnO_4

Металлы и сплавы в растворах перманганата калия обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали при нормальной температуре стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) в любых растворах перманганата калия [1, 2]. При температуре кипения в разбавленных (<6%) растворах скорость коррозии увеличивается до 1 мм/год [1], в более концентрированных растворах углеродистые стали нестойки [2]. В твердой соли при обычной температуре углеродистые стали стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

В разбавленных (<10%) растворах перманганата калия при температуре до 50 °С углеродистые стали и серые чугуны корродируют со скоростью 0,1—

0,5 мм/год [3]. В разбавленных (6%) растворах при температуре кипения серые чугуны нестойки [1], в твердой соли при обычной температуре — корродируют со скоростью 0,1—0,5 мм/год [3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 при температуре до 100 °С в разбавленных (<6—10%) растворах перманганата калия корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [1, 4], в растворах концентрацией до 20—25% — со скоростью 0,1—0,5 мм/год [3].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в растворах перманганата калия концентрацией менее 20—25% сохраняют стойкость (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) до температуры 100 °С [3]. В твердой соли при обычной температуре кремнистые и никелевые чугуны корродируют со скоростью 0,1—0,5 мм/год [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х28 при комнатной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) в любых растворах перманганата калия [1, 2, 4], при температуре кипения стали типа Х13 нестойки, стали типа Х17—Х28 корродируют со скоростью до 1 мм/год [1, 112, 150].

Хромоникелевые аустенитные стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т и двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т сохраняют стойкость (скорость коррозии 0,1 мм/год) в любых растворах перманганата калия до температуры кипения [1, 2, 4, 150]. По данным работы [3], хромоникелевые аустенитные стали в растворах перманганата калия концентрацией менее 20—25% при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,1—0,5 мм/год.

Высоколегированная сталь с марганцем 08Х18Г8Н3М2Т стойка (скорость коррозии 0,1 мм/год) в разбавленных (<6%) растворах при комнатной температуре, при 100 °С — нестойка [2, 15, 46].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в растворах перманганата калия концентрацией менее 20—25% при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,1—0,5 мм/год [3].

Никель и сплавы никеля. Никель в разбавленных (до 6%) растворах перманганата калия при обычной температуре стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1]. В растворах концентрацией до 20—25% при температуре ниже 100 °С никель корродирует со скоростью 0,1—0,5 мм/год [3].

Монель-металл в разбавленных (<6%) растворах при 100 °С корродирует со скоростью до 1 мм/год [1, 46]. Согласно работе [3], в растворах концентрацией до 20—25% при обычной температуре скорость коррозии монель-металла 0,5—1,3 мм/год, в интервале температур 50—100 °С — скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год.

Никельмолибденовый сплав Н70МФВ в растворах перманганата калия концентрацией менее 6% стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) при обычной температуре, с повышением температуры до 100 °С скорость коррозии может достигать 1 мм/год [1]. Сплавы типа ХН65МВ в растворах перманганата калия концентрацией менее 20—25% при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,1—0,5 мм/год [3].

Медь и медные сплавы. Медь, бронзы, латуни стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) в растворах перманганата калия концентрацией до 6% при 20 °С, при 100 °С скорость коррозии может увеличиваться до 1 мм/год [1]. По данным работы [3], медь, латуни в растворах концентрацией до 20—25% при температуре ниже 100 °С и в твердой соли при обычной температуре корродируют со скоростью 0,1—0,5 мм/год.

Алюминий в разбавленных (до 6—10%) растворах перманганата калия стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [1, 3, 46]. В растворах концентрацией менее 20—25% при 100 °С и в твердой соли при обычной температуре скорость коррозии алюминия 0,1—0,5 мм/год [3].

Титан в насыщенных растворах перманганата калия стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) до температуры 100 °С [39].

Другие металлы. Тантал стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) в любых растворах перманганата калия до температуры кипения [1].

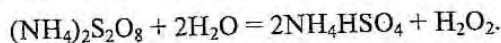
Золото в растворах перманганата калия концентрацией менее 20—25% при температуре до 100 °С стойко (скорость коррозии <0,05 мм/год), но подвержено коррозионному растрескиванию [3].

Свинец, серебро неприменимы в растворах перманганата калия при обычной температуре [1, 3, 4].

35.11. Пероксодисульфаты — $M_2S_2O_8$

Большинство солей надсерной кислоты (кроме пероксодисульфата калия) хорошо растворимы в воде. Растворимость $(NH_4)_2S_2O_8$ — 36,9% (0 °С); 45,5% (25 °С); 56,1% (60 °С), растворимость $K_2S_2O_8$ — 1,6% (0 °С); 4,5% (20 °С); 9,9% (40 °С).

В водных растворах пероксодисульфаты разлагаются уже при комнатной температуре, а при повышении температуры этот процесс протекает быстро. Например, надсерноокислый аммоний разлагается по реакции:



Пероксодисульфаты являются сильными окислителями, восстанавливаясь в водных растворах до гидросульфатов. С разбавлением растворов этот процесс протекает медленнее.

В коррозионном отношении пероксодисульфаты способствуют установлению пассивного состояния металлов и сплавов, но могут интенсивно окислять непассивирующиеся металлы (например, серебро), делая невозможным их применение в растворах таких солей.

35.11.1. Аммония пероксодисульфат — $(NH_4)_2S_2O_8$

Металлы и сплавы в пероксодисульфате аммония обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали при комнатной температуре нестойки в любых растворах надсерноокислого аммония [1—4].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в растворах надсерноокислого аммония концентрацией менее 30% и в твердой соли при температуре до 100 °С обладают высокой стойкостью (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13 стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) в разбавленных (4%) растворах надсерноокислого аммония до 80 °С, в растворах концентрацией 40% — нестойки [1]. Стали типа Х17—Х28 в растворах концентрацией менее 45% стойки до 40 °С, при температуре кипения — нестойки [1, 2, 139].

Хромоникелевые аустенитные стали типа X18H10T, X17H13M2T сохраняют стойкость (скорость коррозии 0,1 мм/год) в растворах надсернистого аммония концентрацией менее 40% до температуры кипения [1, 2]. По данным работ [3, 4], стали типа X18H10T применимы (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) в растворах концентрацией менее 50% до температуры 50—70 °С. Стали типа X17H13M2T в любых растворах при температуре до 50 °С корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год, в растворах концентрацией менее 30% при температуре до 100 °С — со скоростью 0,1—0,5 мм/год [3].

Двухфазные стали 08X22H6T, 08X21H6M2T в растворах надсернистого аммония концентрацией до 40% при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год), при 100 °С сталь 08X22H6T — нестойка [1, 2, 112].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в растворах надсернистого аммония концентрацией менее 30% при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,1—0,5 мм/год [3].

Никель и сплавы никеля. Никель при температуре до 100 °С можно применять в растворах пероксодисульфата аммония концентрацией менее 30% (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [3] (согласно справочнику [1], только в растворах концентрацией до 5%).

Монель-металл в любых растворах надсернистого аммония при комнатной температуре нестойк [1, 3]. По данным работы [62], монель-металл можно применять в разбавленных (до 10%) щелочных растворах надсернистого аммония.

Никельмолибденовый сплав Н70МФВ обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии <0,5 мм/год) в растворах концентрацией до 37% при нормальной температуре [1].

Алюминий при обычной температуре в разбавленных (<5—10%) растворах надсернистого аммония корродирует со скоростью 0,5—1,3 мм/год [1, 3], в более концентрированных растворах и при повышенной температуре — нестойк [1, 139].

Свинец в растворах надсернистого аммония концентрацией до 37% при обычной температуре стоек (скорость коррозии 0,1 мм/год) [1], при температуре до 100 °С — корродирует со скоростью 0,1—0,5 мм/год [3].

Другие металлы. Тантал в любых растворах пероксодисульфата аммония и в твердой соли стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) до температуры 75 °С [3] (по данным работы [1], до 100 °С в растворах концентрацией менее 37%).

Медь, бронза, латунь, серебро неприменимы в растворах надсернистого аммония даже при обычной температуре [1, 3, 62].

35.11.2. Калия пероксодисульфат — $K_2S_2O_8$

Металлы и сплавы в растворах пероксодисульфата калия обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали, серые чугуны и никелевые чугуны (2—4% Ni) при обычной температуре в растворах надсернистого калия концентрацией до 5% нестойки [1, 3, 4, 139].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в любых растворах надсернистого калия сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,05 мм/год) при температуре до 100 °С [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х17 при обычной температуре стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) в любых растворах надсернического калия [183].

Хромоникелевые аустенитные стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в любых растворах надсернического калия стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) при температуре до 60—100 °С [1, 3, 88, 139].

Двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) в растворах надсернического калия концентрацией менее 5% при температуре до 100 °С [1].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ применимы в любых растворах пероксодисульфата калия при обычной температуре [46] (по данным работы [3], при температуре до 100 °С).

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металлы в любых растворах пероксодисульфата калия при обычной температуре нестойки [1, 2, 46], но в щелочных растворах надсернического калия монель-металл можно применять [62, 139].

Никельмолибденовые сплавы типа Н70МФВ, ХН65МВ стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) в любых растворах надсернического калия при нормальной температуре [1, 4, 46, 139] (по другим данным [3], сплавы стойки до 50 °С).

Алюминий при температуре 20 °С в любых растворах надсернического калия удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [3], при 30 °С — нестойк [1, 2]. Согласно работам [4, 62, 183], алюминий неприменим в растворах надсернического калия.

Свинец в любых растворах надсернического калия удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) при температуре до 70—80 °С [3, 4].

Титан в растворах пероксодисульфата калия стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) до температуры 70—80 °С [3], при 100 °С — нестойк [1, 2, 139].

Другие металлы. Цирконий, тантал, платина, золото обладают высокой стойкостью в любых растворах пероксодисульфата калия при температуре до 100 °С [1—4, 139].

Медь, латунь, бронза, серебро в растворах надсернического калия при нормальной температуре подвергаются сильному разрушению [1—4, 139].

35.11.3. Натрия пероксодисульфат — $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$

Металлы и сплавы в растворах пероксодисульфата натрия обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны при обычной температуре в растворах надсернического натрия концентрацией до 10% нестойки [3, 4, 62].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в твердой соли сохраняют стойкость (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) при температуре до 100 °С [3].

Высоколегированные стали. Хромоникелевые аустенитные стали типа Х17Н13М2Т в растворах надсернического натрия концентрацией до 10% обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) при температуре до 60—100 °С [3, 62].

Монель-металл удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) в щелочных растворах надсернистого натрия концентрацией до 10% при обычной температуре [3, 4, 62].

Свинец в растворах надсернистого натрия концентрацией до 10% при обычной температуре корродирует со скоростью менее 0,5 мм/год [3, 4].

Другие металлы. Тантал, платина, золото обладают высокой стойкостью в любых растворах пероксодисульфата натрия [4].

Медь, латунь, бронза, алюминий, никель, серебро в растворах надсернистого натрия при нормальной температуре подвергаются сильному разрушению [3, 4, 62].

35.12. Перхлораты — MClO_4

Соли хлорной кислоты в большинстве хорошо растворимы в воде (за исключением солей калия, рубидия, цезия и таллия). Растворимость хлорнокислого натрия составляет 66,7% при 20 °С; 73,2% (50 °С); 76,7% (100 °С). Насыщенный раствор NaClO_4 концентрацией 79,1% кипит при температуре 143 °С. Растворимость хлорнокислого аммония — 18,5% при 20 °С; 31,5% (45 °С); 42,6% (85 °С), а растворимость хлорнокислого калия — лишь 1,7% (20 °С); 4,9% (50 °С); 18,2 (100 °С).

Анион ClO_4^- в водных растворах обладает высокой устойчивостью, поэтому растворы солей хлорной кислоты не обладают окислительными свойствами. Это затрудняет наступление и сохранение пассивного состояния металлов, в результате чего они могут находиться в активно-пассивном состоянии. Такое состояние характеризуется большим разбросом скоростей коррозии при неизменных условиях эксплуатации материалов.

35.12.1. Аммония перхлорат — NH_4ClO_4

Металлы и сплавы в растворах перхлората аммония обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в щелочных растворах перхлората аммония концентрацией до 10% обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) при температуре ниже 100 °С [3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в растворах перхлората аммония концентрацией менее 10% и в твердой соли удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) при температуре до 100 °С [3, 48].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13, Х17 в разбавленных (10%) растворах перхлората аммония при обычной температуре корродируют со скоростью 0,5—1 мм/год, в насыщенных растворах при температуре кипения — нестойки [2, 150].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) в растворах концентрацией менее 10% при температуре до 100 °С [3], в насыщенных растворах и при температуре кипения — нестойки [2, 150].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в растворах перхлората аммония концентрацией до 10% стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год)

до температуры кипения, в насыщенных растворах при температуре кипения скорость коррозии может увеличиться до 1 мм/год [2, 150]. По данным работы [3], в растворах концентрацией менее 10% при температуре до 100 °С скорость коррозии сплавов 0,1—0,5 мм/год.

Сплавы никеля типа Н70МФВ, ХН65МВ в растворах перхлората аммония концентрацией менее 40% при температуре до 100 °С удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [3].

Алюминий в разбавленных (<10%) нейтральных растворах перхлората аммония и в твердой соли при обычной температуре корродирует со скоростью 0,1—0,5 мм/год [3, 48].

Титан в растворах перхлората аммония концентрацией до 20% сохраняет высокую стойкость (скорость коррозии <0,01 мм/год) до 90 °С [39] (по другим данным [3], скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год).

Другие металлы. Медь, латунь в растворах перхлората аммония концентрацией до 30% при обычной температуре нестойки (скорость коррозии >1,3 мм/год) [3].

35.12.2. Калия перхлорат — КСЮ₄

Металлы и сплавы в растворах перхлората калия обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в растворе перхлората калия концентрацией 1,8% при 20 °С нестойки [1]. Однако с увеличением концентрации (до 10%) при температуре ниже 100 °С скорость коррозии снижается до 0,1—0,5 мм/год [3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в любых растворах перхлората калия до температуры кипения корродируют со скоростью 0,1—0,5 мм/год [1, 3, 48].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х17—Х28 в разбавленных (<2%) растворах перхлората калия стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [1, 48].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в любых растворах при температуре до 100 °С удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год). С такой же скоростью эти стали корродируют при обычной температуре в твердой соли [3].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в разбавленных (<2%) растворах перхлората калия при температуре кипения корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [1], в более концентрированных растворах при температуре до 100 °С и в твердой соли при обычной температуре — со скоростью 0,1—0,5 мм/год [3, 48].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металлы и сплавы типа ХН65МВ, Н70МФВ при температуре до 100 °С в разбавленных (<2%) растворах перхлората калия стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1], в более концентрированных растворах — удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [3, 48].

Медь и медные сплавы. Медь, бронза, латунь в любых растворах перхлората калия при температуре до 100 °С сохраняют удовлетворительную стойкость (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [3, 48].

Алюминий в любых растворах перхлората калия (без хлоридов) при температуре до 100 °С корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Свинец в любых растворах перхлората калия при температуре до 100 °С удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Другие металлы. Титан, цирконий, тантал, серебро сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,05 мм/год) в любых растворах перхлората калия при температуре до 100 °С [1, 3, 48].

35.12.3. Натрия перхлорат — NaClO₄

Области применения металлических материалов в растворах перхлората натрия ориентировочно показаны на рис. 35.15.

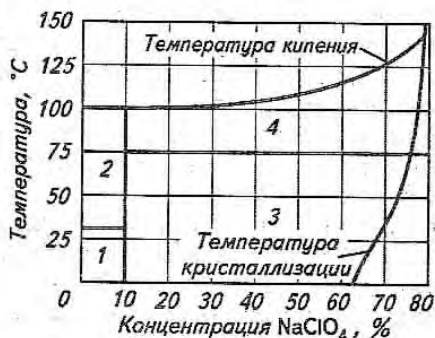


Рис. 35.15. Области применения металлических материалов в растворах перхлората натрия:

1 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа X13—X25, X18Н10Т, X17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т; сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ; ХН65МВ; ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металл; медь; бронза; алюминий; свинец; титан; тантал; серебро; платина; 2 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа X18Н10Т, X17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т; сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ; никель; монель-металл; медь; бронза; алюминий; свинец; титан; тантал; серебро; платина; 3 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа X18Н10Т, X17Н13М2Т; сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ; ХН65МВ, ХН65МВУ, Н70МФВ-ВИ (>40%); никель; монель-металл; медь; бронза; алюминий (>70%); свинец; титан; тантал; серебро; платина; 4 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; никелевый чугун (14—32% Ni); сплавы ХН65МВ, ХН65МВУ, Н70МФВ-ВИ (>40%, до 100 °С); никель, монель-металл, медь, бронза, свинец (до 100 °С); алюминий (>70%, до 100 °С); титан; тантал; серебро; платина (до 100 °С).

Углеродистые стали и серые чугуны в любых растворах перхлората натрия при обычной температуре нестойки, в твердой соли — стойки до 50 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в любых растворах перхлората натрия и в твердой соли сохраняют высокую стойкость (скорость коррозии <0,05 мм/год) до температуры 100 °С [3].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в любых растворах перхлората натрия отличаются высокой стойкостью (скорость коррозии <0,05 мм/год) до 100 °С [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X13—X25 при обычной температуре в растворах перхлората натрия концентрацией менее 10% стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) [150], в более концентрированных растворах при температуре кипения — нестойки [4, 46, 150].

Аустенитные хромоникелевые стали типа X18Н10Т, X17Н13М2Т в любых растворах перхлората натрия при температуре 100 °С корродируют со скоро-

стью 0,1—0,5 мм/год [3]. В растворах перхлората натрия концентрацией до 10% при температуре кипения такие стали стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [2, 4, 88] (по данным работы [150], скорость коррозии 0,1—1 мм/год). В насыщенных растворах при температуре кипения скорость коррозии сталей типа Х17Н13М2Т не превышает 1 мм/год [150].

Двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т в разбавленных (<10%) растворах перхлората натрия сохраняют стойкость (скорость коррозии 0,1 мм/год) до температуры кипения [2, 48, 112].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в 10%-ном растворе перхлората натрия при температуре кипения корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год [2, 44, 112], в насыщенных растворах — со скоростью 0,1—1 мм/год [150]. По данным работы [3], в любых растворах при температуре до 100 °С скорость коррозии сплавов 0,1—0,5 мм/год.

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл в любых растворах перхлората натрия и в твердой соли сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,05 мм/год) до температуры 100 °С [3].

Никельмолибденовые сплавы типа Н70МФВ в растворах перхлората натрия концентрацией менее 30% при обычной температуре обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год), в более концентрированных растворах и в твердой соли — стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) до температуры 100 °С [3].

Хромоникельмолибденовые сплавы типа ХН65МВ в растворах перхлората натрия любой концентрации стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [48]. По данным работы [3], такие сплавы в растворах концентрацией 10—30% при обычной температуре корродируют со скоростью 0,1—0,5 мм/год.

Медь и медные сплавы. Медь, бронзы обладают высокой стойкостью (скорость коррозии <0,05 мм/год) в любых растворах перхлората натрия при температуре до 100 °С [3, 48].

Алюминий в растворах перхлората натрия (без хлоридов) концентрацией 10—40% при обычной температуре растворяется со скоростью 0,5—1,3 мм/год. В концентрированных (>70%) растворах алюминий стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) до температуры 100 °С [3, 48].

Свинец в любых растворах перхлората натрия при температуре до 100 °С стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Другие металлы. Титан, тантал, серебро, платина в любых растворах перхлората натрия остаются стойкими до 100 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3, 39, 48].

35.13. Силикаты — M_2SiO_3

Из солей кремниевой кислоты растворимы только соли калия и натрия. Обе соли обладают очень большой растворимостью в воде и не образуют насыщенные растворы. При растворении силикатов калия и натрия получаются коллоидные растворы любой концентрации.

Водные растворы этих солей сильно гидролизуются и имеют щелочную реакцию. Растворы с $pH > 11$ неустойчивы и выделяют гель кремневой кислоты.

В коррозионном отношении растворы силикатов калия и натрия малоагрессивны, более того, при коррозии некоторых металлов (например, углеродистых сталей и серых чугунов) они могут проявлять ингибирующее действие. С другой стороны, из-за щелочного характера растворов повышение температуры и особенно изменение pH растворов может вызывать резкое усиление коррозии амфотерных металлов (например, алюминия, свинца).

В растворах Na_2SiO_3 при действии растягивающих напряжений низкоуглеродистые стали подвержены коррозионному растрескиванию [1].

Поскольку растворы силикатов калия и натрия по свойствам сходны, представленные данные по коррозионной стойкости металлов и сплавов в растворах силиката калия можно использовать для растворов силиката натрия.

35.13.1. Калия силикат — K_2SiO_3

Металлы и сплавы в растворах силиката калия обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в любых растворах силиката калия при температуре до 100°C удовлетворительно стойки (скорость коррозии $0,05$ — $0,5$ мм/год) [3], при температуре кипения скорость коррозии может увеличиться до 1 — 5 мм/год [1, 2].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 и никелевые чугуны (14—32% Ni) в любых растворах силиката калия при температуре до 100°C корродируют со скоростью $0,05$ — $0,5$ мм/год [3], при температуре кипения — со скоростью до 1 мм/год [1].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х28 остаются стойкими (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) в растворах силиката калия до температуры кипения [1, 2].

Хромоникелевые аустенитные стали типа Х18Н10Т, Х17Н13МЗТ в любых растворах силиката калия удовлетворительно стойки (скорость коррозии $0,05$ — $0,5$ мм/год) при температуре до 100°C [3]. Согласно работам [1, 2], такие стали в растворах силиката калия стойки до температуры кипения (скорость коррозии $<0,1$ мм/год).

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в любых растворах силиката калия удовлетворительно стойки (скорость коррозии $0,05$ — $0,5$ мм/год) до температуры 100°C [3]. По данным работ [1, 2], сплавы стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до температуры кипения.

Никель и сплавы никеля. Никель в растворах силиката калия концентрацией менее 50% при температуре до 110°C отличается очень высокой стойкостью (скорость коррозии $<0,001$ мм/год) [5].

Монель-металлы в любых растворах силиката калия при температуре до 100°C корродирует со скоростью $0,05$ — $0,5$ мм/год [3] (по данным справочника [1], со скоростью менее $0,1$ мм/год).

Сплавы Н70МФВ, ХН65МВ в любых растворах силиката калия при температуре до 100°C удовлетворительно стойки (скорость коррозии $0,1$ — $0,5$ мм/год) [1, 3].

Медь и медные сплавы. Медь, бронза, латунь в любых растворах силиката калия при обычной температуре стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1], при температуре до 100°C — удовлетворительно стойки (скорость коррозии $0,1$ — $0,5$ мм/год) [3].

Алюминий при обычной температуре в нейтральных растворах силиката калия концентрацией до 10% стоек (скорость коррозии 0,1 мм/год) [1, 62] (по другим данным [3, 4], неприменим). В кислых растворах или при повышении температуры до 100 °С алюминий нестойк [1].

Свинец в растворах силиката калия концентрацией до 10% при температуре до 100 °С корродирует со скоростью 0,1—0,5 мм/год [3]. В щелочных растворах (рН > 12,5) свинец неприменим [1].

Титан в растворах силиката калия стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 60 °С [1]. При температуре 100 °С в растворах концентрацией более 10% скорость коррозии титана возрастает до 0,5 мм/год [3, 39].

Другие металлы. Цирконий, серебро в растворах силиката калия концентрацией более 10% при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

35.13.2. Натрия силикат — Na_2SiO_3

Металлы и сплавы в растворах силиката натрия обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в любых растворах силиката натрия стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) при температуре до 100 °С. В растворах концентрацией более 70% при температуре 125 °С стали и чугуны корродируют со скоростью 0,1—0,5 мм/год [3], при температуре кипения в растворах концентрацией менее 37% — со скоростью до 1 мм/год [1].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 при температуре до 100 °С в любых растворах силиката натрия стойки (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [3], при температуре кипения в растворах концентрацией до 37% — корродируют со скоростью до 1 мм/год [1].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в любых растворах силиката натрия при температуре до 125 °С сохраняют высокую стойкость (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х28 в растворах силиката натрия концентрацией менее 37% стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [1, 2].

Хромоникелевые аустенитные стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М3Т в любых растворах силиката натрия стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) до температуры 100 °С [3], в растворах концентрацией менее 37% — до температуры кипения [1, 2].

Двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т при температуре кипения в растворах концентрацией до 37% корродируют со скоростью 0,1—0,5 мм/год [2].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в любых растворах силиката натрия сохраняют стойкость до температуры 100 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл в любых растворах силиката натрия при температуре до 125 °С стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Никельмолибденовый сплав Н70МФВ в 10%-ном растворе силиката натрия при температуре до 100 °С корродирует со скоростью 0,5—1,3 мм/год [3]. Согласно работам [1, 2], в растворах концентрацией менее 37% при температуре до 100 °С сплав стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год). Сплавы типа ХН65МВ

(до 10%) растворам серной кислоты [45]. Кроме того, растворы этих солей не обладают окислительными свойствами и затрудняют сохранение пассивного состояния металлов. В результате некоторые пассивирующиеся металлы и сплавы в растворах гидросульфатов (особенно при повышенных температурах) могут находиться в активно-пассивном состоянии, что вызывает большое изменение скорости коррозии материалов при неизменных условиях эксплуатации.

35.14.1. Аммония сульфат — $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

Области применения металлических материалов в растворах сульфата аммония ориентировочно показаны на рис. 35.16.

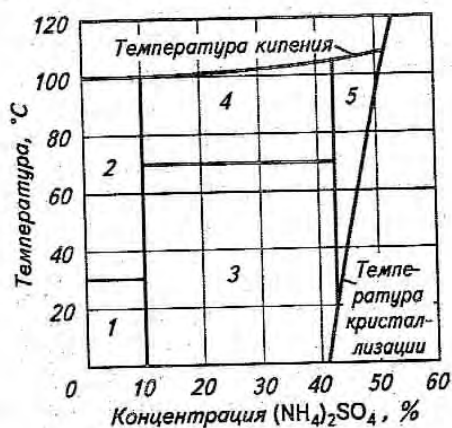


Рис. 35.16. Области применения металлических материалов в растворах сульфата аммония: 1 — углеродистая сталь; серый чугун; кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; нирезист; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа X17—X28, X18H10T, X17H13M2T; стали 08X22H6T; 08X21H6M2T; 08X18Г8H3M2T; 10X14Г14H4T; сплавы 06XH28MДТ; 03XH28MДТ; ХН65МВ; ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металл; свинец; титан; цирконий; тантал; серебро; платина; 2 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа X18H10T, X17H13M2T; стали 08X22H6T; 08X21H6M2T; 08X18Г8H3M2T; 10X14Г14H4T; сплавы 06XH28MДТ; 03XH28MДТ; ХН65МВ; ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металл; свинец; титан; цирконий; тантал; серебро; платина; 3 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа X18H10T, X17H13M2T; стали 08X22H6T; 08X21H6M2T; 08X18Г8H3M2T; 10X14Г14H4T; сплавы 06XH28MДТ; 03XH28MДТ; ХН65МВ; ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металл; свинец; титан; цирконий; тантал; серебро; платина; 4 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; сталь типа X18H10T, X17H13M2T; стали 08X22H6T; 08X21H6M2T; титан; тантал; платина; 5 — хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; никелевый (14—32% Ni) чугун (>50%); сталь типа X18H10T, X17H13M2T; стали 08X22H6T; 08X21H6M2T; сплавы 06XH28MДТ; 03XH28MДТ (до 70 °C); алюминий, силумин (>50%); тантал; платина

Углеродистые стали и серые чугуны. Минимальная коррозия этих металлов наблюдается в разбавленных (5%) растворах сульфата аммония, а максимальная — при концентрации 30—50%.

Углеродистые стали при нормальной температуре в разбавленных (до 10%) растворах сульфата аммония удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,25 мм/год) [1, 5]. С увеличением концентрации до 30% скорость коррозии

(до 10%) растворам серной кислоты [45]. Кроме того, растворы этих солей не обладают окислительными свойствами и затрудняют сохранение пассивного состояния металлов. В результате некоторые пассивирующиеся металлы и сплавы в растворах гидросульфатов (особенно при повышенных температурах) могут находиться в активно-пассивном состоянии, что вызывает большое изменение скорости коррозии материалов при неизменных условиях эксплуатации.

35.14.1. Аммония сульфат — $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

Области применения металлических материалов в растворах сульфата аммония ориентировочно показаны на рис. 35.16.

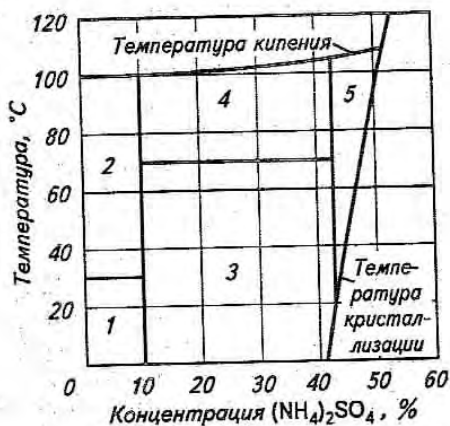


Рис. 35.16. Области применения металлических материалов в растворах сульфата аммония:

1 — углеродистая сталь; серый чугун; кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; нирезист; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа X17—X28, X18H10T, X17H13M2T; стали 08X22H6T; 08X21H6M2T; 08X18Г8H3M2T; 10X14Г14H4T; сплавы 06XH28MДT; 03XH28MДT; ХН65МВ; ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металлы; свинец; титан; цирконий; тантал; серебро; платина; 2 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа X18H10T, X17H13M2T; стали 08X22H6T; 08X21H6M2T; 08X18Г8H3M2T; 10X14Г14H4T; сплавы 06XH28MДT; 03XH28MДT; ХН65МВ; ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металлы; свинец; титан; цирконий; тантал; серебро; платина; 3 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа X18H10T, X17H13M2T; стали 08X22H6T; 08X21H6M2T; сплавы 06XH28MДT; 03XH28MДT; ХН65МВ; ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металлы; свинец; титан; цирконий; тантал; серебро; платина; 4 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; сталь типа X18H10T, X17H13M2T; стали 08X22H6T; 08X21H6M2T; титан; тантал; платина; 5 — хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; никелевый (14—32% Ni) чугун (>50%); сталь типа X18H10T, X17H13M2T; стали 08X22H6T; 08X21H6M2T; сплавы 06XH28MДT; 03XH28MДT (до 70 °С); никель (до 70 °С); алюминий, силумин (>50%); тантал; платина

Углеродистые стали и серые чугуны. Минимальная коррозия этих металлов наблюдается в разбавленных (5%) растворах сульфата аммония, а максимальная — при концентрации 30—50%.

Углеродистые стали при нормальной температуре в разбавленных (до 10%) растворах сульфата аммония удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,25 мм/год) [1, 5]. С увеличением концентрации до 30% скорость коррозии

Алюминий при обычной температуре в нейтральных растворах силиката калия концентрацией до 10% стоек (скорость коррозии 0,1 мм/год) [1, 62] (по другим данным [3, 4], неприменим). В кислых растворах или при повышении температуры до 100 °С алюминий нестойк [1].

Свинец в растворах силиката калия концентрацией до 10% при температуре до 100 °С корродирует со скоростью 0,1—0,5 мм/год [3]. В щелочных растворах ($\text{pH} > 12,5$) свинец неприменим [1].

Титан в растворах силиката калия стоек (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год) до 60 °С [1]. При температуре 100 °С в растворах концентрацией более 10% скорость коррозии титана возрастает до 0,5 мм/год [3, 39].

Другие металлы. Цирконий, серебро в растворах силиката калия концентрацией более 10% при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

35.13.2. Натрия силикат — Na_2SiO_3

Металлы и сплавы в растворах силиката натрия обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в любых растворах силиката натрия стойки (скорость коррозии $< 0,05$ мм/год) при температуре до 100 °С. В растворах концентрацией более 70% при температуре 125 °С стали и чугуны корродируют со скоростью 0,1—0,5 мм/год [3], при температуре кипения в растворах концентрацией менее 37% — со скоростью до 1 мм/год [1].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 при температуре до 100 °С в любых растворах силиката натрия стойки (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [3], при температуре кипения в растворах концентрацией до 37% — корродируют со скоростью до 1 мм/год [1].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в любых растворах силиката натрия при температуре до 125 °С сохраняют высокую стойкость (скорость коррозии $< 0,05$ мм/год) [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х28 в растворах силиката натрия концентрацией менее 37% стойки (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год) до температуры кипения [1, 2].

Хромоникелевые аустенитные стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М3Т в любых растворах силиката натрия стойки (скорость коррозии $< 0,05$ мм/год) до температуры 100 °С [3], в растворах концентрацией менее 37% — до температуры кипения [1, 2].

Двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т при температуре кипения в растворах концентрацией до 37% корродируют со скоростью 0,1—0,5 мм/год [2].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в любых растворах силиката натрия сохраняют стойкость до температуры 100 °С (скорость коррозии $< 0,05$ мм/год) [3].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл в любых растворах силиката натрия при температуре до 125 °С стойки (скорость коррозии $< 0,05$ мм/год) [3].

Никельмолибденовый сплав Н70МФВ в 10%-ном растворе силиката натрия при температуре до 100 °С корродирует со скоростью 0,5—1,3 мм/год [3]. Согласно работам [1, 2], в растворах концентрацией менее 37% при температуре до 100 °С сплав стоек (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год). Сплавы типа ХН65МВ

в любых растворах силиката натрия при температуре до 100 °С удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Медь и медные сплавы. Медь в любых растворах силиката натрия при температуре до 100 °С корродирует со скоростью 0,5—1,3 мм/год [3].

Мельхиор и латуни, содержащие менее 17% Zn, в любых растворах силиката натрия сохраняют высокую стойкость (скорость коррозии <0,05 мм/год) до температуры 100 °С [3].

Алюминий в нейтральных растворах силиката натрия концентрацией до 37% при обычной температуре стоек (скорость коррозии 0,1 мм/год) [1]. В кислых и щелочных растворах, а также при повышении температуры до 100 °С алюминий нестойк [1, 2, 46]. При обычной температуре рекомендуют применять алюминий в растворах концентрацией до 10% [46, 62], при этом скорость коррозии может достигать 1 мм/год [183]. По данным работы [3], алюминий в растворах силиката натрия любой концентрации стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) до температуры 100 °С, но его коррозионное поведение сильно зависит от отношения содержаний натрия и оксида кремния в растворе.

Сплавы алюминия типа силумин, АМц, АМг при обычной температуре обладают высокой стойкостью (скорость коррозии <0,001 мм/год) в растворах силиката натрия [4, 46].

Свинец в любых растворах силиката натрия при комнатной температуре стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год), в щелочных растворах с pH > 12,5 и при повышении температуры до 100 °С — нестойк [1, 3].

Другие металлы. Титан, цирконий, тантал, серебро, платина, золото при температуре до 100 °С стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) в любых растворах силиката натрия [3].

35.14. Сульфаты — M_2SO_4 и гидросульфаты — $MHSO_4$

Средние соли серной кислоты — сульфаты — в большинстве хорошо растворимы в воде. Исключение составляют соли бария, стронция и свинца. Мало растворим сульфат кальция (0,16% при 100 °С).

Растворимость сульфата аммония составляет: 43% (20 °С); 46% (50 °С); 50,5% (100 °С). Растворимость сульфата калия при 20 °С — 10%; при 50 °С — 12,2% и при 100 °С — 19,4%. Растворимость сульфата натрия увеличивается при повышении температуры до 32 °С, а затем мало изменяется и составляет 16,1% (20 °С); 31,8% (50 °С); 29,73% (100 °С).

Насыщенный (51,5%) раствор сульфата аммония кипит при температуре 108,5 °С, насыщенный (19,6%) раствор сульфата калия — при 101,4 °С и насыщенный (26,68%) раствор сульфата натрия — при 102,2 °С.

В отличие от нейтральных растворов сульфатов калия и натрия водные растворы сульфата аммония в результате гидролиза имеют кислую реакцию.

Кислые соли серной кислоты (гидросульфаты) щелочных металлов хорошо растворимы в воде. Растворимость гидросульфата калия при 20 °С составляет 33,9%, при 100 °С — 54,9%; растворимость гидросульфата натрия — 28,6% (0 °С) и 50% (100 °С).

Растворы гидросульфатов калия и натрия обладают сильноокислой реакцией и на металлы оказывают коррозионное действие подобно разбавленным

(до 10%) растворам серной кислоты [45]. Кроме того, растворы этих солей не обладают окислительными свойствами и затрудняют сохранение пассивного состояния металлов. В результате некоторые пассивирующиеся металлы и сплавы в растворах гидросульфатов (особенно при повышенных температурах) могут находиться в активно-пассивном состоянии, что вызывает большое изменение скорости коррозии материалов при неизменных условиях эксплуатации.

35.14.1. Аммония сульфат — $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

Области применения металлических материалов в растворах сульфата аммония ориентировочно показаны на рис. 35.16.

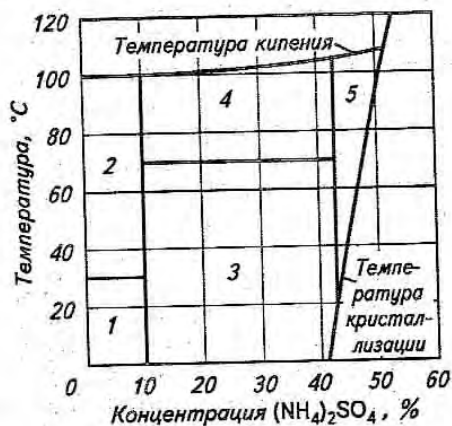


Рис. 35.16. Области применения металлических материалов в растворах сульфата аммония:

1 — углеродистая сталь; серый чугун; кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; нирезист; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа X17—X28, X18H10T, X17H13M2T; стали 08X22H6T; 08X21H6M2T; 08X18Г8H3M2T; 10X14Г14H4T; сплавы 06XH28MДТ; 03XH28MДТ; ХН65МВ; ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металл; свинец; титан; цирконий; тантал; серебро; платина; 2 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа X18H10T, X17H13M2T; стали 08X22H6T; 08X21H6M2T; 08X18Г8H3M2T; 10X14Г14H4T; сплавы 06XH28MДТ; 03XH28MДТ; ХН65МВ; ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металл; свинец; титан; цирконий; тантал; серебро; платина; 3 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа X18H10T, X17H13M2T; стали 08X22H6T; 08X21H6M2T; 08X18Г8H3M2T; 10X14Г14H4T; сплавы 06XH28MДТ; 03XH28MДТ; ХН65МВ; ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металл; свинец; титан; цирконий; тантал; серебро; платина; 4 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; сталь типа X18H10T, X17H13M2T; стали 08X22H6T; 08X21H6M2T; титан; тантал; платина; 5 — хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; никелевый (14—32% Ni) чугун (>50%); сталь типа X18H10T, X17H13M2T; стали 08X22H6T; 08X21H6M2T; сплавы 06XH28MДТ; 03XH28MДТ (до 70 °С); алюминий, силумин (>50%); тантал; платина

Углеродистые стали и серые чугуны. Минимальная коррозия этих металлов наблюдается в разбавленных (5%) растворах сульфата аммония, а максимальная — при концентрации 30—50%.

Углеродистые стали при нормальной температуре в разбавленных (до 10%) растворах сульфата аммония удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,25 мм/год) [1, 5]. С увеличением концентрации до 30% скорость коррозии

возрастает до 0,5 мм/год [3], в насыщенных растворах — до 1 мм/год [43]. При температуре кипения в концентрированных растворах углеродистые стали нестойки [2, 176].

Серые чугуны при обычной температуре в растворах концентраций до 25% обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,3—0,8 мм/год) [5, 10], при концентрации от 30% до насыщенной скорость коррозии более 1 мм/год [1]. При температуре кипения в насыщенных растворах серые чугуны нестойки [176].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в растворах сульфата аммония концентрацией менее 43% стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [3, 88] (по данным работы [1], до 60 °С). В насыщенном растворе при температуре кипения такие чугуны нестойки [176].

Хромистые чугуны типа ЧХ28, ЧХ32 стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) в любых растворах сульфата аммония до температуры кипения [4, 61, 88].

Никелевые чугуны (нирезисты) с 12—14% Ni при нормальной температуре стойки (скорость коррозии <0,15 мм/год) в разбавленных (5—10%) растворах [5, 10, 61]. Никелевые чугуны, содержащие 14—32% Ni, в растворах концентрацией менее 43% стойки (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) до 50 °С, в насыщенном (~51%) растворе — до температуры кипения [3].

Высоколегированные стали. При температуре 20 °С хромистые стали типа Х13 в любых растворах сульфата аммония корродируют со скоростью до 0,5—1 мм/год, стали типа Х17 — со скоростью 0,1—1 мм/год, стали типа Х25, Х28 — со скоростью 0,1 мм/год. При температуре кипения в любых растворах сульфата аммония стали типа Х13—Х28 нестойки [1, 2, 43, 150].

Хромоникелевые аустенитные стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М3Т и двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т в любых растворах сульфата аммония остаются стойкими (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [1, 2, 112, 176]. По данным работы [3], при обычной температуре в любых растворах стали типа Х18Н10Т корродируют со скоростью 0,5—1,3 мм/год, стали типа Х17Н13М3Т — со скоростью 0,1—0,5 мм/год.

Высоколегированные стали с марганцем 08Х18Г8Н3М2Т, 10Х14Г14Н4Т стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) в разбавленных (10%) кипящих растворах сульфата аммония [2]. Сталь 07Х13АГ20 в нейтральных концентрированных растворах стойка до 60 °С [15].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ остаются стойкими (скорость коррозии 0,1 мм/год) в растворах сульфата аммония концентрацией менее 43% до 100 °С [1]. По данным работы [3], в любых растворах при температуре до 100 °С скорость коррозии сплавов 0,1—0,5 мм/год.

Никель и сплавы никеля. Никель в любых растворах сульфата аммония (рН > 7) и в твердой соли при температуре до 100 °С корродирует со скоростью 0,1—0,5 мм/год [3] (по данным работы [1], при 100 °С скорость коррозии до 1 мм/год).

Монель-металл в любых растворах сульфата аммония стоек до 100 °С, в твердой соли — до 75 °С (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [3]. По данным работ [1, 46, 61], монель-металл стоек в разбавленных (<10%) растворах при температуре до 40 °С.

(до 10%) растворам серной кислоты [45]. Кроме того, растворы этих солей не обладают окислительными свойствами и затрудняют сохранение пассивного состояния металлов. В результате некоторые пассивирующиеся металлы и сплавы в растворах гидросульфатов (особенно при повышенных температурах) могут находиться в активно-пассивном состоянии, что вызывает большое изменение скорости коррозии материалов при неизменных условиях эксплуатации.

35.14.1. Аммония сульфат — $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

Области применения металлических материалов в растворах сульфата аммония ориентировочно показаны на рис. 35.16.

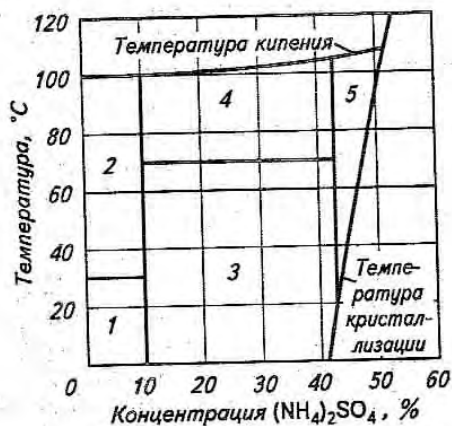


Рис. 35.16. Области применения металлических материалов в растворах сульфата аммония:

1 — углеродистая сталь; серый чугун; кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; нирезист; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа X17—X28, X18N10T, X17N13M2T; стали 08X22H6T; 08X21H6M2T; 08X18Г8Н3М2Т; 10X14Г14Н4Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН65МВ; ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металл; свинец; титан; цирконий; тантал; серебро; платина; 2 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа X18N10T, X17N13M2T; стали 08X22H6T; 08X21H6M2T; 08X18Г8Н3М2Т; 10X14Г14Н4Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН65МВ; ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металл; свинец; титан; цирконий; тантал; серебро; платина; 3 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа X18N10T, X17N13M2T; стали 08X22H6T; 08X21H6M2T; 08X18Г8Н3М2Т; 10X14Г14Н4Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН65МВ; ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металл; свинец; титан; цирконий; тантал; серебро; платина; 4 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; сталь типа X18N10T, X17N13M2T; стали 08X22H6T; 08X21H6M2T; титан; тантал; платина; 5 — хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; никелевый (14—32% Ni) чугун (>50%); сталь типа X18N10T, X17N13M2T; стали 08X22H6T; 08X21H6M2T; сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ (до 70 °С); алюминий, силумин (>50%); тантал; платина

Углеродистые стали и серые чугуны. Минимальная коррозия этих металлов наблюдается в разбавленных (5%) растворах сульфата аммония, а максимальная — при концентрации 30—50%.

Углеродистые стали при нормальной температуре в разбавленных (до 10%) растворах сульфата аммония удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,25 мм/год) [1, 5]. С увеличением концентрации до 30% скорость коррозии

возрастает до 0,5 мм/год [3], в насыщенных растворах — до 1 мм/год [43]. При температуре кипения в концентрированных растворах углеродистые стали нестойки [2, 176].

Серые чугуны при обычной температуре в растворах концентраций до 25% обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,3—0,8 мм/год) [5, 10], при концентрации от 30% до насыщенной скорость коррозии более 1 мм/год [1]. При температуре кипения в насыщенных растворах серые чугуны нестойки [176].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в растворах сульфата аммония концентрацией менее 43% стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [3, 88] (по данным работы [1], до 60 °С). В насыщенном растворе при температуре кипения такие чугуны нестойки [176].

Хромистые чугуны типа ЧХ28, ЧХ32 стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) в любых растворах сульфата аммония до температуры кипения [4, 61, 88].

Никелевые чугуны (нирезисты) с 12—14% Ni при нормальной температуре стойки (скорость коррозии <0,15 мм/год) в разбавленных (5—10%) растворах [5, 10, 61]. Никелевые чугуны, содержащие 14—32% Ni, в растворах концентрацией менее 43% стойки (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) до 50 °С, в насыщенном (~51%) растворе — до температуры кипения [3].

Высоколегированные стали. При температуре 20 °С хромистые стали типа Х13 в любых растворах сульфата аммония корродируют со скоростью до 0,5—1 мм/год, стали типа Х17 — со скоростью 0,1—1 мм/год, стали типа Х25, Х28 — со скоростью 0,1 мм/год. При температуре кипения в любых растворах сульфата аммония стали типа Х13—Х28 нестойки [1, 2, 43, 150].

Хромоникелевые аустенитные стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М3Т и двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т в любых растворах сульфата аммония остаются стойкими (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [1, 2, 112, 176]. По данным работы [3], при обычной температуре в любых растворах стали типа Х18Н10Т корродируют со скоростью 0,5—1,3 мм/год, стали типа Х17Н13М3Т — со скоростью 0,1—0,5 мм/год.

Высоколегированные стали с марганцем 08Х18Г8Н3М2Т, 10Х14Г14Н4Т стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) в разбавленных (10%) кипящих растворах сульфата аммония [2]. Сталь 07Х13АГ20 в нейтральных концентрированных растворах стойка до 60 °С [15].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ остаются стойкими (скорость коррозии 0,1 мм/год) в растворах сульфата аммония концентрацией менее 43% до 100 °С [1]. По данным работы [3], в любых растворах при температуре до 100 °С скорость коррозии сплавов 0,1—0,5 мм/год.

Никель и сплавы никеля. Никель в любых растворах сульфата аммония (рН > 7) и в твердой соли при температуре до 100 °С корродирует со скоростью 0,1—0,5 мм/год [3] (по данным работы [1], при 100 °С скорость коррозии до 1 мм/год).

Монель-металл в любых растворах сульфата аммония стоек до 100 °С, в твердой соли — до 75 °С (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [3]. По данным работ [1, 46, 61], монель-металл стоек в разбавленных (<10%) растворах при температуре до 40 °С.

Никельмолибденовые сплавы типа Н70МФВ, ХН65МВ в любых растворах сульфата аммония до 100 °С обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3] (по данным справочника [1], при 100 °С скорость коррозии до 1 мм/год).

Медь и медные сплавы. Медь, бронзы при обычной температуре в разбавленных (<10%) растворах сульфата аммония корродируют со скоростью до 0,3—0,6 мм/год [1, 46], в более концентрированных растворах и в твердой соли — со скоростью 0,5—1,3 мм/год [3]. При температуре 100 °С и концентраций растворов более 30% медь и бронзы нестойки [1]. Латунь в любых растворах сульфата аммония нестойки при обычной температуре [1, 3, 4].

Алюминий в растворах сульфата аммония при обычной температуре непригоден [3]. В 10%-ном растворе при 20 °С алюминий и его сплавы с марганцем, магнием и медью подвергаются питтинговой коррозии, хотя общая коррозия этих металлов менее 0,02 мм/год [4, 46]. В насыщенном растворе при температуре кипения алюминий и его сплав с кремнием (силумин) стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [176].

Свинец в растворах сульфата аммония концентрацией менее 43% при температуре до 50 °С стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1], при температуре до 100 °С в любых растворах скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год [3] (по другим данным [1, 46], до 0,9 мм/год).

Титан в растворах сульфата аммония концентрацией до 43% стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [1, 39].

Другие металлы. Тантал, платина в любых растворах сульфата аммония и в твердой соли стойки (скорость коррозии менее 0,05 мм/год) при температуре до 150 °С, серебро — до 70—80 °С [3]. Цирконий в растворах концентрацией менее 43% стоек до 50 °С [83].

35.14.2. Калия сульфат — K_2SO_4

Области применения металлических материалов в растворах сульфата калия ориентировочно показаны на рис. 35.17.

Углеродистые стали и серые чугуны в растворах сульфата калия концентрацией до 10% стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 80 °С, при температуре кипения скорость коррозии превышает 1 мм/год [1, 46, 179]. В растворах концентрацией более 10% углеродистые стали корродируют со скоростью 0,1—0,5 мм/год до температуры кипения, серые чугуны — до температуры 50 °С (при 75 °С скорость коррозии до 1,3 мм/год) [3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в любых растворах сульфата калия до температуры кипения и в твердой соли при обычной температуре обладают высокой стойкостью (скорость коррозии <0,05 мм/год) [1, 3, 61].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в любых растворах сульфата калия до температуры кипения и в твердой соли при обычной температуре корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Высоколегированные стали. Коррозионная стойкость хромистых сталей типа Х13 в растворах сульфата калия зависит от содержания углерода в стали. При 20 °С в растворах концентрацией менее 10% сталь 08Х13 корродирует со скоростью до 0,01 мм/год, сталь 20Х13 — со скоростью до 0,1 мм/год, сталь 30Х13 — со скоростью до 1,9 мм/год. При температуре кипения все стали типа

X13 нестойки (скорость коррозии 1 мм/год) [1, 46]. Скорость коррозии сталей типа X17 при температуре кипения в любых растворах сульфата калия менее 0,1 мм/год [112] (по другим данным [1, 46], до 1 мм/год).

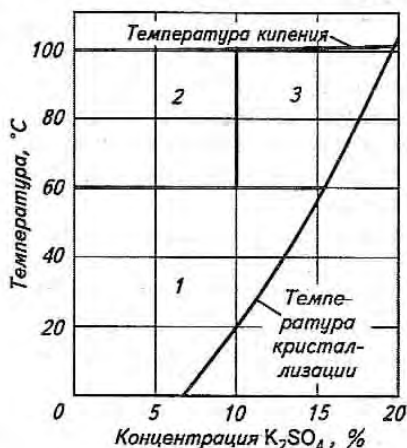


Рис. 35.17. Области применения металлических материалов в растворах сульфата калия:

1 — углеродистая сталь; серый чугун; кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа X17—X25, X18Н10Т, X17Н13М2Т; стали 08Х13—20Х13 (до 30 °С); 08Х22Н6Т; 08Х21Н6М2Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металл; медь; бронза; латунь; алюминий; свинец; титан; цирконий; тантал; серебро; платина; золото; 2 — углеродистая сталь (до 80 °С); кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа X17—X25 (до 80 °С), X18Н10Т, X17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т; 08Х21Н6М2Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; никель; монель-металл; медь; Sn-бронза, мельхиор; алюминий; свинец; титан; цирконий; тантал; серебро; платина; золото; 3 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа X18Н10Т, X17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т; 08Х21Н6М2Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; свинец; титан; цирконий; тантал; серебро; платина; золото

Хромоникелевые аустенитные стали типа X18Н10Т, X17Н13М3Т и двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т в любых растворах сульфата калия до температуры кипения стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 3, 15, 112].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в любых растворах сульфата калия стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) до температуры кипения [3].

Никель и сплавы никеля. Никель в растворах сульфата калия концентрацией менее 10% стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [1, 2], в более концентрированных растворах — удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [3].

Монель-металл в любых растворах сульфата калия стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) до температуры кипения [3]. Однако согласно работам [1, 2, 4] в растворах сульфата калия скорость коррозии монель-металла может достигать 1 мм/год.

Никельмолибденовый сплав Н70МФВ в разбавленных (10%) растворах сульфата калия удовлетворительно стоек (скорость коррозии <0,5 мм/год) при температуре до 60 °С, а сплав ХН65МВ уже при 20 °С корродирует со скоростью 0,1—0,8 мм/год [1]. По данным работы [3], такие сплавы в любых рас-

творях сульфата аммония стойки до температуры кипения (скорость коррозии $<0,05$ мм/год).

Медь и медные сплавы. Медь, бронза, латунь в растворах сульфата калия концентрацией до 10% при обычной температуре стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год), при 100°C — удовлетворительно стойки (скорость коррозии до $0,5$ мм/год) [1]. Согласно работе [3], медь, мельхиор, оловянистая латунь сохраняют стойкость (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) в любых растворах сульфата калия до температуры кипения.

Алюминий в растворах сульфата калия концентрацией менее 10% стоек (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до температуры кипения [1] (по данным работы [3], стоек в любых растворах).

Свинец в любых растворах сульфата калия до температуры кипения корродирует со скоростью менее $0,05$ мм/год [3].

Другие металлы. Титан, цирконий, тантал, серебро, платина, золото стойки (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) в любых растворах сульфата калия до температуры кипения и в твердой соли при обычной температуре [3].

35.14.3. Калия гидросульфат — KHSO_4

Металлы и сплавы в гидросульфате калия обладают следующей стойкостью.

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в любых растворах гидросульфата калия при нормальной температуре корродируют со скоростью менее $0,05$ мм/год, при температуре до 100°C — со скоростью $0,1$ — $0,5$ мм/год. В твердой соли и в расплаве (210°C) скорость коррозии кремнистых чугунов до $0,5$ мм/год [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х28 в любых растворах гидросульфата калия при нормальной температуре нестойки [1].

Хромоникелевые аустенитные стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в растворах гидросульфата калия концентрацией до 34% при обычной температуре обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии $0,1$ — 1 мм/год) [1]. По данным работы [3], стали типа Х18Н10Т в растворах концентрацией более 10% нестойки. Стали типа Х17Н13М2Т в 10%-ном растворе при температуре до 100°C корродируют со скоростью менее $0,5$ мм/год.

Двухфазная сталь 06Х22Н6Т в растворе гидросульфата калия концентрацией 25% при температуре 100°C корродирует со скоростью менее $0,01$ мм/год [15].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в любых растворах гидросульфата калия при температуре до 100°C удовлетворительно стойки (скорость коррозии $0,05$ — $0,5$ мм/год) [3] (по другим данным [1] — нестойки).

Никель и сплавы никеля. Никель в любых растворах гидросульфата калия при обычной температуре и в 10%-ном растворе при температуре до 100°C удовлетворительно стоек (скорость коррозии $0,05$ — $0,5$ мм/год) [3].

Монель-металл в любых растворах гидросульфата калия и в твердой соли при температуре до 100°C корродирует со скоростью $0,05$ — $0,5$ мм/год [3].

Никельмолибденовый сплав типа Н70МФВ в любых растворах гидросульфата калия удовлетворительно стоек при температуре до 100°C (скорость коррозии $0,05$ — $0,5$ мм/год) [3].

Медь в любых деаэрированных растворах гидросульфата калия при температуре до 100°C корродирует со скоростью $0,5$ — $1,3$ мм/год [3].

Алюминий в разбавленных (10%) растворах гидросульфата калия при обычной температуре стоек (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [3].

Свинец в любых растворах гидросульфата калия и в твердой соли при температуре до 100°C корродирует со скоростью $0,05\text{--}0,5$ мм/год [3].

Титан при обычной температуре стоек (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) в растворах гидросульфата калия концентрацией до 30% [39].

Другие металлы. Тантал, серебро, платина, золото в любых растворах гидросульфата калия и в твердой соли остаются стойкими (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) при температуре до 100°C [3].

Углеродистая сталь и серый чугун нестойки в растворах гидросульфата калия при обычной температуре [3].

35.14.4. Натрия сульфат — Na_2SO_4

Области применения металлических материалов в растворах сульфата натрия ориентировочно показаны на рис. 35.18.

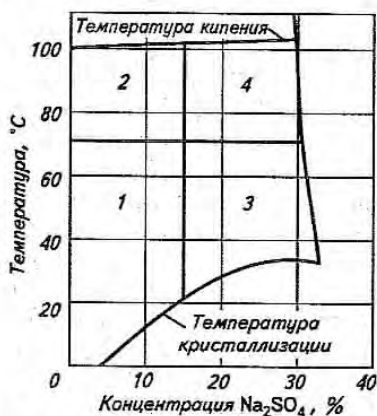


Рис. 35.18. Области применения металлических материалов в растворах сульфата натрия:

1 — углеродистая сталь; серый чугун; кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа Х13—Х28, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т; 08Х21Н6М2Т; 08Х18Г8Н3М2Т; 10Х14Г14Н4Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН65МВ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металл; медь; бронза; латуны; мельхиор; алюминий; свинец; сурьмянистый свинец; титан; цирконий; тантал; серебро; платина; золото; 2 — кремнистый чугун ЧС17; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32 (до 10%); никелевый (14—32% Ni) чугун (до 10%); сталь типа Х13—Х28, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т; 08Х21Н6М2Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН65МВ; Н70МФВ-ВИ; никель; медь; бронза; латуны; мельхиор; алюминий; свинец; сурьмянистый свинец; титан; цирконий; тантал; серебро; платина; золото; 3 — кремнистый чугун ЧС15; ЧС17; сталь типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т; 08Х21Н6М2Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН65МВ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металл; медь; бронза; латуны; алюминий; свинец; титан; серебро; 4 — кремнистый чугун ЧС17; мельхиор; цирконий; тантал; платина; золото

Углеродистые стали и серые чугуны в растворах сульфата натрия концентрации менее 16% при температуре до 80°C корродируют со скоростью $0,1\text{--}0,25$ мм/год [1, 179, 184], при температуре кипения — со скоростью до $0,5$ мм/год [3]. В твердой соли при температуре до 100°C скорость коррозии стали и чугуна $0,05\text{--}0,5$ мм/год [3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в любых растворах сульфата натрия стойки (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) до температуры кипения [3]. По данным работ [61, 88], в растворах концентрацией 10—16% при кипении скорость коррозии чугуна ЧС15 может достигать 1 мм/год, а чугуны ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3 остаются стойкими (скорость коррозии $<0,1$ мм/год). В твердой соли при температуре до 100°C скорость коррозии кремнистых чугунов менее $0,05$ мм/год, при температуре до 250°C — менее $0,5$ мм/год [3].

Хромистые чугуны типа ЧХ28, ЧХ32 в растворах сульфата натрия концентрацией менее 10% стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до температуры кипения [4, 46].

Никелевые чугуны, содержащие 12—15% Ni, при нормальной температуре стойки (скорость коррозии $<0,15$ мм/год) в растворах сульфата натрия концентрацией до 16% [61]. Никелевые чугуны (14—32% Ni) в 10%-ном растворе сульфата натрия до температуры кипения корродируют со скоростью $0,05$ — $0,5$ мм/год [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13, Х17 в растворах сульфата натрия концентрацией до 16% при обычной температуре стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1, 46, 112, 184]. При температуре кипения в растворах концентрацией до 10—16% стали остаются стойкими (скорость коррозии $0,1$ мм/год) [46, 61, 88], в более концентрированных растворах — нестойки [1]. Хромистые стали типа Х25, Х28 при температуре кипения в растворах сульфата натрия концентрацией до 16% стойки (скорость коррозии $0,1$ мм/год) [1, 61]. Сталь 01Х25ТБЮ—ВИ достаточно стойка (скорость коррозии $0,14$ мм/год) в упариваемом растворе сульфата натрия (~30%) при температуре 170°C [27].

Хромоникелевые аустенитные стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М3Т в любых растворах сульфата натрия стойки до температуры кипения (скорость коррозии $0,1$ мм/год) [88, 112, 150, 184] (по другим данным [3, 61], скорость коррозии до $0,5$ — 1 мм/год). В твердой соли такие стали стойки (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) до температуры 200°C [3].

Двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т в растворах концентрацией 5—32% остаются стойкими (скорость коррозии $0,1$ мм/год) до температуры кипения [15, 112].

Высоколегированные стали с марганцем 08Х18Г8Н3М2Т, 10Х14Г14Н4Т сохраняют высокую стойкость (скорость коррозии $<0,01$ мм/год) в разбавленных (7%) растворах сульфата натрия до 75°C [2, 15]. При температуре кипения в растворах концентрацией 10% сталь 08Х18Г8Н3М2Т корродирует со скоростью $0,1$ — $0,5$ мм/год, сталь 10Х14Г14Н4Т — со скоростью $0,5$ — 1 мм/год [1, 15]. В насыщенном кипящем растворе сталь 08Х18Г8Н3М2Т нестойка [46].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в растворах сульфата натрия концентрацией до 16% при температуре кипения корродируют со скоростью менее $0,1$ мм/год [1], в более концентрированных растворах — со скоростью $0,1$ — $0,5$ мм/год [3]. В твердой соли сплавы стойки (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) до температуры 200°C [3].

Никель и сплавы никеля. Никель в любых растворах сульфата натрия до температуры кипения удовлетворительно стоек (скорость коррозии $0,1$ — $0,5$ мм/год) [3] (по другим данным [1, 2], скорость коррозии до 1 мм/год).

Монель-металл в растворах сульфата натрия концентрацией менее 10% до температуры кипения остается стойким (скорость коррозии $<0,05$ мм/год), в более концентрированных растворах скорость коррозии возрастает до $0,1—0,5$ мм/год [3].

Никелевые сплавы типа Н70МФВ, ХН65МВ в любых растворах сульфата натрия до температуры кипения разрушаются со скоростью $0,1—0,5$ мм/год [3] (по данным работы [1] — до 1 мм/год). В твердой соли сплавы стойки (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) до $70—80$ °С [3].

Медь и медные сплавы. Медь, бронзы в растворах сульфата натрия концентрацией до 16% стойки до температуры кипения (скорость коррозии $0,1$ мм/год) [1, 88]. По данным работы [3], в любых растворах сульфата натрия до температуры кипения медь, латуни корродируют со скоростью $0,1—0,5$ мм/год, мельхиоры — со скоростью менее $0,05$ мм/год.

Алюминий и его сплавы с марганцем, магнием и медью в растворах сульфата натрия концентрацией менее 16% стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до температуры кипения [1, 4, 5, 61], в более концентрированных растворах скорость коррозии алюминия возрастает до $0,1—0,5$ мм/год [3].

Свинец в любых растворах сульфата натрия удовлетворительно стоек до температуры кипения (скорость коррозии $0,1—0,5$ мм/год) [1, 46, 61] (по данным работы [1], скорость коррозии до 1 мм/год). Сурьмянистый свинец в 10%-ном растворе отличается высокой стойкостью (скорость коррозии $0,02$ мм/год) до температуры кипения [88].

Титан в растворах сульфата натрия концентрацией менее 16% до температуры кипения стоек (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [39], в более концентрированных растворах — удовлетворительно стоек (скорость коррозии $0,1—0,5$ мм/год) [3].

Другие металлы. Цирконий, тантал, серебро, платина, золото практически не подвергаются коррозии в любых растворах сульфата натрия до температуры кипения [3]. По данным работ [1, 2], серебро нестойко в насыщенном растворе сульфата натрия при температуре кипения.

35.14.5. Натрия гидросульфат — NaHSO_4

Металлы и сплавы в гидросульфате натрия обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в растворах гидросульфата натрия концентрацией более 5% при обычной температуре нестойки [1, 3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в растворах гидросульфата натрия концентрацией до 40% сохраняют стойкость до 100 °С (скорость коррозии $<0,05$ мм/год), чугуны ЧС15М4, ЧС17М3, дополнительно легированные молибденом, — до температуры кипения [45]. В твердой соли и в расплаве (182 °С) кремнистые чугуны стойки (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) до 200 °С [3, 4].

Высокохромистые чугуны ЧХ28, ЧХ32 в разбавленных (10%) растворах стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) при температуре до 100 °С [4, 46].

Никелевые чугуны (нирезисты) при обычной температуре применимы в любых растворах гидросульфата натрия [46], никелевые чугуны с $14—32\%$ Ni корродируют со скоростью $0,5—1,3$ мм/год [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13 при 20 °С удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,5—1 мм/год) в растворах гидросульфата натрия концентрацией до 5%, стали Х17 — в растворах концентрацией до 10%. В более концентрированных растворах и при повышении температуры до 50 °С стали типа Х13, Х17 нестойки [2]. Хромистые стали типа Х25, Х28 в растворах гидросульфата натрия концентрацией до 22% при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год), при температуре кипения — удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) [1, 2]. По данным работы [4], стали типа Х13—Х25 стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) в растворах гидросульфата натрия до 100 °С.

Хромоникелевые аустенитные стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т при обычной температуре в любых растворах гидросульфата натрия обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год). При температуре кипения в растворах концентрацией 10% стали типа Х17Н13М2Т удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год), стали типа Х18Н10Т — нестойки [2, 3]. По данным работы [4], стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) в растворах гидросульфата натрия до 100 °С.

Двухфазные аустенитно-ферритные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т при 20 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) в растворах гидросульфата натрия концентрацией менее 40% [2]. В растворе концентрацией 10% сталь 08Х22Н6Т сохраняет стойкость до температуры 50 °С [112]. Сталь 08Х21Н6М2Т в 10%-ном растворе обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) до температуры кипения, в 15%-ном растворе — до 85 °С [2].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в растворах гидросульфата натрия концентрацией менее 40% стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) при температуре до 100 °С [1, 3].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл в растворах гидросульфата натрия концентрацией до 22% при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год), при 100 °С скорость коррозии монель-металла возрастает до 1 мм/год [1]. В деаэрированных растворах концентрацией менее 40—50% при температуре до 100 °С никель и монель-металл корродируют со скоростью 0,1—0,5 мм/год [3].

Никельмолибденовые сплавы Н70МФВ, ХН65МВ в растворах гидросульфата натрия концентрацией до 22% при температуре 100 °С обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии <0,5 мм/год) [1]. В растворах концентрацией менее 10% сплавы типа ХН65МВ стойки до 80 °С (скорость коррозии 0,1 мм/год), сплавы типа Н70МФВ — до температуры кипения [45]. По данным работы [3], сплавы типа Н70МФВ, ХН65МВ в любых растворах гидросульфата натрия при температуре ниже 50 °С корродируют со скоростью 0,1—0,5 мм/год, при температуре ниже 100 °С — со скоростью 0,5—1,3 мм/год.

Медь и медные сплавы. Медь, мельхиор при температуре ниже 100 °С удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) в деаэрированных растворах гидросульфата натрия концентрацией до 50%, латунь — до 10% [3], бронза — до 20% [1].

Алюминий и его сплавы с кремнием, марганцем, магнием в растворах гидросульфата натрия концентрацией менее 10% при обычной температуре стойки

(скорость коррозии 0,1—0,2 мм/год) [1, 4]. В растворах концентрацией менее 50% при температуре до 75 °С алюминий корродирует со скоростью 0,1—0,5 мм/год, при 100 °С — нестойк [1, 3].

Свинец в растворах гидросульфата натрия концентрацией до 50% при температуре ниже 100 °С удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [3], при температуре кипения — нестойк [1]. В разбавленных (до 10%) растворах свинец остается стойким (скорость коррозии 0,1 мм/год) до температуры кипения, сурьмянистый свинец — до 95 °С [45].

Титан в растворах гидросульфата натрия концентрацией менее 30% при обычной температуре стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 3, 10], при 100 °С — нестойк [1].

Другие металлы. Цирконий, серебро, платина, золото при температуре ниже 100 °С стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) в растворах гидросульфата натрия концентрацией до 50%, тантал — в растворах концентрацией до 20% [3].

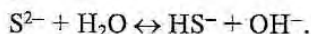
35.15. Сульфиды — M_2S и гидросульфиды — MHS

Сульфиды большинства металлов, в том числе сульфиды щелочноземельных металлов, трудно растворимы в воде, сульфиды щелочных металлов и аммония удовлетворительно растворимы.

Сульфид натрия хорошо растворим в воде: 15,7% при 20 °С; 28,1% при 60 °С и 55,5% при 98 °С. Раствор концентрацией 30% кипит при температуре 120 °С; 40% — при 140 °С; 50% — при 160 °С. В насыщенном растворе концентрацией 62—63%, кипящем при 186,5 °С, начинается кристаллизация, и температура кипения постепенно снижается до ~184 °С.

Гидросульфиды аммония, калия и натрия в воде хорошо растворимы.

В растворах сульфиды подвергаются гидролизу с образованием гидросульфидов:



Так, в 4%-ном растворе Na_2S при 25 °С степень гидролиза более 86%. В результате растворы сульфидов имеют щелочной характер.

В растворах сульфиды окисляются кислородом воздуха с образованием сульфатов. Сульфид аммония в водных растворах разлагается с образованием гидросульфида аммония и аммиака.

Сульфиды корродирующих металлов из-за низкой растворимости могут образовывать осадки, влияющие на процесс коррозии.

35.15.1. Аммония сульфид — $(NH_4)_2S$

Металлы и сплавы в сульфиде аммония обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали при нормальной температуре в любых растворах сульфида аммония нестойки [1, 2, 61]. По данным работы [3], в 10%-ном растворе при температуре до 100 °С скорость коррозии углеродистой стали составляет 0,1—0,5 мм/год.

Серые чугуны при обычной температуре в любых растворах сульфида аммония удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) [1].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 при комнатной температуре сохраняют стойкость (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год) в любых растворах сульфида аммония [1].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13 в любых растворах сульфида аммония при температуре 20°C стойки (скорость коррозии до $0,1$ мм/год) [1, 2]. Согласно работе [88], такие стали в указанных условиях подвергаются заметной коррозии.

Хромоникелевые аустенитные стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М3Т при нормальной температуре стойки (скорость коррозии менее $0,1$ мм/год) в любых растворах сульфида аммония [1, 2]. По данным работы [3], в разбавленных (10%) растворах сульфида аммония и в твердой соли такие стали удовлетворительно стойки при температуре до 100°C .

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в растворах сульфида аммония концентрацией менее 10% при температуре до 100°C корродируют со скоростью $0,05$ — $0,5$ мм/год [3].

Никель и сплавы никеля. Никель в любых растворах сульфида аммония при 20°C корродирует со скоростью $0,1$ — 1 мм/год, монель-металл — со скоростью менее $0,5$ мм/год [1]. По данным работы [3], в разбавленных (10%) растворах сульфида аммония при температуре до 100°C скорость коррозии никеля и монель-металла составляет $0,05$ — $0,5$ мм/год.

Никельмолибденовый сплав Н70МФВ при обычной температуре сохраняет стойкость (скорость коррозии до $0,1$ мм/год) в любых растворах сульфида аммония [1].

Медь и медные сплавы. Медь, бронза, латунь при 20°C в любых растворах сульфида аммония и в твердой соли нестойки [1, 3].

Алюминий в любых растворах сульфида аммония практически не подвергается коррозии до 100°C [1, 2, 46]. Согласно работе [3], в растворе сульфида аммония концентрацией 10% и в твердой соли при температуре до 100°C скорость коррозии алюминия составляет $0,05$ — $0,5$ мм/год.

Свинец при нормальной температуре удовлетворительно стоек (скорость коррозии $0,1$ — 1 мм/год) в любых растворах сульфида аммония [1]. В 10%-ном растворе и в твердой соли при температуре до 100°C скорость коррозии свинца $0,5$ — $1,3$ мм/год [3].

Титан стоек (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год) в насыщенных растворах сульфида аммония до температуры кипения [39].

Другие металлы. Тантал в любых растворах сульфида аммония и в твердой соли до 100°C стоек (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год) [1, 3].

Платина в растворах сульфида аммония при обычной температуре корродирует со скоростью $0,1$ — $0,5$ мм/год [2], серебро — нестойко [1, 3].

35.15.2. Калия сульфид — K_2S

Металлы и сплавы в сульфиде калия обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали в растворах сульфида калия даже при нормальной температуре нестойки [2—4].

Серые чугуны корродируют со скоростью $0,1$ — $0,5$ мм/год в 10%-ном растворе сульфида калия при температуре до 50°C , в твердой соли — при температуре до 100°C [3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в разбавленных (10%) растворах сульфида калия при обычной температуре нестойки, никелевые чугуны (14—32% Ni) — стойки (скорость коррозии <0,5 мм/год) [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х17, Х25 при комнатной температуре стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) в очень разбавленных (<1%) растворах сульфида калия [112], в более концентрированных растворах — нестойки [2, 46].

Хромоникелевые аустенитные стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М3Т при обычной температуре в растворах сульфида калия стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) [2, 46, 112]. По данным работы [3], в 10%-ном растворе сульфида калия и в твердой соли при обычной температуре такие стали удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год).

Двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т при нормальной температуре в растворах сульфида калия стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) [2, 46, 112].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ при обычной температуре в растворах сульфида калия отличаются высокой стойкостью (скорость коррозии 0,01 мм/год) [2] (по другим данным [3], скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл при обычной температуре в растворах сульфида калия и в твердой соли нестойки [3].

Никельмолибденовые сплавы типа ХН65МВ в разбавленных (10%) растворах сульфида калия при обычной температуре удовлетворительно стойки (скорость коррозии <0,5 мм/год) [3].

Медь и медные сплавы. Медь, оловянистая латунь при нормальной температуре в разбавленных (10%) растворах сульфида калия и в твердой соли нестойки, алюминиевая латунь в 10%-ном растворе корродирует со скоростью 0,1—0,5 мм/год [3].

Свинец в растворах сульфида калия при температуре до 100 °С удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [3].

Титан в растворах сульфида калия концентрацией менее 10% стоек (скорость коррозии 0,05 мм/год) до температуры 100 °С [3, 39].

Другие металлы. Золото, платина в растворах сульфида калия при обычной температуре обладают высокой стойкостью (скорость коррозии <0,01 мм/год) [2, 46].

Алюминий, серебро в растворах сульфида калия при комнатной температуре нестойки [2—4, 46].

35.15.3. Натрия сульфид — Na₂S

Области применения металлических материалов в растворах сульфида натрия ориентировочно показаны на рис. 35.19.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали при нормальной температуре в очень разбавленных (до 0,8%) растворах сульфида натрия корродируют со скоростью 0,1—1 мм/год [46, 61], в более концентрированных растворах — со скоростью менее 0,1 мм/год [61], в насыщенных растворах — со скоростью менее 0,02 мм/год [1, 5, 185]. С повышением температуры коррозия усиливается, и стали обладают удовлетворительной стойкостью (скорость

коррозии 0,1—1 мм/год) в растворах концентрацией менее 8% при температуре до 80 °С [186], в насыщенных растворах — при температуре до 60 °С [1]. В 25%-ном растворе при 70 °С скорость коррозии углеродистой стали составляет 0,04 мм/год, при 108 °С — 0,5 мм/год [185].

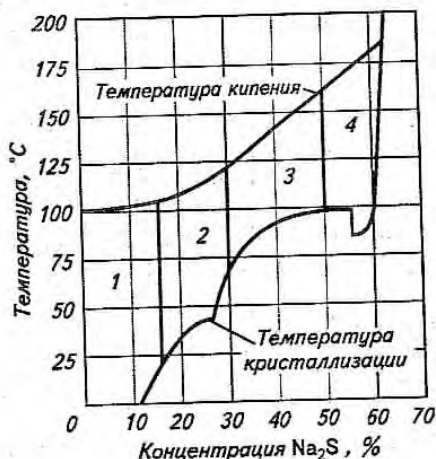


Рис. 35.19. Области применения металлических материалов в растворах сульфида натрия:

1 — углеродистая сталь (до 60—80 °С); серый чугун (до 30—50 °С); кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; хромистый чугун ЧХ32, ЧХ34; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа X13—X28, X18Н10Т, X17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т; 08Х21Н6М2Т; 20Х25Н20С2; 08Х18Г8Н3М2Т; 10Х14Г14Н4Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН65МВ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металл; титан; тантал; платина; золото; 2 — углеродистая сталь (до 25%); серый чугун (до 25%, 80 °С); кремнистый чугун ЧС15, ЧС17 (до 100 °С); хромистый чугун ЧХ32, ЧХ34; никелевый (14—32% Ni) чугун (до 100 °С); сталь типа X25—X28, X18Н10Т (до 70 °С), X17Н13М2Т (до 100 °С); стали 08Х22Н6Т; 08Х21Н6М2Т; 20Х25Н20С2; 08Х18Г8Н3М2Т; 10Х14Г14Н4Т; сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ (до 60—80 °С); ХН65МВ, Н70МФВ-ВИ (до 80—100 °С); никель (до 60—70 °С); монель-металл; титан; тантал; платина; золото; 3 — хромистый чугун ЧХ32, ЧХ34; никелевый (14—32% Ni) чугун (до 40%, 100 °С); сталь типа X25—X28 (до 130—140 °С); стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т (до 40—45%); сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ (до 80—100 °С); монель-металл (до 100 °С); титан (до 120—130 °С); тантал, платина, золото (до 100 °С); 4 — хромистый чугун ЧХ32, ЧХ34; сталь типа X25—X28 (до 130—140 °С); тантал; платина; золото

Серые чугуны при обычной температуре в растворах сульфида натрия концентрацией до 16% стойки (скорость коррозии 0,1—0,3 мм/год), при 170 °С — нестойки [1, 185]. В 25%-ном растворе при 70 °С скорость коррозии серых чугунов 0,4 мм/год, при 108 °С — скорость коррозии до 1,5 мм/год [185]. С увеличением концентрации растворов до 48—55% при температуре 120—130 °С серые чугуны корродируют со скоростью 0,5—0,7 мм/год, при 160—170 °С — нестойки [186, 187].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в растворах сульфида натрия концентрацией менее 30% стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) при температуре до 100 °С [3].

Хромистые чугуны ЧХ32, ЧХ34 в растворах сульфида натрия концентрацией менее 50% остаются стойкими (скорость коррозии 0,1 мм/год) до температуры кипения [4, 88, 102].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в растворах сульфида натрия концентрацией менее 40% сохраняют стойкость до 100 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год), при температуре 125 °С — скорость коррозии 0,5—1,3 мм/год [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X13, X17 при температуре кипения стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) в растворах сульфида натрия концентрацией менее 6,5% [1, 112] (по другим данным [46, 150] — концентрацией до 25%). Стали типа X25, X28 в растворах концентрацией менее 16% остаются стойкими (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [1], в растворах концентрацией 48—63% — до температуры 130—180 °С (скорость коррозии <0,3 мм/год) [186, 187].

Суперферритная сталь 01X25ТБЮ-ВИ в упариваемом растворе сульфида натрия при температуре 130 °С корродирует со скоростью 0,02—0,2 мм/год [27].

Аустенитные хромоникелевые стали типа X18Н10Т, X17Н13М2Т при температуре кипения стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) в растворах сульфида натрия концентрацией до 16% [1, 88] (по другим данным [4, 61, 102], концентрацией до 50%). В насыщенных растворах (55—63%) при температуре кипения стали нестойки [1, 187]. Согласно работе [3], стали типа X18Н10Т удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) в растворах концентрацией менее 20% при температуре до 75 °С, стали типа X17Н13М2Т — в растворах концентрацией менее 40% при температуре до 100 °С.

Двухфазные стали 08X22Н6Т, 08X21Н6М2Т в растворах сульфида натрия концентрацией менее 50% при температуре кипения стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) [1, 112], в растворах концентрацией 50—55% при температуре 160 °С — удовлетворительно стойки (скорость коррозии до 0,6 мм/год) [186, 187].

Высоколегированные стали с марганцем 08X18Г8Н3М2Т, 10X14Г14Н4Т стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) в кипящих растворах сульфида натрия концентрацией до 50%, при концентрации 50—55% и температуре 160 °С — нестойки [2, 186, 187].

Сталь 03X21Н21М4Б в кипящих концентрированных (47—70%) растворах сульфида натрия нестойка [187]. Сталь 20X25Н20С2 в растворах концентрацией до 25% при температуре до 108 °С практически не подвергается коррозии [185].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в растворах сульфида натрия концентрацией менее 16% стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) до температуры 100 °С [1]. В растворах концентрацией 48—57% при 160—170 °С скорость коррозии сплавов до 0,5 мм/год, при концентрации 62—63% и температуре 180—187 °С — скорость коррозии 0,7—1,5 мм/год [187]. Согласно работе [3], сплавы стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) в растворах концентрацией менее 30% до 50 °С и удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) при концентрации менее 50% до 100 °С.

Никель и сплавы никеля. Никель в растворах сульфида натрия концентрацией менее 40% при температуре до 100 °С корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год, в растворах концентрацией до 62—63% при температуре 125—187 °С — со скоростью 0,5—1,5 мм/год [3, 187].

Монель-металл в растворах концентрацией до 50% удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) при температуре ниже 150 °С [3].

Никельмолибденовые сплавы типа Н70МФВ, ХН65МВ при температуре ниже 100 °С в растворах сульфида натрия концентрацией до 50% корроди-

руют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3]. При температуре кипения в растворах концентрацией 48—57% скорость коррозии сплава Н70МФВ достигает 0,3—0,5 мм/год, в растворах концентрацией 62—63% — 1—1,1 мм/год [187].

Алюминий в растворах сульфида натрия концентрацией менее 30% стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) при температуре до 100 °С [3]. По данным работ [1, 4], алюминий и его сплавы с кремнием, марганцем, магнием неприменимы в растворах сульфида натрия концентрацией до 16% при обычной температуре.

Свинец в растворах сульфида натрия концентрацией менее 30% сохраняет стойкость (скорость коррозии <0,05 мм/год) при температуре до 100 °С [3]. Согласно работам [1, 46, 61], свинец неприменим в растворах сульфида натрия.

Титан в растворах сульфида натрия концентрацией менее 16% до температуры кипения корродирует со скоростью менее 0,1 мм/год [1, 39], при концентрации 50—55% и температуре 120—160 °С — со скоростью 0,1—0,2 мм/год [186]. В растворах концентрацией 48—57% при температуре 160—170 °С титан нестойк [187].

Другие металлы. Тантал, платина, золото практически не подвергаются коррозии в растворах сульфида натрия концентрацией менее 50% при температуре до 100 °С [1, 3]. По данным работ [4, 46, 61, 62], золото и платина неприменимы в растворах и расплавах сульфида натрия.

Медь, бронза, латунь, мельхиор, серебро при обычной температуре нестойки в растворах сульфида натрия концентрацией менее 50% [1, 3, 61].

35.15.4. Натрия гидросульфид — NaHS

По данным работы [3], металлы и сплавы в растворах гидросульфида натрия обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали в растворах гидросульфида натрия концентрацией 40—50% при температуре 70 °С корродируют со скоростью 0,5—1,3 мм/год, серые чугуны — со скоростью более 1,3 мм/год.

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в указанных условиях по стойкости не отличаются от серых чугунов.

Высоколегированные стали. Аустенитные хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в растворах гидросульфида натрия концентрацией до 10% стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) при температуре до 100 °С, в более концентрированных (<50%) растворах — до 70—75 °С.

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в растворах гидросульфида натрия по стойкости не отличаются от хромоникелевых сталей.

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл при обычной температуре в растворах гидросульфида натрия концентрацией менее 30% стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год). В растворах концентрацией 40—50% эти металлы остаются стойкими при температуре до 75 °С.

Никелевые сплавы типа ХН65МВ при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) в растворах гидросульфида натрия концентрацией менее 30%.

35.16. Сульфиты — M_2SO_3 и гидросульфиты — $MHSO_3$

Средние соли сернистой кислоты — сульфиты — почти все нерастворимы в воде (за исключением солей калия, натрия, бария и аммония). Причем с повышением температуры растворимость сульфита натрия сначала увеличивается (~ до 33 °C), а затем снижается. Растворимость сульфита аммония составляет: при 20 °C — 37,8%, при 60 °C — 51%, при 100 °C — 60,4%; растворимость сульфита натрия соответственно — 20,7; 24,9 и 21,0%, а растворимость сульфита калия — 51,7; 52,3 и 53,3%.

Сульфиты являются сильными восстановителями и в растворах окисляются кислородом воздуха до соответствующих сульфатов. Из-за гидролиза растворы сульфитов проявляют щелочную реакцию.

Кислые соли сернистой кислоты щелочных металлов хорошо растворимы в воде. Растворимость гидросульфита аммония при температуре 20 °C составляет 76,9%, при 60 °C — 84,7%; растворимость гидросульфита калия при 20 °C — 32,9%, при 100 °C — 53,5%. При нагреве водных растворов гидросульфитов калия и натрия образуются $K_2S_2O_5$ и $Na_2S_2O_5$. Насыщенный раствор гидросульфита натрия при 15 °C содержит 39,2%, а при 97,5 °C — 49,1% $NaHSO_3$.

В водных растворах гидросульфиты проявляют свойства восстановителей, что затрудняет наступление и сохранение пассивного состояния металлов. Растворы гидросульфитов обладают кислой реакцией и в коррозионном отношении ведут себя как разбавленные растворы сернистой кислоты. По коррозионной активности растворы гидросульфитов калия и натрия отличаются мало, и представленные данные можно использовать для оценки стойкости металлов и сплавов как в одних растворах, так и в других.

35.16.1. Аммония сульфит — $(NH_4)_2SO_3$

Металлы и сплавы в растворах сульфита аммония обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны при нормальной температуре в любых растворах сульфита аммония нестойки [1, 3], в растворах щелочного характера ($pH > 8$) скорость коррозии не превышает 1,3 мм/год [45].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в растворах сульфита аммония концентрацией менее 50% остаются стойкими (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) при температуре до 100 °C [1, 3, 4], в насыщенном растворе при температуре кипения скорость коррозии возрастает до 1 мм/год [88].

Хромистые чугуны ЧХ28, ЧХ34 в растворах сульфита аммония концентрацией до 38% стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) до температуры 100 °C [4, 45, 46].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) при обычной температуре в растворах сульфита аммония концентрацией менее 38% нестойки [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х28 в растворах сульфита аммония концентрацией менее 38% стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) до температуры кипения [1, 88, 112]. По данным работы [4], при температуре кипения такие стали нестойки.

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т в 10%-ном растворе сульфита аммония и в твердой соли при температуре до 100 °C корродируют со скоростью

0,5—1,3 мм/год. Стали типа X17H13M2T в растворах концентрацией менее 50% удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) до температуры 150 °С [3].

По данным работ [1, 62, 88, 112], стали типа X18H10T, X17H13M2T и стали 08X22H6T, 08X21H6M2T сохраняют стойкость (скорость коррозии 0,1 мм/год) в растворах сульфата аммония концентрацией менее 38% до температуры кипения.

Сплавы на железоникелевой основе 03XH28MДТ, 06XH28MДТ в растворах сульфата аммония при концентрации менее 38% стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) до температуры кипения [1]. Согласно работе [3], такие сплавы в растворах концентрацией 10—50% при температуре до 150 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл в растворах сульфата аммония концентрацией менее 38% при комнатной температуре нестойки [1, 3, 68].

Никельмолибденовый сплав Н70МФВ в растворах концентрацией менее 38% при обычной температуре стоек (скорость коррозии 0,1 мм/год) [1], при температуре до 100 °С — корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3]. Сплавы типа ХН65МВ в любых растворах сульфата аммония стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) при температуре до 100 °С [3].

Алюминий при нормальной температуре в любых растворах сульфата аммония корродирует со скоростью до 0,5 мм/год [1] (по данным работы [3], до 1,3 мм/год).

Свинец в растворах сульфата аммония концентрацией менее 38% при температуре до 100 °С стоек (скорость коррозии 0,1 мм/год) [1]. По данным работы [3], в этих условиях скорость коррозии свинца 0,1—0,5 мм/год.

Другие металлы. Тантал сохраняет стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год) в растворах сульфата аммония концентрацией менее 38% до температуры кипения [1], при концентрации 60% — до температуры 100 °С [3].

Медь, бронза, латунь, серебро при комнатной температуре в любых растворах сульфата аммония нестойки [1, 3]. Коррозию меди и ее сплавов усиливает присутствие в растворах свободного аммиака [45].

35.16.2. Аммония гидросульфат — NH_4HSO_3

Металлы и сплавы в гидросульфите аммония обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны при нормальной температуре в растворах гидросульфита аммония и в твердой соли нестойки [3].

Высоколегированные стали. Хромоникелевые аустенитные стали типа X18H10T, X17H13M2T в растворе гидросульфита аммония концентрацией около 80% (рН 4—4,5) при температуре до 60 °С обладают высокой стойкостью (скорость коррозии 0,01 мм/год) [15, 188]. В твердой соли при температуре до 100 °С такие стали удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Двухфазные стали 08X22H6T, 08X21H6M2T в растворе концентрацией ~80% при 60 °С остаются стойкими (скорость коррозии <0,02 мм/год) [15, 188].

Высоколегированные стали с марганцем 10X14AГ15, 08X18Г8H2T в этих условиях корродируют со скоростью менее 0,02 мм/год [188].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ, а также сталь 03Х18Н20С3М3Д3Т в растворе гидросульфита аммония концентрацией около 80% (рН 4—4,5) при температуре до 60 °С отличаются очень высокой стойкостью (скорость коррозии 0,001 мм/год) [188]. В твердом гидросульфите аммония при температуре до 100 °С сплавы удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл в твердом гидросульфите аммония при обычной температуре корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Сплавы типа ХН65МВ в растворе гидросульфита аммония концентрацией 50% при температуре 150 °С удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год). В твердой соли при температуре 75 °С скорость коррозии таких сплавов 0,5—1,3 мм/год [3].

Алюминий применим в растворах гидросульфита аммония концентрацией менее 10% при температуре до 80 °С [62], при концентрации около 80% — до 60 °С (скорость коррозии <0,4 мм/год) [188].

Свинец в твердой соли при температуре до 75 °С стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Титан ВТ1-1 и сплавы АТ3, АТ4 в растворе гидросульфита аммония концентрацией около 80% (рН 4—4,5) при температуре до 60 °С обладают высокой стойкостью (скорость коррозии <0,005 мм/год) [188].

Другие металлы. Цирконий в твердой соли при температуре до 100 °С удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год), серебро удовлетворительно стойко при обычной температуре и нестойко при 100 °С.

Медь, латунь при комнатной температуре в растворах сульфита аммония концентрацией 10—30% нестойки [3].

35.16.3. Калия сульфит — K_2SO_3

Металлы и сплавы в растворах сульфита калия обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны при нормальной температуре в нейтральных растворах сульфита калия концентрацией до 2% удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—1 мм/год), в более концентрированных растворах — нестойки [1, 3]. В щелочных растворах (рН > 8) скорость коррозии сталей и чугунов до 1,3 мм/год [45].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в растворах сульфита калия любой концентрации при комнатной температуре нестойки [1, 3]. По данным работы [62], кремнистые чугуны применимы в растворах сульфита калия, в том числе при высокой температуре [88].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) при обычной температуре в растворах сульфита калия концентрацией 10% нестойки [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13, Х17 при обычной температуре в зависимости от концентрации растворов сульфита калия корродируют со скоростью 0,1—10 мм/год, при температуре 100 °С — нестойки в любых растворах [1].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в любых растворах сульфита калия при температуре до 100 °С удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ при комнатной температуре в любых растворах сульфата калия стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) [1], при температуре до 100 °С — корродируют со скоростью 0,1—0,5 мм/год [3].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металлы в растворах сульфата калия концентрацией 10% при 20 °С нестойки [3].

Никельмолибденовые сплавы Н70МФВ, ХН65МВ в растворах сульфата калия любой концентрации при комнатной температуре остаются стойкими (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1]. Сплавы типа Н70МФВ при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Медь и медные сплавы. Медь, оловянистая латунь в разбавленных (10%) растворах сульфата калия при обычной температуре удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год), алюминиевая латунь — нестойка [3].

Алюминий при комнатной температуре в 10%-ном растворе сульфата калия нестойк, в твердой соли — удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Свинец в разбавленных (10%) растворах сульфата калия (рН < 7) при температуре до 100 °С корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3]. При этом в растворах кислотного характера свинец стоек, а в щелочных растворах подвергается коррозии [1].

Другие металлы. Титан, цирконий в любых растворах сульфата калия при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год, серебро — со скоростью менее 0,05 мм/год [3].

35.16.4. Калия гидросульфит — KHSO_3

Металлы и сплавы в растворах гидросульфата калия обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны неприменимы в растворах гидросульфата калия при нормальной температуре [1—3, 111].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 и никелевые чугуны (14—32% Ni) в растворах гидросульфата калия при обычной температуре нестойки [1, 3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13, Х17 стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) в растворах гидросульфата калия концентрацией менее 50% до температуры кипения [46, 112].

Хромоникелевые аустенитные стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в любых растворах гидросульфата калия при температуре до 100 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 45, 46] (по данным работы [3], скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Двухфазные аустенитно-ферритные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т сохраняют стойкость (скорость коррозии 0,1 мм/год) в растворах гидросульфата калия концентрацией 5—40% до температуры кипения [112].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ при температуре до 100 °С в любых растворах гидросульфата калия корродируют со скоростью 0,1 мм/год [1] (по данным работы [3], со скоростью 0,05—0,5 мм/год).

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл в растворах гидросульфата калия при обычной температуре нестойки [1, 3].

Хромоникельмолибденовый сплав ХН63МБ в любых растворах гидросульфита калия стоек до температуры кипения (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1]. По данным работы [3], в 10%-ном растворе при температуре до 100°C сплавы типа ХН65МВ корродируют со скоростью $0,05\text{--}0,5$ мм/год.

Медь и медные сплавы. Медь, бронза стойки (скорость коррозии $0,1$ мм/год) в любых растворах гидросульфита калия с нейтральной реакцией, но так как обычно такие растворы имеют кислый характер, то скорость коррозии может увеличиваться до 1 мм/год [1]. В справочнике [45] рекомендуют применять эти металлы только в разбавленных ($<3\%$) растворах при обычной температуре.

Латуни, содержащие более 70% меди, в любых растворах гидросульфита калия стойки (скорость коррозии $0,1$ мм/год) при нормальной температуре и удовлетворительно стойки (скорость коррозии до 1 мм/год) при температуре кипения [1]. Согласно работе [3], алюминиевая и оловянистая латуни в 10%-ном растворе при обычной температуре удовлетворительно стойки (скорость коррозии $0,05\text{--}0,5$ мм/год), при 100°C — корродируют со скоростью $0,5\text{--}1,3$ мм/год.

Алюминий в растворах гидросульфита калия концентрацией 10% при обычной температуре корродирует со скоростью $0,1$ мм/год [1], при повышении температуры до 100°C — со скоростью $0,5\text{--}1,3$ мм/год [3]. Алюминий и его сплавы с кремнием, марганцем, магнием рекомендуется [45] применять в разбавленных (до 3%) растворах при обычной температуре.

Свинец в любых растворах гидросульфита калия обладает достаточной стойкостью (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до температуры 120°C [1]. По данным работы [3], в растворах концентрацией 10—20% при температуре до 100°C свинец корродирует со скоростью $0,05\text{--}0,5$ мм/год. Сурьмянистый свинец в разбавленных растворах можно применять до 120°C [45].

Титан обладает стойкостью в любых растворах гидросульфита калия до температуры 100°C , в растворах концентрацией менее 25% — до температуры кипения (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [39].

Другие металлы. Тантал при обычной температуре стоек в любых растворах гидросульфита калия [1].

35.16.5. Натрия сульфит — Na_2SO_3

Металлы и сплавы в растворах сульфита натрия обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в любых растворах сульфита натрия при нормальной температуре неприменимы [1, 46, 61]. В растворах щелочного характера ($\text{pH} > 8$) при температуре до 100°C углеродистые стали корродируют со скоростью $0,5\text{--}1,3$ мм/год [3]. По данным работы [189], в 20%-ном растворе при температуре до 60°C скорость коррозии сталей не превышает $0,2$ мм/год, но носит неравномерный характер с образованием язв.

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в любых растворах сульфита натрия стойки (скорость коррозии $0,1\text{--}0,5$ мм/год) до температуры кипения [1, 3, 61, 88].

Хромистые чугуны ЧХ28, ЧХ34 в указанных условиях остаются стойкими (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [4, 46].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в любых растворах сульфита натрия стойки до температуры кипения (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [3]. Никелевые чугуны (нирезисты) в разбавленных (<10%) растворах при обычной температуре обладают высокой стойкостью (скорость коррозии <0,02 мм/год) [4].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X13—X28 при температуре кипения стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) в любых растворах сульфита натрия [1, 102].

Аустенитные хромоникелевые стали типа X18N10T, X17N13M2T в любых растворах сульфита натрия стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) до температуры кипения [1, 88]. По данным работы [3], в растворах концентрацией до 20% стали типа X18N10T корродируют со скоростью 0,1—0,5 мм/год, в более концентрированных растворах — со скоростью 0,5—1,3 мм/год. Стали типа X17N13M2T в любых растворах при температуре до 75 °С корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год, при температуре кипения — со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Двухфазные стали 08X22N6T, 08X21N6M2T сохраняют стойкость (скорость коррозии 0,1 мм/год) в любых растворах сульфита натрия до температуры кипения [1, 112].

Высоколегированная сталь с марганцем 08X18Г8Н2Т в кипящих растворах сульфита натрия концентрацией 10—25% корродирует со скоростью менее 1 мм/год, сталь 10X14Г14Н4Т — со скоростью менее 0,5 мм/год [15].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в любых растворах сульфита натрия стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) до температуры кипения [3].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металлы в любых растворах сульфита натрия стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [1, 3].

Никельмолибденовый сплав Н70МФВ при 60 °С в растворах сульфита натрия концентрацией менее 21% щелочного характера корродирует со скоростью до 0,1 мм/год, а в растворах кислотного характера — со скоростью до 0,2 мм/год [1]. Сплавы типа ХН65МВ в любых растворах сульфита натрия остаются стойкими (скорость коррозии <0,05 мм/год) при температуре до 60 °С [1] и удовлетворительно стойкими (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) до температуры кипения [3].

Медь и медные сплавы. Медь, мельхиор (11—33% Ni) стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) в любых растворах сульфита натрия до температуры кипения [3].

Бронза (алюминиевая, кремнистая, оловянистая) в любых нейтральных растворах сульфита натрия применима до температуры 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [46].

Латуни оловянистые (>70% Cu) в растворе сульфита натрия концентрацией 10% при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,1—0,5 мм/год [3], алюминиевые латуни при обычной температуре — со скоростью менее 0,1 мм/год [1].

Алюминий в любых растворах сульфита натрия при температуре ниже 70 °С стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год), при 100 °С — удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3]. По данным справочника [1], при температуре 50 °С скорость коррозии алюминия до 0,3 мм/год.

Свинец стоек (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) в любых растворах сульфата натрия до температуры кипения [3]. Согласно справочным данным [1, 46], свинец и его сплавы с сурьмой при нормальной температуре удовлетворительно стойки (скорость коррозии $0,1-1$ мм/год).

Титан стоек (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) в растворах сульфата натрия концентрацией менее 21% при температуре ниже 75°C [1, 46]. По данным работ [3, 39], титан сохраняет стойкость (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) в любых растворах до температуры кипения.

Другие металлы. Тантал, серебро, платина, золото в любых растворах сульфата натрия сохраняют стойкость (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) до температуры кипения [1, 3].

35.16.6. Натрия гидросульфит — NaHSO_3

Металлы и сплавы в гидросульфите натрия обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны неприменимы в растворах гидросульфата натрия при нормальной температуре [1, 2, 4]. По данным работы [3], в растворах концентрацией до 20% ($\text{pH} < 7$) при обычной температуре углеродистые стали и серые чугуны корродируют со скоростью $0,1-0,5$ мм/год.

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в любых растворах гидросульфата натрия при температуре 20°C нестойки [1]. По данным работы [3], в растворах концентрацией до 40% при обычной температуре такие чугуны стойки (скорость коррозии $0,1-0,5$ мм/год), при 100°C — нестойки.

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в разбавленных (10%) растворах гидросульфата натрия при температуре 20°C нестойки [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X13—X28 в растворах гидросульфата натрия концентрацией менее 50% стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до температуры кипения [1, 4, 112].

Хромоникелевые аустенитные стали типа X18N10T, X17N13M2T в любых растворах гидросульфата натрия стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до 100°C [45, 46] (по другим данным [1, 4], до температуры кипения). Согласно работе [3], стали типа X18N10T в растворах концентрацией менее 50% при обычной температуре корродируют со скоростью $0,1-0,5$ мм/год, при температуре $50-100^\circ\text{C}$ — со скоростью $0,5-1,3$ мм/год, стали типа X17N13M2T — соответственно со скоростью менее $0,05$ и $0,5-1,3$ мм/год. Хромоникелевые стали в растворах гидросульфата натрия подвержены коррозионному растрескиванию.

Двухфазные аустенитно-ферритные стали 08X22N6T, 08X21N6M2T сохраняют стойкость (скорость коррозии $0,1$ мм/год) в растворах гидросульфата натрия концентрацией 5—40% до температуры кипения [15, 112].

Сплавы на железоникелевой основе 03XН28МДТ, 06XН28МДТ в любых растворах гидросульфата натрия стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до температуры кипения [1]. По данным работы [3], такие сплавы в растворах концентрацией 5—40% при температуре до 100°C корродируют со скоростью $0,05-0,5$ мм/год.

Никель и сплавы никеля. Никель в растворах гидросульфата натрия концентрацией до 40% применим при обычной температуре [1, 4, 62], монель-

металлы — при температуре до 80—100 °С (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [1, 3].

Никельмолибденовые сплавы типа Н70МФВ, ХН65МВ в растворах гидросульфита натрия концентрацией менее 40% и в твердой соли обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) до температуры 100 °С [3] (по данным работы [1], в любых растворах до температуры кипения).

Медь и медные сплавы. Медь, бронза при температуре до 100 °С стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) в растворах гидросульфита натрия с нейтральной реакцией, но так как обычно такие растворы имеют кислый характер, то скорость коррозии может увеличиваться до 1 мм/год [1] (по другим данным [3], более 1,3 мм/год). В справочнике [45] рекомендуют применять эти материалы только в разбавленных (<3%) растворах при температуре до 30 °С.

Латуни, содержащие более 70% меди, в любых растворах гидросульфита натрия при нормальной температуре корродируют со скоростью 0,1 мм/год, при температуре кипения — со скоростью до 1 мм/год [1]. По данным работы [3], алюминиевая латунь в растворах концентрацией менее 40% корродирует со скоростью 0,1—0,5 мм/год при температуре до 75 °С, мельхиор (11—33% Ni) — при температуре до 100 °С.

Алюминий в растворах гидросульфита натрия концентрацией до 10% при температуре ниже 70—80 °С корродирует со скоростью 0,1—0,5 мм/год [3], в более концентрированных растворах и при повышении температуры до 100 °С — со скоростью до 0,5—1,3 мм/год и более [1, 3, 4]. Алюминий и его сплавы с кремнием, марганцем, магнием рекомендуют [45] применять в разбавленных (<3%) растворах при обычной температуре.

Свинец в любых растворах гидросульфита натрия стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [1, 4]. По данным работы [3], в растворах концентрацией до 40% при температуре до 100 °С скорость коррозии свинца 0,05—0,5 мм/год. Сурьмянистый свинец в разбавленных (10%) растворах можно применять до 120 °С [45].

Титан обладает высокой стойкостью в растворах гидросульфита натрия. При температуре до 100 °С в растворах любой концентрации скорость коррозии титана менее 0,01 мм/год [1], при температуре кипения в растворе концентрацией 25% — менее 0,05 мм/год [39]. Согласно работе [3], в растворах концентрацией 10—40% при температуре до 100 °С скорость коррозии титана 0,05—0,5 мм/год.

Другие металлы. Тантал, серебро, платина, золото в любых растворах гидросульфита натрия при температуре до 100 °С стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) [1, 3].

35.17. Тиоцианаты — MNCS

Тиоцианаты (ранее — роданиды) некоторых щелочных металлов и аммония очень хорошо растворимы в воде, причем растворимость их мало изменяется с повышением температуры. Растворимость тиоцианата аммония достигает 62,9% при 20 °С; 73,6% при 50 °С и 81,2% при 70 °С, тиоцианата натрия соответственно 58,2; 64,3 и 69,1%. Растворимость тиоцианата калия: 68,4% при 20 °С; 76,7% при 50 °С и 86,2% при 100 °С.

35.17.1. Аммония тиоцианат — NH_4NCS

Металлы и сплавы в тиоцианате аммония обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в растворах тиоцианата аммония концентрацией до 70% при обычной температуре стойки (скорость коррозии 0,1—0,2 мм/год). При 60—70 °С углеродистые стали и серые чугуны корродируют со скоростью до 1—2,5 мм/год, при температуре кипения — нестойки [5, 190, 191]. Согласно работе [3], в 10%-ном растворе при обычной температуре скорость коррозии углеродистой стали 0,05—0,5 мм/год, серого чугуна — 0,5—1,3 мм/год.

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в растворах тиоцианата аммония концентрацией менее 50% стойки (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) при температуре до 100 °С.

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в разбавленных (10%) растворах тиоцианата аммония стойки (скорость коррозии <0,5 мм/год) при обычной температуре [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13, Х17 в растворах тиоцианата аммония концентрацией 14—69% корродируют со скоростью менее 1 мм/год при температуре ниже 40—50 °С, при температуре 100 °С — нестойки [191].

Аустенитные хромоникелевые стали типа Х18Н10Т в растворах тиоцианата аммония концентрацией ~14% удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,5 мм/год) до 100 °С, при концентрации 69% и температуре 100 °С — нестойки [191]. Стали типа Х17Н13М2Т в разбавленных (<11%) растворах при температуре до 50 °С сохраняют высокую стойкость (скорость коррозии <0,01 мм/год). При этом в зоне около сварных швов возможна точечная коррозия глубиной до 0,7 мм [192]. В растворах концентрацией 14—69% такие стали стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,2 мм/год) [191].

По данным работы [3], хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т при температуре до 100 °С в растворах тиоцианата аммония концентрацией до 40% корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год, в 50%-ном растворе — со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Двухфазная сталь 08Х22Н6Т в растворе концентрацией 18% стойка (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения, при концентрации 73—75% — до 80 °С [191].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год) в растворах тиоцианата аммония концентрацией 18—75% до температуры кипения [190, 191]. Согласно работе [3], в растворах концентрацией 10—50% при температуре до 100 °С скорость коррозии таких сплавов 0,05—0,5 мм/год.

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл в растворах тиоцианата аммония концентрацией 10—50% при температуре до 100 °С удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Никельмолибденовые сплавы типа Н70МФВ, ХН65МВ в растворах концентрацией менее 50% остаются стойкими (скорость коррозии <0,05 мм/год) до температуры 100 °С [3].

Алюминий в любых растворах тиоцианата аммония при температуре до 100 °С удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3, 62].

Сплавы алюминия типа АМц, АМг в растворах концентрацией 18% стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до 75°C . Повышение температуры и концентрации растворов резко усиливает коррозию сплавов (при концентрации 73—75% и температуре 80°C сплав АМг6 нестойк) [190].

Другие металлы. Платина в любых растворах тиоцианата аммония и в твердой соли стойка (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) при температуре до 100°C , титан, тантал — до 75°C , серебро — при обычной температуре, цирконий — при температуре до 100°C в растворах концентрацией менее 50%.

Медь, латунь, свинец нестойки в растворах тиоцианата аммония при обычной температуре [3].

35.17.2. Калия тиоцианат — KNCS

Металлы и сплавы в тиоцианате калия обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в растворах тиоцианата калия концентрацией до 68% при нормальной температуре применимы (скорость коррозии $0,1$ — 1 мм/год), при 100°C — нестойки [1, 2]. В твердой соли при обычной температуре такие стали и чугуны стойки (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в любых растворах тиоцианата калия и в твердой соли сохраняют стойкость (скорость коррозии $0,05$ — $0,5$ мм/год) до температуры 100°C [1, 3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13, Х17 в растворах тиоцианата калия концентрацией менее 68% стойки (скорость коррозии $0,1$ мм/год) до температуры 75°C , при 100°C — нестойки [1, 2].

Аустенитные хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в растворах тиоцианата калия концентрацией менее 68% стойки (скорость коррозии $0,1$ мм/год) до температуры 100°C [1], в более концентрированных растворах и в твердой соли — корродируют со скоростью $0,1$ — $0,5$ мм/год [3].

Двухфазная сталь 08Х22Н6Т остается стойкой (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) в растворах тиоцианата калия концентрацией менее 68% до температуры кипения [1].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в любых растворах и в твердой соли при температуре до 100°C корродируют со скоростью $0,05$ — $0,5$ мм/год [1—3].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металлы в растворах тиоцианата калия любой концентрации при 20°C остаются стойкими (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1], в более концентрированных растворах и в твердой соли при температуре до 100°C — корродируют со скоростью $0,1$ — $0,5$ мм/год [3].

Никельмолибденовые сплавы типа Н70МФВ, ХН65МВ в растворах тиоцианата калия любой концентрации и в твердой соли при температуре до 100°C корродируют со скоростью $0,1$ — $0,5$ мм/год [3].

Алюминий при температуре до 100°C в растворах тиоцианата калия концентрацией до 68% обладает высокой стойкостью (скорость коррозии 0 — $0,05$ мм/год) [1, 4, 46], в более концентрированных растворах и в твердой соли — удовлетворительно стоек (скорость коррозии $0,1$ — $0,5$ мм/год) [3]. Согласно работе [4], алюминий — лучший металлический материал для использования в растворах тиоцианата калия.

Серебро в любых растворах тиоцианата калия при обычной температуре стойко (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1], при температуре до 100°C в растворах и в твердой соли — корродирует со скоростью $0,05$ – $0,5$ мм/год [3].

Другие металлы. Цирконий, платина в любых растворах тиоцианата калия и в твердой соли при температуре до 100°C корродируют со скоростью $0,1$ – $0,5$ мм/год [2, 3], в расплавах тиоцианата калия платина нестойка [4].

35.17.3. Натрия тиоцианат — NaNCS

Коррозионное поведение металлических материалов в растворах тиоцианата натрия очень сильно зависит от значения pH раствора. При подкислении растворов скорость коррозии резко возрастает [191]. Металлы и сплавы в тиоцианате натрия обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали в растворах тиоцианата натрия концентрацией 14 – 34% (pH 8 – 9) удовлетворительно стойки (скорость коррозии $<0,5$ мм/год) до температуры 100°C , при концентрации 52% стали нестойки [191]. По данным работы [3], углеродистые стали и серые чугуны в растворах тиоцианата натрия нестойки при обычной температуре.

Высоколегированные чугуны. Никелевые чугуны (14 – 32% Ni) в любых растворах тиоцианата натрия стойки (скорость коррозии $0,05$ – $0,5$ мм/год) при температуре до 100°C [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X13 в растворах тиоцианата натрия концентрацией 34 – 58% (pH 6 – 9) удовлетворительно стойки до 100°C (скорость коррозии $<0,5$ мм/год). Стали типа X27 в 14% -ном растворе при pH 9 стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до температуры 65°C [191].

Аустенитные хромоникелевые стали типа X18H10T в растворах тиоцианата натрия концентрацией 12 – 58% при pH 6 – 9 стойки до 80 – 120°C (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [15, 191, 193], в 34% -ном растворе (pH 2 – 3) при температуре 100°C такие стали нестойки [191]. Стали типа X17H13M2T в растворах концентрацией 12 – 58% (pH > 3) стойки до 100 – 120°C (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [191, 193]. По данным работы [3], стали типа X18H10T, X17H13M2T в любых растворах тиоцианата натрия стойки (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) при температуре до 100°C .

Двухфазные стали 08X22H6T, 08X21H6M2T и сталь с марганцем 08X18Г8Н2Т сохраняют стойкость (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) в растворах концентрацией 52% до температуры 80 – 90°C [15, 193].

Высоколегированные стали без молибдена в растворах тиоцианата натрия могут подвергаться питтинговой коррозии [15, 193].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в любых, в том числе неочищенных, растворах тиоцианата натрия сохраняют стойкость до 100°C (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [3, 191].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл в любых растворах тиоцианата натрия стойки (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) при температуре до 100°C [3].

Алюминий и сплав Д16 в растворах тиоцианата натрия концентрацией 14% (pH 9) стойки до 65°C (скорость коррозии $0,1$ мм/год), в 52% -ном растворе при 100°C скорость коррозии алюминия до 1 мм/год, сплава Д16 — до $0,6$ мм/год [191]. По данным работы [3], алюминий сохраняет стойкость (скорость кор-

розии $<0,05$ мм/год) в любых растворах тиоцианата натрия при температуре до 100°C .

Титан в 34%-ном растворе (рН 1,8—8,6) сохраняет высокую стойкость (скорость коррозии $<0,01$ мм/год) до температуры 100°C [191]. По данным работы [39], при 100°C титан стоек (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) в растворе концентрации 50%.

Другие металлы. Медь в любых, в том числе неочищенных, растворах тиоцианата натрия при обычной температуре нестойка [3].

35.18. Фосфаты — M_3PO_4 , гидрофосфаты — M_2HPO_4 и дигидрофосфаты — MH_2PO_4

Растворимость фосфатов зависит от количества замещенных атомов водорода в молекуле фосфорной кислоты. Однозамещенные фосфаты хорошо растворимы в воде, а из двухзамещенных и трехзамещенных фосфатов растворимы только соли щелочных металлов и аммония. Растворимость $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ при различных температурах составляет: 40,8% (20°C); 49,3% (60°C); 64,7% (120°C); растворимость Na_2HPO_4 — 7,1% (20°C); 44,5% (50°C); 51% (100°C); растворимость $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$ — 16,9% (20°C); 27,4% (50°C); растворимость Na_3PO_4 — 10,8% (20°C); 39,2% (60°C); 48,6% (100°C).

Температура кипения растворов фосфатов мало изменяется с увеличением концентрации. Так, раствор Na_2HPO_4 концентрацией 20% кипит при температуре $101,5^\circ\text{C}$, а насыщенный раствор (50,5%) — при 106°C .

В водных растворах фосфаты подвергаются гидролизу, в результате чего растворы приобретают щелочной характер. Гидролиз кислых солей сопровождается протоллизом кислотного остатка, поэтому растворы гидрофосфатов имеют слабощелочную реакцию, а растворы дигидрофосфатов — слабокислую реакцию. Так, значение рН однопроцентных растворов трехзамещенных, двухзамещенных и однозамещенных фосфатов натрия равно соответственно 12,1; 8,9 и 4,6; насыщенные растворы таких же фосфатов аммония при 25°C имеют значения рН соответственно 9,4; 8,0 и 4,4. При температуре около 80°C двухзамещенный фосфат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ в водном растворе превращается в однозамещенный фосфат $(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$, что ведет к подкислению раствора.

Щелочной характер растворов трехзамещенных и двухзамещенных фосфатов делает их менее агрессивными по отношению к большинству металлов (за исключением металлов, обладающих амфотерными свойствами). Кроме того, такие растворы способствуют образованию защитных фосфатных пленок на металлической поверхности. Растворы фосфатов со щелочной реакцией оказывают ингибирующее действие на коррозию углеродистых сталей.

Однозамещенные фосфаты из-за кислотного характера растворов в коррозионном отношении более агрессивны. Рассматривая коррозионное поведение металлов и сплавов в растворах таких фосфатов, можно ориентироваться на их коррозионную стойкость в растворах фосфорной кислоты концентрацией до 5% [45].

35.18.1. Аммония фосфат — $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$

Металлы и сплавы в фосфате аммония обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали при нормальной температуре в растворах фосфата аммония концентрацией до 5% стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [4], в 10%-ном растворе — удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год), в более концентрированных растворах — нестойки [3, 61].

Серые чугуны при обычной температуре нестойки в растворах фосфата аммония концентрацией более 10% [3].

В твердой соли при обычной температуре углеродистые стали и серые чугуны стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны, в том числе дополнительно легированные молибденом, неприменимы в 10%-ном растворе фосфата аммония при нормальной температуре [4, 46, 61]. По данным работы [3], в таком растворе кремнистые чугуны стойки до 100 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в растворе фосфата аммония концентрацией 10% при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X13—X25 при обычной температуре в растворах фосфата аммония стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) [61, 88]. В кислых растворах стали типа X13, X17 корродируют со скоростью 0,5—1 мм/год, стали типа X25 — со скоростью 0,1—0,5 мм/год. При температуре кипения все хромистые стали в растворах фосфата аммония неприменимы [2].

Аустенитные хромоникелевые стали типа X18N10T, X17N13M2T применимы (скорость коррозии <0,1 мм/год) в любых растворах фосфата аммония при 20 °С [2, 4, 15], при температуре до 100 °С — корродируют со скоростью 0,1—0,5 мм/год [3]. При температуре кипения стали типа X18N10T корродируют со скоростью более 1 мм/год, стали типа X17N13M2T — со скоростью более 0,5 мм/год [2].

Двухфазные стали 08X22N6T, 08X21N6M2T при нормальной температуре в растворах фосфата аммония стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [15].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в любых растворах фосфата аммония при температуре до 100 °С и в твердой соли при обычной температуре корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Никель и сплавы никеля. Никель в разбавленных (10%) деаэрированных растворах фосфата аммония применим до температуры 100 °С [3, 62].

Монель-металл в растворах фосфата аммония концентрацией до 30% при обычной температуре стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) [4, 61, 194], при температуре до 100 °С — удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Никельмолибденовые сплавы типа Н70МФВ, ХН65МВ в растворе фосфата аммония концентрацией 10% при температуре до 100 °С удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Медь и медные сплавы. Медь, алюминиевая латунь в любых деаэрированных растворах фосфата аммония при обычной температуре корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год. В 10%-ном растворе при температуре до 100 °С эти металлы корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год, оловянистая латунь при обычной температуре — со скоростью 0,5—1,3 мм/год [3].

Алюминий в растворах фосфата аммония концентрацией менее 10% при обычной температуре сохраняет стойкость (скорость коррозии <0,25 мм/год). При температуре до 60 °С в 3%-ном растворе алюминий корродирует со скоростью до 0,7 мм/год, в 10%-ном растворе — нестойк [4, 61, 62].

Свинец в разбавленных (10%) растворах фосфата аммония удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) до 100 °С [3].

Другие металлы. Тантал, платина при температуре до 100 °С в любых растворах фосфата аммония стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год), титан, цирконий, серебро стойки в 10%-ном растворе [3].

35.18.2. Аммония гидрофосфат — $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$

По данным справочника [1], металлы и сплавы в растворах гидрофосфата аммония обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны при нормальной температуре в растворах гидрофосфата аммония концентрацией менее 10% удовлетворительно стойки (скорость коррозии сталей до 0,5 мм/год, чугунов — до 1 мм/год). При увеличении концентрации до 30% стали и чугуны нестойки.

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны в любых растворах гидрофосфата аммония неприменимы даже при обычной температуре.

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X13—X28 при нормальной температуре в нейтральных и щелочных растворах гидрофосфата аммония концентрацией менее 40% стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год), в кислых растворах — нестойки. При температуре кипения в растворах концентрацией до 40% все хромистые стали нестойки.

Аустенитные хромоникелевые стали типа X18H10T, X17H13M2T и двухфазная сталь 08X22H6T в растворах гидрофосфата аммония концентрацией менее 40% при обычной температуре стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год), при температуре кипения стали типа X18H10T нестойки, стали типа X17H13M2T корродируют со скоростью 0,1—3 мм/год.

Сплавы на железоникелевой основе 03XH28MДТ, 06XH28MДТ в растворах гидрофосфата аммония концентрацией до 40% при 20 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год), при температуре кипения — удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—1 мм/год).

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл и никельмолибденовый сплав H70MФВ в растворах гидрофосфата аммония концентрацией менее 40% при обычной температуре остаются стойкими (скорость коррозии <0,1 мм/год).

Медь и сплавы меди. Медь, алюминиевая бронза при 20 °С в растворах гидрофосфата аммония концентрацией до 40% нестойки. Оловянистая бронза в таких условиях удовлетворительно стойка (скорость коррозии 0,1—1 мм/год), при 100 °С — нестойка [1, 5].

Латуни при нормальной температуре стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) только в разбавленных (до 8%) растворах гидрофосфата аммония [1, 5].

Медноникелевые сплавы (мельхиоры) при комнатной температуре стойки в растворах щелочного характера (скорость коррозии <0,05 мм/год), причем с повышением температуры скорость коррозии сплавов увеличивается незначительно [5].

Алюминий в растворах гидрофосфата аммония концентрацией до 10% при нормальной температуре сохраняет стойкость (скорость коррозии <0,25 мм/год), при температуре 60 °С — нестойк. В 3%-ном растворе при температуре ниже 60 °С скорость коррозии алюминия до 0,7 мм/год [46, 61].

Свинец в растворах гидрофосфата аммония концентрацией менее 40% только при комнатной температуре удовлетворительно стоек (скорость коррозии <0,5 мм/год).

Титан в растворах концентрацией до 40% при 20 °С корродирует со скоростью менее 0,1 мм/год, при температуре кипения — нестойк.

Другие металлы. Серебро в растворах гидрофосфата аммония концентрацией менее 40% при обычной температуре удовлетворительно стойко (скорость коррозии <0,1—1 мм/год), при 100 °С — нестойко. Тантал в таких условиях остается стойким (скорость коррозии <0,1 мм/год).

35.18.3. Аммония дигидрофосфат — $(\text{NH}_4)_2\text{H}_2\text{PO}_4$

По данным работы [3], металлы и сплавы в растворах дигидрофосфата аммония обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали в растворах дигидрофосфата аммония концентрацией 10% при обычной температуре корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год, серые чугуны — нестойки. В твердой соли углеродистые стали и серые чугуны при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год).

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны в 10%-ном растворе дигидрофосфата аммония стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) до температуры 100 °С.

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в разбавленных (10%) растворах до 100 °С стойки, в более концентрированных растворах — нестойки при обычной температуре.

Высоколегированные стали. Аустенитные хромоникелевые стали типа X18N10T в растворах дигидрофосфата аммония концентрацией менее 40% стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) до температуры 50 °С, при 100 °С — удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год). Стали типа X17N13M2T в растворах концентрацией менее 30% при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год. Хромоникелевые стали типа X18N10T, X17N13M2T в растворах дигидрофосфата аммония подвержены коррозионному растрескиванию.

В твердой соли при обычной температуре стали типа X18N10T, X17N13M2T удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Сплавы на железоникелевой основе типа XH28MDT в растворах дигидрофосфата аммония концентрацией менее 30% при температуре до 100 °С и в твердой соли при обычной температуре удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Никель и сплавы никеля. Никель в деаэрированном растворе дигидрофосфата аммония концентрацией 10% при температуре до 100 °С корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год, монель-металл с такой же скоростью — в растворах концентрацией до 30%.

Никельмолибденовые сплавы типа Н70МФВ, ХН65МВ в 10%-ном растворе дигидрофосфата аммония при температуре до 100 °С удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Медь и сплавы меди. Медь, алюминиевая латунь в деаэрированном 10%-ном растворе дигидрофосфата аммония при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год, в более концентрированных растворах — с такой же скоростью при нормальной температуре. Оловянистая латунь в деаэрированном 10%-ном растворе дигидрофосфата аммония и в твердой соли при обычной температуре нестойка.

Алюминий в растворе дигидрофосфата аммония концентрацией 10% при обычной температуре корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год, подвергается питтинговой коррозии.

Свинец в 10%-ном растворе дигидрофосфата аммония при температуре до 100 °С и в твердой соли при обычной температуре удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Другие металлы. Титан, цирконий в разбавленных (10%) растворах дигидрофосфата аммония при температуре до 100 °С и в твердой соли при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год).

Серебро при температуре до 100 °С в растворах концентрацией менее 50% и в твердой соли стойко (скорость коррозии <0,05 мм/год).

Тантал, платина в любых растворах дигидрофосфата аммония и в твердой соли при температуре до 100 °С остаются стойкими (скорость коррозии <0,05 мм/год).

35.18.4. Натрия фосфат — Na_3PO_4

Металлы и сплавы в фосфате натрия обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали в растворах фосфата натрия концентрацией менее 11% при температуре до 60 °С стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год), при температуре кипения — удовлетворительно стойки (скорость коррозии до 1 мм/год) [1]. По данным работы [3], углеродистые стали стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) в любых растворах фосфата натрия и в твердой соли до 100 °С, при этом в растворах сталь может подвергаться коррозионному растрескиванию.

Серые чугуны в растворах фосфата натрия концентрацией менее 11% ($\text{pH} > 7,2$) остаются стойкими (скорость коррозии 0,1 мм/год) до температуры кипения [1], в более концентрированных растворах и в твердой соли — до 50 °С [3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в любых растворах фосфата натрия и в твердой соли сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,05 мм/год) до температуры 100 °С [3] (по другим данным [46], до температуры кипения).

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в любых растворах и в твердой соли стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) до температуры 100 °С [3], чугуны, содержащие 12—19% Ni (нирезисты), — при нормальной температуре [46].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х28 стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) в растворах фосфата натрия концентрацией менее 11% до температуры кипения [1, 2, 112].

Аустенитные хромоникелевые стали типа X18H10T, X17H13M2T в любых растворах фосфата натрия и в твердой соли остаются стойкими до 100 °С [3].

Двухфазная сталь 08X22H6T и высоколегированная аустенитная сталь с марганцем 08X18Г8Н3М2Т в разбавленных (<11%) растворах стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) до температуры кипения [1, 2].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в растворах фосфата натрия концентрацией менее 11% сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [1, 2], в более концентрированных растворах и в твердой соли — до температуры 100 °С [3].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл в любых растворах фосфата натрия и в твердой соли стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) до 100 °С [3], в разбавленных (<11%) растворах — до температуры кипения [1, 2]. В расплаве соли никель нестойк [4].

Никельмолибденовые сплавы типа Н70МФВ в любых растворах фосфата натрия и в твердой соли при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год, сплавы типа ХН65МВ — со скоростью менее 0,05 мм/год [3].

Медь и сплавы меди. Медь, бронза, латунь, мельхиор МН19 в растворах фосфата натрия концентрацией менее 11% стойки (скорость коррозии 0,1—0,2 мм/год) до температуры 60 °С [1, 46], при 100 °С медь и бронза разрушаются со скоростью до 1 мм/год [1, 2]. В более концентрированных растворах и в твердой соли при температуре до 100 °С медь корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год, мельхиор (11—33% Ni), оловянистая латунь — со скоростью менее 0,05 мм/год, алюминиевая латунь стойка до 50 °С [3].

Свинец в разбавленных растворах фосфата натрия стоек (скорость коррозии 0,1 мм/год) при температуре до 100 °С, в насыщенном растворе — нестойк [1]. По данным работы [3], в растворах концентрацией более 10% и в твердой соли при обычной температуре свинец корродирует со скоростью 0,5—1,3 мм/год.

Титан в насыщенном растворе фосфата натрия при 100 °С сохраняет стойкость (скорость коррозии <0,05 мм/год) [39].

Цирконий до 100 °С в растворах концентрацией менее 20% остается стойким (скорость коррозии 0,1 мм/год) [10], в более концентрированных растворах — корродирует со скоростью 0,1—0,5 мм/год [3].

Другие металлы. Тантал, серебро, платина, золото при температуре до 100 °С в любых растворах фосфата натрия и в твердой соли стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3]. В расплаве соли серебро неприменимо [4].

Алюминий и его сплавы в растворах фосфата натрия концентрацией менее 11% при обычной температуре нестойки [1, 3, 4].

35.18.5. Натрия гидрофосфат — Na_2HPO_4

Металлы и сплавы в гидрофосфате натрия обладают следующей стойкостью.

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X13, X17 и аустенитные хромоникелевые стали типа X18H10T, X17H13M2T стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) в растворах гидрофосфата натрия до температуры кипения [4, 46].

Хромистые стали в растворах Na_2HPO_4 при действии растягивающих напряжений подвержены коррозионному растрескиванию [1].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл при обычной температуре стойки в любых растворах гидрофосфата натрия (скорость коррозии $< 0,15$ мм/год) [4]. Согласно работе [2], никель сохраняет очень высокую стойкость (скорость коррозии $0,005$ мм/год) до температуры кипения в растворах гидрофосфата натрия, в расплавах соли — неприменим [4, 46].

Медь и медные сплавы. Медь в растворах гидрофосфата натрия при температуре 100°C корродирует с большой скоростью. Алюминиевая бронза при обычной температуре в нейтральных растворах корродирует со скоростью менее $0,15$ мм/год, в кислых растворах — со скоростью менее $0,4$ мм/год [4]. Латунь в растворах гидрофосфата натрия отличается высокой стойкостью (скорость коррозии $< 0,005$ мм/год) до температуры кипения [4, 46].

Алюминий и его сплавы при нормальной температуре стойки (скорость коррозии $< 0,05$ мм/год) в любых растворах гидрофосфата натрия. В растворах концентрацией менее 10% алюминий и сплавы сохраняют стойкость (скорость коррозии $< 0,1-0,2$ мм/год) до температуры 100°C [4, 46].

Другие металлы. Свинец в кислых (рН $4,5$) растворах гидрофосфата натрия применим [4]. Серебро неприменимо в расплавах соли [46].

35.19. Фториды — MF и гидродифториды — MNF_2

Большинство фторидов малорастворимы в воде, причем растворимость слабо увеличивается с повышением температуры.

Растворимость при различных температурах составляет: для NH_4F — $45,2\%$ (20°C); $52,6\%$ (60°C); 54% (80°C); для KF — $48,7\%$ (20°C); $56,5\%$ (50°C); $59,9\%$ (100°C); для NaF — $4,1\%$ (20°C); $4,4\%$ (60°C); $4,8\%$ (100°C); для CaF_2 — $0,0013\%$ (20°C); $0,0017\%$ (40°C).

Фторид аммония в водных растворах при нагреве разлагается с выделением аммиака и образованием гидродифторида NH_4HF_2 . В результате улетучивания аммиака часть фторида аммония превращается в гидродифторид. Присутствие гидродифторида в растворах фторида увеличивает коррозионную активность среды, но на некоторых металлах (например, на алюминии) присутствие гидродифторида способствует образованию защитных пленок.

Растворимость гидродифторидов составляет: для NH_4HF_2 — $37,6\%$ (20°C); $55,5\%$ (50°C); $85,5\%$ (100°C); для KHF_2 — $28,2\%$ (20°C); $40,1$ (50°C); $53,3\%$ (80°C); для NaHF_2 — $3,8\%$ (20°C); $4,9\%$ (40°C).

В растворах фториды подвергаются гидролизу, в результате чего растворы NaF и KF обладают щелочной реакцией. При гидролизе фторида аммония образуется кислота HF , что вызывает подкисление растворов и усиление коррозии многих металлов и сплавов. Раствор CaF_2 также проявляет слабокислые свойства. Присутствующие в растворах фторидов анионы F^- для ряда металлов и сплавов являются активными депассиваторами. В результате гидролиза растворов гидродифторида натрия также обладают кислой реакцией.

Кислые растворы фторидов более агрессивны, чем нейтральные и щелочные растворы. Кроме того, коррозионная активность растворов фторидов зависит от их концентрации. В разбавленных растворах (до $0,8$ н.) фториды оказывают сильное агрессивное действие, но с увеличением концентрации коррозия замедляется [68]. Это связано с образованием защитных пленок на корродиру-

ющей поверхности. Растворы гидрофторида аммония также способствуют формированию защитных пленок на металлах (например, на алюминии).

Коррозионная стойкость металлов в растворах фтористых солей в значительной степени зависит от состава и свойств образующихся пленок продуктов коррозии.

35.19.1. Аммония фторид — NH_4F

Металлы и сплавы во фториде аммония обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны. Коррозия углеродистых сталей усиливается с увеличением концентрации растворов фторида аммония до ~10%, а затем снижается [195, 196]. Причем на фазовой границе коррозия больше, чем на металле, находящемся в растворе.

При нормальной температуре углеродистые стали в растворах фторида аммония концентрацией до 9,5% (100 г/л) корродируют со скоростью 0,2—1 мм/год, а при увеличении концентрации до ~35% (400 г/л) — со скоростью 0,1—0,4 мм/год [3, 195, 196]. Повышение температуры до 50 °С в растворах концентрацией менее 10—12% увеличивает скорость коррозии сталей до 1—1,5 мм/год [43]. В 50%-ном растворе при 50 °С скорость коррозии углеродистой стали около 0,1 мм/год [133]. Согласно работе [46], в растворах фторида аммония при любой температуре углеродистые стали неприменимы.

Серые чугуны при обычной температуре в 20%-ном растворе фторида аммония корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X13 в растворах фторида аммония концентрацией менее 50% достаточно стойки до 50 °С (скорость коррозии <0,2 мм/год) [129, 133]. При температуре 100 °С стали типа X13—X25 в растворах фторида аммония нестойки [2].

Аустенитные хромоникелевые стали типа X18N10T, X17N13M2T в растворах фторида аммония концентрацией до 50% при температуре ниже 90 °С корродируют со скоростью менее 0,3 мм/год, в 80%-ном растворе при 115 °С — со скоростью менее 0,15 мм/год. Кроме того, в последнем случае (особенно в паровой фазе) стали могут подвергаться точечной и язвенной коррозии [129, 133]. По данным работы [3], при обычной температуре в растворе фторида аммония концентрацией 20% (рН > 7) скорость коррозии сталей типа X18N10T 0,5—1,3 мм/год, сталей типа X17N13M2T — 0,1—0,5 мм/год.

Сплавы на железоникелевой основе 03XN28MДТ, 06XN28MДТ сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год) в растворах фторида аммония концентрацией менее 80% до температуры 115 °С [1, 129, 133].

Никель и сплавы никеля. Никель стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) в растворах фторида аммония концентрацией до 50% при температуре до 100 °С, в 80%-ном растворе — до 50 °С [129] (по другим данным [133], до 115 °С). Согласно работе [3], в 10%-ном растворе при 75 °С никель корродирует со скоростью 0,5—1,3 мм/год, в 20%-ном при 100 °С — со скоростью 0,1—0,5 мм/год.

Монель-металл в растворах фторида аммония концентрацией до 50% стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры 100 °С, в 80%-ном растворе — до 115 °С (скорость коррозии <0,25 мм/год) [129]. По данным работы [3], монель-металл в растворе концентрацией 10% удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) до 75 °С, в 20%-ном растворе — до 100 °С.

Сплавы типа ХН65МВ остаются стойкими (скорость коррозии $< 0,05$ мм/год) в 20%-ном растворе до температуры 75°C , в 40%-ном растворе — до 100°C [3].

Медь и медные сплавы. Медь в растворах фторида аммония концентрацией менее 50% обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии $< 0,6$ мм/год) при температуре до 50°C [129, 133]. В деаэрированном 10%-ном растворе ($\text{pH} > 7$) при температуре до 100°C медь корродирует со скоростью $0,05\text{--}0,5$ мм/год [3].

Бронзы в растворах фторида аммония концентрацией до 45% при нормальной температуре удовлетворительно стойки (скорость коррозии $0,1\text{--}1$ мм/год) [1] (по другим данным [4, 62] — нестойки).

Латуни в растворах концентрацией до 50% при температуре до 50°C обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии $< 0,6$ мм/год) [129, 133]. По данным работы [3], в 10%-ном растворе латуни нестойки при обычной температуре.

Алюминий удовлетворительно стоек (скорость коррозии $< 0,5\text{--}0,6$ мм/год) в растворах фторида аммония концентрацией менее 50% при температуре до 90°C [46, 48, 129], в 80%-ном растворе — до 115°C [129]. Согласно работе [133], во всех указанных условиях скорость коррозии алюминия АД1 не превышает $0,1$ мм/год.

Сплав Д16 (дуралюмин) и сплав АМг3 в растворе концентрацией 50% стойки (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год) до температуры 50°C [129, 133].

Свинец в растворах фторида аммония концентрацией менее 50% стоек (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год) при температуре до 90°C , в 80%-ном растворе — до 115°C (скорость коррозии $< 0,2$ мм/год) [129, 133].

Титан в растворах концентрацией менее 50% стоек до 50°C (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год) [129, 133]. В 10%-ном растворе при обычной температуре титан корродирует со скоростью $0,5\text{--}1,3$ мм/год, подвергаясь питтинговой коррозии [3].

Магний в растворах фторида аммония концентрацией до 50% при температуре ниже 70°C разрушается со скоростью менее $0,15$ мм/год, при 90°C — со скоростью до $0,5$ мм/год, в 80%-ном растворе при температуре 115°C — со скоростью до 1 мм/год [133].

Другие металлы. Серебро при температуре ниже 100°C стойко в растворах фторида аммония концентрацией до 50%, платина, золото — в растворах концентрацией до 60% (скорость коррозии $< 0,05$ мм/год) [3, 48].

Тантал нестойк в растворах фторида аммония при обычной температуре [1, 10].

35.19.2. Аммония гидрофторид — NH_4HF_2

Металлы и сплавы в гидрофториде аммония обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали в растворах гидрофторида аммония концентрацией до 50% при температуре до 50°C удовлетворительно стойки (скорость коррозии $0,8$ мм/год), при концентрации 80% и температуре 90°C — нестойки [129, 133]. Присутствие фторида аммония в растворах гидрофторида аммония усиливает разрушение углеродистых сталей. В растворе, содержащем 19% NH_4HF_2 и 26% NH_4F , при 80°C углеродистые стали нестойки [129].

Серые чугуны в 12%-ном растворе при обычной температуре нестойки [3, 48].

Высоколегированные стали. Хромистые стали неприменимы в растворах гидрофторида аммония.

Аустенитные хромоникелевые стали типа Х18Н10Т в растворах гидрофторида аммония концентрацией до 50% при температуре ниже 50 °С корродируют со скоростью менее 0,8 мм/год. В растворах концентрацией 80% при температуре 90 °С скорость коррозии сталей остается практически такой же, но коррозия приобретает язвенный характер [129, 133]. Стали типа Х17Н13М2Т в этих условиях корродируют со скоростью менее 0,15 мм/год [133]. По данным работы [3], в 10%-ном растворе стали типа Х18Н10Т корродируют со скоростью 0,1—0,5 мм/год при обычной температуре, стали типа Х17Н13М2Т — при температуре до 50 °С.

В растворе, содержащем 19% NH_4HF_2 и 26% NH_4F , при 80 °С стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т корродируют со скоростью до 0,4 мм/год [49], в растворе с 11% NH_4HF_2 и 26% NH_4F при 130 °С — нестойки [197].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в растворах гидрофторида аммония концентрацией менее 10% при температуре до 75 °С и в растворах концентрацией 50—85% при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,1—0,5 мм/год [3, 48].

При температуре 80 °С в растворе состава 19% NH_4HF_2 и 26% NH_4F сплавы сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,15 мм/год) [129]. В более концентрированных растворах (50—60% NH_4HF_2 и 20—24% NH_4F) скорость коррозии сплавов увеличивается до 0,2 мм/год. Сплавы 03ХН26МДБ, ХН30МДБ в таком растворе нестойки [30]. При температуре кипения раствора, содержащего 54% NH_4HF_2 и 25% NH_4F , скорость коррозии сплава 06ХН28МДТ не превышает 0,4 мм/год [197].

Никель и сплавы никеля. Никель при обычной температуре в 10%-ном растворе гидрофторида аммония удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3]. В растворе концентрацией 50% никель стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) при температуре до 50 °С, в 80%-ном растворе — до 90 °С [133].

Монель-металл сохраняет стойкость (скорость коррозии <0,05 мм/год) в растворах гидрофторида аммония концентрацией до 80% при температуре до 90 °С [129, 133]. По данным работ [3, 48], в 10%-ном растворе монель-металл удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) до температуры 50 °С.

Хромомолибденовые сплавы типа Н70МФВ в 10%-ном растворе стойки до температуры 100 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год). Хромоникельмолибденовые сплавы типа ХН65МВ в растворах концентрацией более 50% до температуры кипения и в твердой соли до температуры плавления корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Медь и медные сплавы. Медь в растворах гидрофторида аммония концентрацией менее 50% сохраняет стойкость (скорость коррозии 0,05 мм/год) до температуры 50 °С [129, 133]. По данным работ [3, 48], медь в деаэрированных растворах концентрацией 10—12% при обычной температуре нестойка.

Бронзы, латуни в растворах гидрофторида аммония концентрацией 10—15% при температуре 30 °С нестойки [3, 48].

Алюминий и сплав АМц в растворах гидрофторида аммония концентрацией 10—80% при температуре 50—90 °С корродируют со скоростью 0,5—1,7 мм/год. К тому же на металлах отмечаются точечные и язвенные поражения [3, 129, 133].

Сплав Д16 (дуралюмин) обладает несколько большей стойкостью (в растворе концентрацией 80% при 90 °С скорость коррозии сплава менее 0,4 мм/год) [129].

Свинец в растворах гидрофторида аммония концентрацией менее 50% сохраняет стойкость (скорость коррозии <0,15 мм/год) до температуры 90 °С [129, 133]. По данным работы [3], при обычной температуре в 10%-ном растворе гидрофторида аммония и в твердой соли свинец корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Другие металлы. Титан ВТ1 нестойк в растворах гидрофторида аммония [3, 129, 133].

Платина в растворах гидрофторида аммония концентрацией менее 10% при нормальной температуре корродирует со скоростью до 0,5 мм/год [48], серебро в 10%-ном растворе при температуре до 75 °С — со скоростью менее 0,05 мм/год [3].

35.19.3. Калия фторид — KF

Металлы и сплавы во фториде калия обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали в растворах фторида калия концентрацией менее 20% при температуре до 75 °С и в твердой соли при температуре до 100 °С корродируют со скоростью не более 0,5 мм/год [3, 48].

Серые чугуны в твердой соли стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) до температуры 100 °С [3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 и никелевые чугуны (14—32% Ni) в твердой соли сохраняют стойкость до 100 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Высоколегированные стали и сплавы. Аустенитные хромоникелевые стали типа X18Н10Т, X17Н13М2Т и сплавы типа ХН28МДТ в твердой соли при температуре до 100 °С обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл при температуре ниже 100 °С в растворах фторида калия концентрацией менее 20% и в твердой соли корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3, 48].

Медь и медные сплавы. Медь, бронзы, латуни в растворах фторида калия концентрацией менее 20% удовлетворительно стойки до 70 °С (скорость коррозии <0,5 мм/год) [48]. По данным работы [3], при температуре до 100 °С медь в 20%-ном растворе и в твердой соли и алюминиевая латунь в 10%-ном растворе корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Алюминий в растворах фторида калия концентрацией до 20% при обычной температуре стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год), при температуре до 75 °С — удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3, 48]. Согласно работе [4], в растворе концентрацией 10% алюминий стоек до температуры 100 °С.

Свинец в растворах фторида калия концентрацией менее 20% удовлетворительно стоек (скорость коррозии $<0,5$ мм/год) до 75°C , в твердой соли — до 100°C [3, 48].

Титан в растворах фторида калия концентрацией менее $\sim 41\%$ (580 г/л) стоек (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до температуры 50°C [39].

35.19.4. Калия гидрофторид — KHF_2

Металлы и сплавы в гидрофториде калия обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали в растворах гидрофторида калия концентрацией до 50% сохраняют стойкость (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) при температуре до 50°C [129, 133]. По другим данным, в растворе концентрацией 12,5% при 25°C углеродистые стали нестойки [48], в твердой соли — стойки (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [3].

Высоколегированные стали. Аустенитные хромоникелевые стали типа X18H10T, X17H13M2T при температуре до 50°C в растворах гидрофторида калия концентрацией менее 50% стойки (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [129, 133]. По данным работы [3], при обычной температуре стали типа X18H10T стойки в растворах концентрацией менее 10%, стали типа X17H13M2T — в растворах концентрацией менее 20%.

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в растворах гидрофторида калия концентрацией менее 50% при температуре до 100°C стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год). В 90%-ном растворе при температуре 115°C скорость коррозии сплавов менее 0,005 мм/год [133]. Согласно работе [3], сплавы типа ХН28МДТ при обычной температуре в растворах концентрацией 10—20% корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Никель и сплавы никеля. Никель при температуре ниже 100°C стоек (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) в растворах гидрофторида калия концентрацией до 50% [129, 133]. По данным работы [3], никель при температуре до 100°C в растворах концентрацией 10—30% корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Монель-металл стоек (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) в растворах концентрацией до 90% при температуре до 115°C [133]. По данным работы [3], монель-металл в растворах концентрацией 10—20% при температуре до 100°C корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Никельмолибденовые сплавы типа Н70МФВ, ХН65МВ в растворах концентрацией менее 20% при температуре до 100°C корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3, 48].

Медь и медные сплавы. Медь в растворах гидрофторида калия концентрацией до 90% стойка до 115°C (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [129, 133].

Бронзы, латуни в растворах концентрацией менее 30% при температуре до 75°C корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3, 22]. В 90%-ном растворе при температуре 115°C алюминиевые и никелевые бронзы подвергаются коррозионному растрескиванию [133].

Алюминий АД1 в растворах гидрофторида калия концентрацией до 50% при температуре ниже 100°C корродирует со скоростью менее 0,5 мм/год при язвенном характере разрушения [129, 133].

Сплав АМц в 50%-ном растворе при температуре 50 °С корродирует со скоростью менее 0,1 мм/год [133].

Свинец в растворах гидрофторида калия концентрацией менее 50% сохраняет стойкость (скорость коррозии <0,2 мм/год) до температуры 100 °С (в парогазовой фазе скорость коррозии до 0,8 мм/год) [129, 133]. По данным работы [3], в растворе концентрацией 10% свинец удовлетворительно стоек до 75 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год)

Титан ВГ1 отличается высокой стойкостью (скорость коррозии <0,01 мм/год) в растворах гидрофторида калия концентрацией менее 40% при температуре до 50 °С [129, 133].

Другие металлы. Магний в растворах гидрофторида калия концентрацией менее 50% при температуре 50 °С стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) [129, 133].

Серебро в растворах гидрофторида калия концентрацией 10—20% при температуре до 100 °С корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год, цирконий — со скоростью менее 0,05 мм/год [3].

35.19.5. Кальция фторид — CaF₂

По данным работы [3], металлы и сплавы в растворах и твердой соли фторида кальция обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали при температуре до 100 °С в сухой твердой соли фторида кальция корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год, во влажной соли при обычной температуре — со скоростью 0,5—1,3 мм/год.

Высоколегированные чугуны. Никелевые чугуны (14—32% Ni) при обычной температуре во влажной соли фторида кальция разрушаются со скоростью 0,5—1,3 мм/год.

Высоколегированные стали типа X18H10T, X17H13M2T в растворах фторида кальция и в сухой твердой соли стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) при температуре до 100 °С.

Никель и сплавы никеля. Никель при температуре до 100 °С в любых растворах фторида кальция стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год), в сухой твердой соли — удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Никель, монель-металл и никельмолибденовые сплавы типа Н70МФВ, ХН65МВ во влажной соли при температуре до 50 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Медь и медные сплавы. Медь в сухой твердой соли фторида кальция при температуре до 50 °С стойка (скорость коррозии <0,05 мм/год), при температуре до 100 °С — удовлетворительно стойка (скорость коррозии <0,5 мм/год).

Оловянистые латуни в сухой и влажной соли фторида кальция при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год), в сухой соли при температуре до 100 °С — корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Алюминиевые латуни в сухой твердой соли до 100 °С удовлетворительно стойки (скорость коррозии <0,5 мм/год), во влажной соли при обычной температуре — нестойки.

Алюминий в твердой соли при температуре до 100 °С удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Свинец применим (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) в твердой соли фторида кальция при температуре до 100 °С.

Серебро при температуре до 100 °С в растворах фторида кальция остается стойким (скорость коррозии <0,05 мм/год), в твердой соли — удовлетворительно стойким (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Другие металлы. Платина, золото в твердой соли при температуре до 100 °С остаются стойкими (скорость коррозии <0,05 мм/год).

35.19.6. Натрия фторид — NaF

Металлы и сплавы во фториде натрия обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны при обычной температуре в растворах фторида натрия концентрацией менее 4% стойки (скорость коррозии до 0,05 мм/год), при температуре 85 °С — нестойки [1]. По данным работы [3], углеродистые стали стойки до 75 °С, но могут подвергаться коррозионному растрескиванию.

Высоколегированные чугуны. Никелевые чугуны (14—32% Ni) при обычной температуре стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) в любых растворах фторида натрия [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X13—X28 при обычной температуре в любых растворах фторида натрия нестойки [1] (по данным работ [48, 112], стали типа X17, X25 корродируют со скоростью 0,1—1 мм/год). В насыщенных растворах при температуре 85—93 °С стали типа X13 стойки (скорость коррозии <0,01 мм/год) [1].

Аустенитные хромоникелевые стали типа X18Н10Т в любых растворах фторида натрия при обычной температуре корродируют со скоростью 0,1—1,3 мм/год [2, 3, 112], стали типа X17Н13М2Т при температуре до 75 °С — со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3]. В насыщенных растворах при температуре 85—93 °С скорость коррозии хромоникелевых сталей менее 0,05 мм/год [1, 46].

Двухфазная сталь 08Х22Н6Т остается стойкой (скорость коррозии <0,1 мм/год) в любых растворах фторида натрия при температуре до 100 °С [1].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ при температуре до 75 °С в любых растворах фторида натрия корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [2, 3].

Никель и сплавы никеля. Никель в любых растворах фторида натрия до температуры 75 °С корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год, монель-металл — со скоростью менее 0,05 мм/год [3]. По данным работы [1], никель сохраняет высокую стойкость (скорость коррозии <0,005 мм/год) до температуры кипения.

Никельмолибденовые сплавы типа Н70МФВ, ХН65МВ при обычной температуре в любых растворах удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3, 48].

Медь и медные сплавы. Медь, оловянистая латунь сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,05 мм/год) в любых растворах фторида натрия до 75 °С [3] (по данным работы [1], до 90 °С). Алюминиевая латунь, бронзы при обычной температуре нестойки в растворах фторида натрия [3, 4, 46, 62]. По данным работы [1], в растворах концентрацией до 4% при нормальной температуре бронзы корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год

При аэрации растворов коррозия меди и медных сплавов усиливается (особенно при повышенной температуре) [1].

Алюминий и его сплавы с кремнием, магнием, марганцем при обычной температуре в любых растворах фторида натрия стойки (скорость коррозии $< 0,05$ мм/год) [1, 4]. По данным работы [3], алюминий в этих условиях корродирует со скоростью $0,05—0,5$ мм/год.

Титан в любых растворах фторида натрия при обычной температуре удовлетворительно стоек (скорость коррозии $0,05—0,5$ мм/год) [3].

Другие металлы. Магний в любых растворах фторида натрия обладает очень высокой стойкостью [46, 48], серебро остается стойким (скорость коррозии $< 0,05$ мм/год) при температуре до 100°C [3].

Тантал в растворах фторида натрия нестойк при комнатной температуре [1, 3, 68].

35.19.7. Натрия гидродифторид — NaHF_2

По данным работы [3], металлы и сплавы в растворах гидродифторида натрия обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны при обычной температуре в любых растворах гидродифторида натрия и в твердой соли нестойки.

Высоколегированные стали. Аустенитные хромоникелевые стали типа X18N10T, X17N13M2T при обычной температуре в любых растворах гидродифторида натрия корродируют со скоростью $0,05—0,5$ мм/год, при температуре 75°C — нестойки. Хромоникелевые стали в растворах гидродифторида натрия подвержены питтинговой коррозии.

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ при обычной температуре в любых растворах гидродифторида натрия обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии $0,05—0,5$ мм/год).

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл в любых деаэрированных растворах гидродифторида натрия при температуре до 100°C корродируют со скоростью $0,05—0,5$ мм/год.

Никельмолибденовые сплавы типа Н70МФВ с такой же скоростью корродируют в растворах концентрацией менее 10% при температуре до 150°C .

Медь в любых деаэрированных растворах гидродифторида натрия при температуре до 75°C удовлетворительно стойка (скорость коррозии $< 0,5$ мм/год).

Свинец в любых деаэрированных растворах гидродифторида натрия при температуре до 100°C корродирует со скоростью $0,05—0,5$ мм/год.

Другие металлы. Серебро в любых растворах гидродифторида натрия стойко (скорость коррозии $< 0,05$ мм/год) при обычной температуре, золото — при температуре до 100°C .

Алюминий при обычной температуре нестойк в растворах гидродифторида натрия.

35.20. Фторосиликаты — M_2SiF_6

Фторосиликаты в большинстве своем растворимы в воде. Соли щелочных металлов (особенно калия) малорастворимы. Растворимость K_2SiF_6 составляет $0,001\%$ при 20°C и $0,009\%$ при 100°C . Растворимость Na_2SiF_6 составляет $0,76\%$ при 20°C и $2,46\%$ при 100°C . Растворимость $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$ при 25°C — $18,7\%$, при 100°C — около $37,9\%$.

Фторосиликаты в водных растворах подвергаются гидролизу, в результате чего их растворы имеют щелочной характер. Образующиеся при диссоциации фторосиликатов комплексные анионы $[\text{SiF}_6]^{2-}$ могут оказывать депассивирующее действие на металлы и сплавы в пассивном состоянии.

35.20.1. Аммония гексафторосиликат — $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$

Металлы и сплавы в гексафторосиликате аммония обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны нестойки в растворах гексафторосиликата аммония [48].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X13 в растворах гексафторосиликата аммония неприменимы при обычной температуре [46].

Аустенитные хромоникелевые стали типа X18N10T, X17N13M2T в растворах гексафторосиликата аммония концентрацией до 10% при температуре до 75 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3], в растворе концентрацией 20% (рН 3—4) при температуре 100 °С — со скоростью до 0,6 мм/год [198]. В твердой соли хромоникелевые стали удовлетворительно стойки до 100 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в растворах гексафторосиликата аммония концентрацией менее 10% при температуре ниже 75 °С корродируют со скоростью до 0,5 мм/год [3, 48]. Согласно работе [198], сплав 06ХН28МДТ в 20%-ном растворе (рН 3—4) сохраняет стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 100 °С, при 300 °С — нестойк. В твердой соли при температуре до 100 °С скорость коррозии сплавов 0,05—0,5 мм/год [3].

Никель и сплавы никеля. Никель при обычной температуре в растворах гексафторосиликата аммония концентрацией до 10% растворяется со скоростью менее 0,5 мм/год [3, 48], в 20%-ном растворе (рН 3—4) при 100 °С — нестойк. В деаэрированном растворе при 100 °С скорость коррозии никеля 0,6 мм/год [199].

Монель-металл в растворах концентрацией до 10% при температуре до 50 °С корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3], в 20%-ном растворе (рН 3—4) при 100 °С — нестойк (в том числе в условиях деаэрации) [199].

Никельмолибденовый сплав ХН65МВ в растворах концентрацией менее 12% стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) при нормальной температуре, в твердой соли — до температуры 50 °С [3, 48].

Медь и медные сплавы. Медь, оловянистая латунь при обычной температуре в деаэрированном растворе гексафторосиликата аммония концентрацией 10% (рН < 7) и в твердой соли удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3]. В 20%-ном растворе (рН 3—4) при температуре 100 °С медь нестойка, а в деаэрированном растворе корродирует со скоростью менее 0,4 мм/год [199].

Алюминий в растворе гексафторосиликата аммония концентрацией 20% при температуре до 50 °С удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Свинец в растворах гексафторосиликата аммония концентрацией до 10—20% при температуре ниже 50 °С и в твердой соли при обычной температуре корродирует со скоростью менее 0,5 мм/год [3, 48].

Другие металлы. Молибден в 20%-ном растворе гексафторосиликата аммония при температуре 100 °С нестойк, при деаэрации раствора — практически не разрушается [199].

Цирконий в растворе концентрацией 10% нестойк при комнатной температуре [3].

35.20.2. Натрия гексафторосиликат — Na_2SiF_6

Металлы и сплавы в гексафторосиликате натрия обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали неприменимы в любых растворах гексафторосиликата натрия при обычной температуре [1, 3].

Высоколегированные чугуны. Никелевые чугуны (14—32% Ni) при обычной температуре в любых растворах гексафторосиликата натрия стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X13—X28 и хромоникелевые стали типа X18H10T при обычной температуре нестойки в любых растворах гексафторосиликата натрия, стали типа X17H13M2T — корродируют со скоростью до 1 мм/год [1].

Сплавы на железоникелевой основе 03XH28MДТ, 06XH28MДТ в растворах гексафторосиликата натрия концентрацией менее 0,7% при температуре 20 °С корродируют со скоростью до 1 мм/год, при 70 °С — нестойки [1].

Никель и сплавы никеля. Никель стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) в любых растворах гексафторосиликата натрия при обычной температуре [1].

Монель-металлы, никельхромомолибденовые сплавы типа ХН65МВ в любых растворах при температуре до 100 °С корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год [3].

Медь и медные сплавы. Медь, алюминиевые бронзы обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии <1 мм/год) в любых растворах гексафторосиликата натрия при температуре до 100 °С [1]. В деаэрированных растворах медь корродирует со скоростью менее 0,05 мм/год [3].

Латуни при нормальной температуре в любых растворах гексафторосиликата натрия отличаются высокой стойкостью (скорость коррозии <0,005 мм/год) [1, 46].

Мельхиор (11—33% Ni) в любых растворах гексафторосиликата натрия при температуре до 100 °С корродирует со скоростью менее 0,05 мм/год [3].

Алюминий в растворах гексафторосиликата натрия концентрацией до 0,7% при обычной температуре нестойк [1, 46]. По данным работы [48], в таких растворах при температуре 100 °С скорость коррозии алюминия не более 0,9 мм/год.

Свинец в любых растворах гексафторосиликата натрия стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) при температуре до 100 °С [3].

Другие металлы. Платина в любых растворах гексафторосиликата натрия стойка (скорость коррозии <0,05 мм/год) при температуре до 100 °С, титан — нестойк при обычной температуре [3, 48].

35.21. Хлораты — MClO_3

Большинство хлоратов (кроме хлората калия) хорошо растворимы в воде. Растворимость KClO_3 составляет: 6,8% (20 °С); 15,6% (50 °С); 36,1% (100 °С).

Раствор концентрацией 20% кипит при 101,8 °С, насыщенный раствор концентрацией 37,6% кипит при 104,2 °С.

Растворимость NaClO_3 : 50,2% (20 °С); 58,5% (50 °С); 69,7% (100 °С). Насыщенный раствор концентрацией 74,1% кипит при температуре 122 °С.

Водные растворы хлоратов калия и натрия нейтральны, со слабо выраженными окислительными свойствами. В коррозионном аспекте растворы хлоратов не являются агрессивными по отношению к большинству металлов и сплавов.

35.21.1. Калия хлорат — KClO_3

Области применения металлических материалов в растворах хлората калия ориентировочно показаны на рис. 35.20.

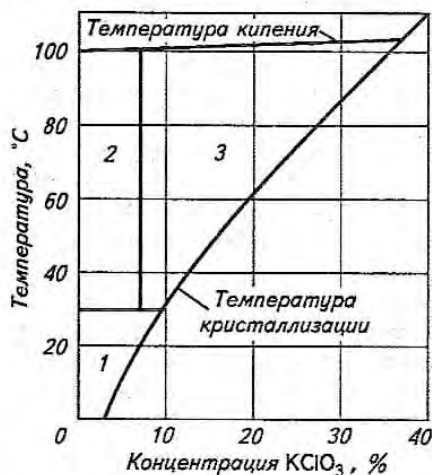


Рис. 35.20. Области применения металлических материалов в растворах хлората калия:

1 — углеродистая сталь; серый чугун; кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ34; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа X13—X25, X18Н10Т, X17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т; 08Х21Н6М2Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН65МВ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металл; медь; бронза; латунь; мельхиор; алюминий; свинец; титан; цирконий; тантал; серебро; платина; золото; 2 — углеродистая сталь, серый чугун (до 60—70 °С); кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ34; никелевый (14—32% Ni) чугун; сталь типа X13—X25, X18Н10Т, X17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т; 08Х21Н6М2Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН65МВ; Н70МФВ-ВИ; монель-металл; медь; бронза; латунь; мельхиор; свинец (до 70—80 °С); титан; цирконий; тантал; серебро; платина; золото; 3 — углеродистая сталь, серый чугун (до 60—70 °С); кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ34; никелевый (14—32% Ni) чугун; сталь типа X17—X25 (до 60—70 °С), X18Н10Т (до 60—80 °С), X17Н13М2Т; сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ, ХН65МВ (до 100 °С); медь (до 25%); бронза, латунь (до 12%); мельхиор (до 100 °С); титан; цирконий; тантал; серебро; платина; золото

Углеродистые стали и серые чугуны при нормальной температуре стойки (скорость коррозии < 0,1 мм/год) в любых растворах хлората калия [1], при 100 °С в растворах концентрацией до 25—30% (350 г/л) — скорость коррозии менее 0,2 мм/год [1, 61, 140]. По данным работы [3], углеродистые стали и серые чугуны в любых растворах хлората калия удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,5—1,3 мм/год) до температуры 50 °С.

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в любых растворах хлората калия сохраняют стойкость (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) до температуры кипения [3, 4, 88]. Чугуны ЧС15М4, ЧС17М3 в растворах концентрацией до 27% обладают высокой стойкостью (скорость коррозии 0,01 мм/год) до 70 °С [61].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в любых растворах стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) до температуры кипения [3, 48].

Хромистые чугуны ЧХ28—ЧХ34 в насыщенном растворе при температуре 100 °С корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [4].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13, Х17 в растворах хлората калия концентрацией менее 36% стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) до 100 °С [46]. При температуре кипения стали типа Х13 стойки в растворах концентрацией менее 7% [88], в насыщенном растворе — нестойки [112]. Стали типа Х17 при температуре кипения в таких растворах корродируют со скоростью 0,1—1 мм/год [1], стали типа Х25 — со скоростью 0,3 мм/год при локальном (язвенном) характере коррозии [140].

Аустенитные хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в любых растворах хлората калия стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [61, 88, 112]. Согласно работе [3], стали типа Х18Н10Т стойки до 50 °С, при более высокой температуре — удовлетворительно стойки (скорость коррозии <0,5 мм/год).

Двухфазная сталь 08Х22Н6Т в растворах концентрацией менее 7% остается стойкой (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [1, 15].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в растворах хлората калия концентрацией менее 7% стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 100 °С, при температуре 120 °С скорость коррозии до 0,3 мм/год [1]. По данным работы [3], сплавы стойки в любых растворах хлората калия (скорость коррозии <0,05 мм/год) при температуре до 100 °С.

Никель и сплавы никеля. Никель при нормальной температуре стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) в растворах хлората калия концентрацией до 7% (при температуре кипения скорость коррозии до 1 мм/год) [1, 4]. В более концентрированных растворах при любой температуре скорость коррозии никеля 0,5—1,3 мм/год [3].

Монель-металл при температуре до 100 °С в разбавленных (<7%) растворах стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1], в более концентрированных растворах корродирует со скоростью 0,5—1,3 мм/год [3].

Никельмолибденовые сплавы Н70МФВ, ХН65МВ в разбавленных (<7%) растворах стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [1]. По данным работы [3], сплавы типа ХН65МВ в любых растворах при температуре до 100 °С удовлетворительно стойки (скорость коррозии <0,5 мм/год).

Медь и сплавы меди. Медь при температуре до 100 °С стойка (скорость коррозии <0,1 мм/год) в растворах хлората калия концентрацией до 25—30% (350 г/л), бронзы, латуни — в растворах концентрацией до 12—14% (160 г/л) [61, 140], мельхиор (11—33% Ni) — в любых растворах [3].

Алюминий при температуре до 100 °С стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) в растворах хлората калия концентрацией до 7% (по данным работы [140], до 12—14%), при концентрации 25—30% (350 г/л) скорость коррозии возраста-

ет до 0,4 мм/год [61]. Согласно работе [3], алюминий при обычной температуре нестойк в растворах хлората калия.

Свинец при обычной температуре в растворах хлората калия концентрацией до 7% стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год), при концентрации ~12% и температуре кипения — корродирует со скоростью до 0,7 мм/год [1, 46]. В растворах концентрацией 25—30% (350 г/л) при 100 °С скорость коррозии свинца менее 0,4 мм/год [61].

Другие металлы. Титан, цирконий, тантал, серебро, платина, золото в любых растворах хлората калия стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) до температуры кипения [3, 43].

35.21.2. Натрия хлорат — NaClO₃

Области применения металлических материалов в растворах хлората натрия ориентировочно показаны на рис. 35.21.

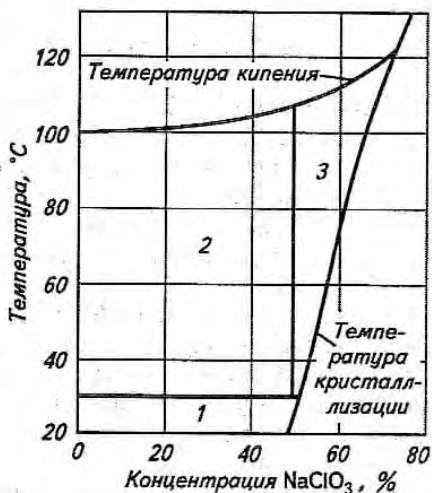


Рис. 35.21. Области применения металлических материалов в растворах хлората натрия:

1 — углеродистая сталь; серый чугун; кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; сталь типа Х13 (до 15—20%), Х17—Х28, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ; ХН65МВ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металл; медь; бронза; латунь; алюминий; свинец; титан; тантал; серебро; 2 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; сталь типа Х17—Х28 (до 30%), Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ; ХН65МВ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металл; медь; бронза; латунь; алюминий; свинец (до 50—60 °С); титан; тантал; серебро; 3 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17 (до 100—110 °С); сталь типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т (до 100 °С); сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ (до 100 °С); ХН65МВ, Н70МФВ-ВИ (до 100—110 °С); медь, бронза, латунь (до 100—110 °С); алюминий (до 70—80 °С)

Углеродистые стали и серые чугуны в растворах хлората натрия концентрацией менее 50% стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1]. По данным работы [200], при температуре 90 °С в растворах концентрацией более 18% углеродистые стали, оставаясь стойкими, подвергаются язвенной коррозии глубиной 0,5 мм, а при частичном погружении в раствор — сильно разрушаются на фазовой границе с образованием язв глубиной более 2,5 мм. Согласно

работе [3], углеродистые стали и серые чугуны при обычной температуре в растворах хлората натрия нестойки.

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в любых растворах хлората натрия сохраняют высокую стойкость (скорость коррозии $< 0,05$ мм/год) до температуры 100°C [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13 при нормальной температуре в растворах хлората натрия концентрацией менее 50% корродируют со скоростью $0,1$ — 1 мм/год. Стали типа Х17—Х28 в растворах концентрацией менее 30% стойки (скорость коррозии $0,1$ мм/год) до температуры кипения [1].

Аустенитные хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в растворах хлората натрия концентрацией до 50—70% стойки (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год) до 110°C [1, 200]. При температуре кипения в растворах концентрацией менее 50% стали типа Х18Н10Т корродируют со скоростью до 1 мм/год, стали типа Х17Н13М2Т — со скоростью менее $0,1$ мм/год [1]. По данным работы [3], стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в любых растворах хлората натрия при температуре до 100°C удовлетворительно стойки (скорость коррозии $0,05$ — $0,5$ мм/год).

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в растворах хлората натрия концентрацией до 50% стойки (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год) при температуре до 100°C [1], в более концентрированных растворах — удовлетворительно стойки (скорость коррозии до $0,5$ мм/год) [3, 48].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл стойки (скорость коррозии $< 0,05$ мм/год) в растворах хлората натрия концентрацией до 50—60% при температуре до 100 — 110°C [1, 3, 200].

Никельмолибденовые сплавы Н70МФВ, ХН65МВ в любых растворах сохраняют высокую стойкость (скорость коррозии $0,01$ мм/год) до температуры 110°C [200] (по другим данным [3], скорость коррозии $0,05$ — $0,5$ мм/год).

Медь и медные сплавы. Медь, латуни, алюминиевые и оловянистые бронзы в любых растворах хлората натрия стойки до температуры 110°C (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год) [1, 48, 61, 200].

Алюминий при температуре до 100°C в любых растворах хлората натрия удовлетворительно стоек (скорость коррозии $0,1$ — $0,5$ мм/год) [1—3, 61, 140].

Свинец в любых растворах хлората натрия стоек (скорость коррозии $< 0,2$ мм/год) до температуры 100°C [1, 2, 61]. По данным работы [3], при обычной температуре в любых растворах хлората натрия свинец корродирует со скоростью $0,05$ — $0,5$ мм/год, в 10%-ном растворе при 100°C — со скоростью $0,5$ — $1,3$ мм/год.

Титан в растворах хлората натрия концентрацией менее 50% стоек до 100°C (скорость коррозии $< 0,05$ мм/год) [1, 2, 140].

Другие металлы. Серебро, тантал в растворах хлората натрия концентрацией менее 50% стойки (скорость коррозии $< 0,05$ мм/год) до температуры кипения [1, 2, 48].

35.22. Хлориды — МСI

Хлорид аммония хорошо растворим в воде — 27,1% (20°C); 33,5% (50°C); 43,6% (100°C). Насыщенный раствор концентрацией 46,6% кипит при $114,8^\circ\text{C}$.

Растворы хлорида аммония имеют слабокислую реакцию в результате процесса гидролиза, который усиливается при повышении температуры (25%-ный раствор при 160 °С имеет рН 4,5—5). Они более агрессивны, чем растворы хлоридов щелочных металлов при одинаковой концентрации, и вызывают точечную коррозию (в том числе титана), поскольку в кислой среде депассивирующее действие хлорид-ионов сильнее. По коррозионной активности растворы хлорида аммония сравнимы с разбавленными (1—5%) растворами соляной кислоты [5].

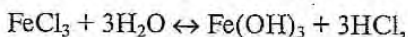
В концентрированных растворах хлорида аммония (особенно при высокой температуре) многие сплавы подвержены коррозионному растрескиванию. К их числу относятся алюминийевые сплавы, хромистые и хромоникелевые стали и сплавы типа ХН28МДТ.

Хлорид железа(II) имеет растворимость 38,5% при 20 °С; 42,1% при 50 °С и 48,5% при 100 °С. Температура кипения насыщенного (50,4%) раствора 117,5 °С.

В растворах хлорид железа(II) легко окисляется кислородом воздуха до хлорида железа(III). Присутствие ионов Fe^{3+} существенно повышает агрессивность растворов по отношению к некоторым металлам (например, никелю).

Хлорид железа(III) образует растворы концентрацией 47,9% при 20 °С; 75,9% при 50 °С и 84,3% при 100 °С.

В водных растворах хлорид железа(III) легко подвергается гидролизу:



и они приобретают кислый характер. Кроме того, хлорид железа(III) является сильным бескислородным окислителем. Из-за кислого характера, присутствия депассиваторов (ионы Cl^-) и окислителей (ионы Fe^{3+}) растворы хлорида железа(III) являются весьма агрессивной средой для большинства металлов и сплавов. Пассивное состояние многих металлов и сплавов (например, хромистых и хромоникелевых сталей, в том числе с добавками молибдена) оказывается неустойчивым, и они подвергаются интенсивной точечно-язвенной коррозии.

В коррозионном отношении растворы хлорида железа(III) нужно рассматривать как разбавленные растворы соляной кислоты, содержащие эффективный окислитель.

Хромистые и хромоникелевые стали подвержены коррозионному растрескиванию в растворах хлорида железа(III).

Хлорид калия имеет растворимость 25,6% при 20 °С; 30,1% при 50 °С; 35,9% при 100 °С. Насыщенный раствор концентрацией 36,9% кипит при 108,6 °С.

Растворы хлорида калия имеют нейтральный характер. Скорость коррозии в них зависит от концентрации, увеличиваясь до ~4%, а затем снижаясь [68]. Главное агрессивное действие на корродирующие металлы оказывают ионы-активаторы Cl^- , вызывающие локальную коррозию пассивных металлов и сплавов.

Как известно, хлорид свинца труднорастворим, и при коррозии свинца на его поверхности могут образовываться осадки, тормозящие дальнейшее разрушение металла. При коррозии свинца в растворах хлорида калия обра-

зующиеся осадки обладают слабой адгезией и не могут эффективно защищать свинец.

В растворах хлорида калия коррозионному растрескиванию подвержены хромоникелевые стали, медь, бронзы.

Хлорид кальция хорошо растворим в воде: 42,7% при 20 °С; 56,9% при 50 °С и 61,3% при 100 °С. Температура кипения насыщенного (75,3%) раствора 178 °С.

В водных растворах хлорид кальция частично гидролизуетсся с образованием $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и HCl , поэтому растворы средних концентраций имеют слабокислый характер (рН 4,5—5,0). Чистые растворы при обычной температуре в коррозионном отношении малоактивны, но в горячих аэрированных растворах коррозия интенсифицируется. В этих условиях алюминий, нержавеющие стали подвержены питтингово-язвенной коррозии. По отношению к углеродистым сталям разбавленные растворы хлорида кальция более агрессивны, чем концентрированные растворы, причем коррозия усиливается при аэрации.

Алюминиевые сплавы и хромоникелевые стали подвержены коррозионному растрескиванию в растворах хлорида кальция.

Хлорид магния растворяется в воде в количестве 35,4% (20 °С); 37,3% (50 °С); 42,2% (100 °С). Раствор концентрацией 42% кипит при 154 °С, насыщенный раствор (46,1%) кипит при 158 °С.

В водных растворах при повышенной температуре хлорид магния частично гидролизуетсся, что приводит к подкислению растворов. Поэтому в коррозионном отношении растворы хлорида магния можно рассматривать как слабые растворы соляной кислоты. Ионы Cl^- , образующиеся в растворах хлорида магния, способствуют локальной коррозии пассивирующихся металлов и сплавов.

В концентрированных растворах (особенно при температуре кипения) углеродистые и низколегированные стали, хромистые и хромоникелевые нержавеющие стали, сплавы типа ХН28МДТ, латуни, монель-металл подвергаются коррозионному растрескиванию.

Хлорид натрия при растворении образует растворы, концентрация которых слабо изменяется с температурой. Растворимость хлорида натрия составляет 26,4% при 20 °С; 26,9% при 50 °С и 28,1% при 100 °С. Температура кипения насыщенного (28,9%) раствора 108,8 °С.

Разбавленные растворы хлорида натрия проявляют большую агрессивность, чем концентрированные растворы. Кроме того, коррозионная активность растворов зависит от степени аэрации и значения рН. Подкисленные растворы хлорида натрия отличаются повышенной агрессивностью, в том числе по отношению к титану. Аэрированные нейтральные или почти нейтральные растворы вызывают точечную коррозию нержавеющих сталей, которая усиливается с повышением температуры. В разбавленных (4—10%) растворах максимальная точечная коррозия наблюдается при 90 °С. Примечательно, что независимо от концентрации раствора хлорида натрия при кипении точечная коррозия не возникает [5].

Алюминиевые сплавы, титановые сплавы (легированные алюминием, молибденом и ванадием), хромистые и хромоникелевые стали подвержены коррозионному растрескиванию в растворах хлоридов. Углеродистые и низколе-

гированные стали растрескиваются в концентрированных растворах хлорида магния.

Суперферритные стали 01X18M2T и 01X25M2T не подвержены коррозионному растрескиванию в растворах хлоридов [27].

35.22.1. Аммония хлорид (нашатырь) — NH_4Cl

Области применения металлических материалов в растворах хлорида аммония ориентировочно показаны на рис. 35.22.

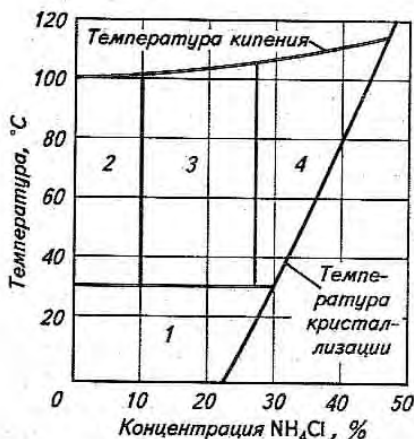


Рис. 35.22. Области применения металлических материалов в растворах хлорида аммония:

1 — углеродистая сталь, серый чугун (до 5%); кремнистый чугун ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3; хромистый чугун ЧХ28—ЧХ34; никелевый чугун (14—32% Ni); нирезист; сталь типа Х13—Х17 (до 10—20%), Х25—Х28, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН65МВ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металл; медь (до 10—20%); алюминий (до 5—10%); свинец; сурьмянистый свинец; титан; цирконий; тантал; серебро; платина; 2 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3; хромистый чугун ЧХ28—ЧХ34; никелевый (14—32% Ni) чугун; нирезист; сталь типа Х17—Х28, Х18Н10Т (до 70 °С), Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т; 08Х21Н6М2Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН65МВ, Н70МФВ-ВИ; никель (до 60—70 °С); монель-металл; свинец; сурьмянистый свинец; титан; цирконий; тантал; серебро; платина; 3 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3; хромистый чугун ЧХ28—ЧХ34; никелевый чугун (14—32% Ni); нирезист; сталь типа Х18Н10Т (до 70 °С), Х17Н13М2Т (до 90 °С); стали 08Х22Н6Т (до 70 °С); 08Х21Н6М2Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН65МВ, Н70МФВ-ВИ (до 90—100 °С); монель-металл; свинец; сурьмянистый свинец; титан; цирконий; тантал; серебро; платина; 4 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3; хромистый чугун ЧХ28—ЧХ34; сталь типа Х17Н13М2Т (до 70 °С); сталь 08Х21Н6М2Т (до 70 °С); сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ (до 100 °С); сурьмянистый свинец (до 70—80 °С); титан (до 100 °С); цирконий; тантал, серебро (до 100 °С)

Углеродистые стали и серые чугуны при обычной температуре в разбавленных (до 5%) растворах хлорида аммония стойки (скорость коррозии 0,2 мм/год) [4, 5, 61], в 10%-ном растворе — удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,5—1,3 мм/год) [3], в более концентрированных растворах (особенно при повышенной температуре) — нестойки [1, 46, 88].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в любых растворах хлорида аммония сохраняют стойкость (скорость коррозии < 0,1 мм/год)

до температуры кипения [3, 4]. По данным работ [61, 88] при температуре кипения в насыщенном растворе скорость коррозии кремнистых чугунов достигает 1 мм/год. Кремнистые чугуны ЧС15М4, ЧС17М3 в любых растворах хлорида аммония стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры 150 °С [4].

Хромистые чугуны ЧХ28—ЧХ34 при температуре кипения в растворах концентрации до 20% корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [4], в более концентрированных растворах (до насыщенных) — со скоростью менее 0,5 мм/год [61].

Никелевые чугуны (нирезисты) с 12—15% Ni в растворах хлорида аммония концентрацией до 20% при нормальной температуре корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [4, 5, 61], при температуре 90 °С — со скоростью менее 0,3 мм/год [10]. Никелевые чугуны с 14—32% Ni в растворах концентрацией до 30% стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) до температуры 100 °С [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13 при температуре 20 °С удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) в растворах хлорида аммония концентрацией до 10% [1, 150] (по данным работы [88], до 25%). В растворах концентрацией более 27% при температуре 90 °С такие стали нестойки [1, 2, 46].

Хромистые стали типа Х17 в растворах концентрацией менее 10% при обычной температуре стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) [2, 88, 150], при температуре 90 °С — корродируют со скоростью 0,1—1 мм/год, в более концентрированных растворах при температуре кипения — нестойки [1, 2].

Стали типа Х25, Х28 при нормальной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) в любых растворах хлорида аммония. При температуре кипения в растворах концентрацией менее 10% стали корродируют со скоростью 0,1—1 мм/год, в более концентрированных растворах — нестойки [1, 2].

По данным работы [4], хромистые стали типа Х13—Х25 в растворах концентрацией менее 25% удовлетворительно стойки (скорость коррозии <1 мм/год) до температуры кипения.

Аустенитные хромоникелевые стали типа Х18Н10Т в растворах хлорида аммония концентрацией до 27% при обычной температуре корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [2, 112, 150], при температуре кипения — со скоростью 0,1—1 мм/год [4, 88, 150] (по другим данным [1, 61], нестойки). В насыщенных (~44—47%) кипящих растворах скорость коррозии таких сталей менее 1 мм/год [46, 61, 88]. По данным работы [3], стали типа Х18Н10Т в 10%-ном растворе при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,5—1,3 мм/год. Стали типа Х17Н13М2Т в растворах хлорида аммония концентрацией менее 27% до температуры 90—100 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 2, 4, 61], при температуре кипения — удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [3, 46, 88].

Двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т в растворах хлорида аммония концентрацией менее 27% остаются стойкими (скорость коррозии 0,1 мм/год) до температуры кипения [1, 2]. В кипящем растворе концентрацией 27% сталь 08Х22Н6Т корродирует со скоростью более 1 мм/год, сталь 08Х21Н6М2Т — со скоростью менее 0,5 мм/год. В кипящем насыщенном растворе эти стали нестойки [2].

Хромоникелевые стали в растворах хлорида аммония подвержены язвенной коррозии и коррозионному растрескиванию.

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в любых растворах хлорида аммония при температуре до 100 °С корродируют со скоростью

0,05—0,5 мм/год [3]. В кипящих растворах концентрацией 27—47% скорость коррозии сплавов до 0,5 мм/год [2].

Никель и сплавы никеля. Никель обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии <0,5—1 мм/год) в растворах хлорида аммония концентрацией до 27% при температуре до 100 °С [1, 3, 61] (по данным работы [5], до температуры кипения), в более концентрированных растворах — корродирует со скоростью менее 0,25 мм/год [5].

Монель-металл в растворах концентрацией до 27% удовлетворительно стоек до 90 °С (скорость коррозии <0,3—0,5 мм/год) [1, 46], в более концентрированных растворах при температуре до 100 °С — корродирует со скоростью 0,5—1,3 мм/год [3].

Никельмолибденовые сплавы типа ХН65МВ, Н70МФВ в растворах концентрацией менее 27% сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,05 мм/год) до температуры 100 °С [3]. По данным [1, 112], сплав Н70МФВ удовлетворительно стоек (скорость коррозии <0,5 мм/год).

Медь и медные сплавы. Медь в растворах хлорида аммония концентрацией до 27% при обычной температуре разрушается со скоростью менее 1 мм/год, при 100 °С — нестойка [1, 61]. В деаэрированном растворе концентрацией 10% при температуре до 50 °С скорость коррозии меди 0,5—1,3 мм/год [3].

Оловянистая бронза при обычной температуре в разбавленных (5%) растворах удовлетворительно стойка (скорость коррозии <0,5 мм/год) [4], в более концентрированных растворах — нестойка. Алюминиевые бронзы нестойки в растворах концентрацией до 27% при температуре до 100 °С [1].

Латуни при нормальной температуре в разбавленных (до 5%) растворах стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 4, 46], в более концентрированных растворах — нестойки [3]. Согласно работе [2], латуни в любых растворах при 20 °С нестойки.

Алюминий и его сплавы с кремнием, марганцем, магнием при обычной температуре в разбавленных (до 5—10%) растворах хлорида аммония стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 46], в концентрированных растворах и при повышенной температуре — нестойки [1, 3, 61].

Свинец в разбавленных (<10%) растворах хлорида аммония удовлетворительно стоек до температуры кипения (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [1, 3, 46, 61], в более концентрированных растворах — нестойк [1].

Сурьмянистый свинец применим (скорость коррозии 0,5—1 мм/год) в любых растворах хлорида аммония до температуры кипения [46, 88].

Титан и сплавы титана. Титан сохраняет стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год) в любых растворах хлорида аммония до температуры кипения [10, 83, 156]. Несмотря на высокую стойкость титана к общей коррозии, в определенных условиях он может подвергаться питтинговой и щелевой коррозии (рис. 35.23).

Сплав титана 4200 в кипящем кислом растворе хлорида аммония концентрацией 44% сохраняет высокую стойкость (скорость коррозии <0,01 мм/год) и не подвержен питтинговой и щелевой коррозии [202].

Серебро в растворах хлорида аммония концентрацией менее 10% обладает стойкостью до температуры кипения, в более концентрированных растворах — до 100 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [1, 3].

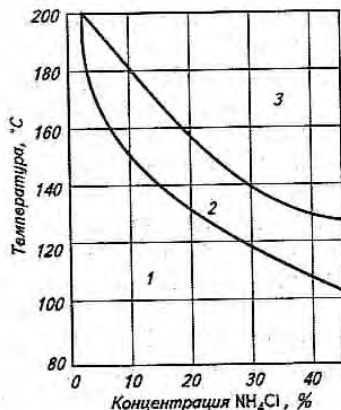


Рис. 35.23. Стойкость титана к питтинговой и щелевой коррозии в растворах NH_4Cl : 1 — область стойкости; 2 — область щелевой коррозии; 3 — область питтинговой и щелевой коррозии [201]

Другие металлы. Платина в растворах хлорида аммония концентрацией 27% стойка до температуры 100 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Цирконий сохраняет очень высокую стойкость (скорость коррозии <0,005 мм/год) в любых растворах хлорида аммония до температуры кипения [83, 156].

Тантал практически не подвергается коррозии в любых растворах хлорида аммония до температуры 150 °С [1].

35.22.2. Железа(II) хлорид — FeCl_2

Области применения металлических материалов в растворах хлорида железа(II) ориентировочно показаны на рис. 35.24.

Углеродистые стали и серые чугуны при температуре 20 °С в растворах хлорида железа(II) концентрацией менее 38% корродируют со скоростью до 1 мм/год и более [1]. По данным работы [203], при обычной температуре скорость коррозии углеродистой стали 0,2—0,3 мм/год, при 70 °С — 1,2 мм/год. Согласно работе [3], в 10%-ном растворе углеродистые стали и серые чугуны нестойки (скорость коррозии >1,3 мм/год).

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17МЗ в любых растворах хлорида железа(II) и в твердой соли стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) до температуры 100 °С [1, 3, 61].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в растворах концентрацией более 10% при обычной температуре нестойки (скорость коррозии >1,3 мм/год) [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X13—X25 при нормальной температуре в растворах хлорида железа(II) нестойки [1, 2].

Аустенитные хромоникелевые стали типа X18N10T, X17N13M2T в растворах концентрацией менее 38% при температуре 70 °С нестойки [1]. По данным работ [3, 48, 203], в 30%-ном растворе при температуре до 70—100 °С скорость коррозии сталей менее 0,5—0,6 мм/год. При этом коррозия носит локальный характер [2] с образованием на сталях типа X18N10T питтингов глубиной до 2 мм [203].

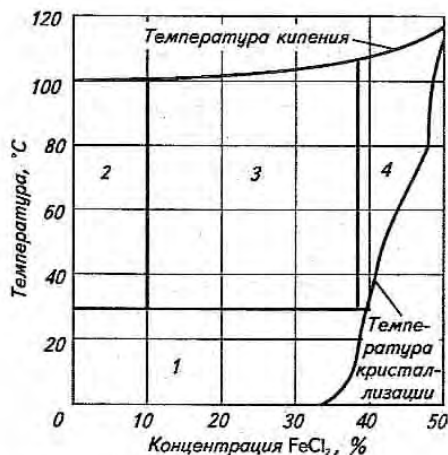


Рис. 35.24. Области применения металлических материалов в растворах хлорида железа(II):

1 — углеродистая сталь (до 10—20%); кремнистый чугун ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3; сталь типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; стали 08Х18Г8Н3М2Т, 10Х14Г14Н4Т (до 20%); сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ; ХН65МВ; Н70МФВ-ВИ; никель, монель-металлы (до 20—30%); медь, бронза, латунь; свинец (до 10—15%); титан; цирконий; тантал; серебро; 2 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3; сталь типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т (до 60—70 °С); стали 08Х18Г8Н3М2Т, 10Х14Г14Н4Т; сплавы ХН65МВ; Н70МФВ-ВИ; титан; цирконий; тантал; серебро; 3 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3 (до 100 °С); сталь типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т (до 30%, 60—70 °С); сплавы ХН65МВ, Н70МФВ-ВИ (до 90—100 °С); титан; цирконий; тантал, серебро (до 80—100 °С); 4 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3 (до 100 °С); сплавы ХН65МВ, Н70МФВ-ВИ (до 70—80 °С); титан, цирконий (до 100 °С); тантал

Стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в растворах хлорида железа(II) подвержены коррозионному растрескиванию.

Высоколегированные стали с марганцем 08Х18Г8Н3М2Т, 10Х14Г14Н4Т в разбавленных (до 10%) растворах хлорида железа(II) при температуре кипения корродируют со скоростью 0,1—0,4 мм/год [2, 15].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в растворах хлорида железа(II) концентрацией до 38% удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) при обычной температуре, при 70 °С — нестойки [1] (по данным работы [3], скорость коррозии 0,5—1,3 мм/год). В растворах концентрации 10—30% при температуре 20—70 °С сплавы подвержены точечной коррозии глубиной до 2 мм [203].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металлы при обычной температуре в любых растворах хлорида железа(II) обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [2] (согласно работе [1], до 1 мм/год). По данным работы [3], в 10%-ном растворе скорость коррозии этих металлов 0,5—1,3 мм/год.

Никельмолибденовые сплавы типа Н70МФВ, ХН65МВ при температуре до 100 °С в растворах концентрацией менее 38% стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 27, 150], в более концентрированных растворах — удовлетворительно стойки (скорость коррозии <0,5 мм/год) [3, 48].

Медь и медные сплавы. Медь, бронзы, латуни в любых растворах хлорида железа(II) удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) при обычной температуре [1—3, 48], при 100 °С — нестойки [1, 2].

Свинец при нормальной температуре корродирует со скоростью 0,5—1 мм/год в любых растворах хлорида железа(II) [2] (по другим данным [3], только в растворах концентрацией до 10%). При повышенной температуре свинец нестойк [1, 2].

Титан сохраняет стойкость (скорость коррозии <0,05 мм/год) в любых растворах хлорида железа(II) до 100 °С [1—3]. При температуре кипения скорость коррозии может увеличиваться до 0,5 мм/год [2]. В кипящем 10%-ном растворе скорость коррозии титана менее 0,1 мм/год [156].

Цирконий стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) в любых растворах хлорида железа(II) до 100 °С [3, 48] (по данным работы [10], до температуры кипения). Согласно работе [156], цирконий стоек (скорость коррозии до 0,15 мм/год) в растворе концентрации менее 10% при температуре не выше 60 °С.

Серебро в растворах хлорида железа(II) концентрацией менее 38% при температуре до 100 °С стойко (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 61] (по данным работы [3], скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Другие металлы. Тантал практически не подвергается коррозии в любых растворах хлорида железа(II) до температуры 100—150 °С [1, 3, 61].

Алюминий в растворах хлорида железа(II) нестойк при обычной температуре [1, 46].

35.22.3. Железа(III) хлорид — FeCl₃

Металлы и сплавы в хлориде железа(III) обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны при нормальной температуре в любых растворах хлорида железа(III) нестойки [1, 3, 61].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3 в растворах хлорида железа(III) концентрацией до 48% при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 61, 88], при 80 °С — удовлетворительно стойки (скорость коррозии <1 мм/год) [61], при 100 °С — нестойки [1]. Чугуны, содержащие 17% Si, обладают большей стойкостью, чем чугуны с 15% Si (в 50%-ном растворе при 50 °С скорость коррозии первых чугунов менее 1 мм/год, вторые чугуны — нестойки) [4, 88].

Хромистые чугуны ЧХ28—ЧХ34 нестойки при нормальной температуре в 30%-ном растворе хлорида железа(III) [4, 61, 88].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в любых растворах при обычной температуре нестойки (скорость коррозии >1,3 мм/год) [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х28 при обычной температуре в разбавленных (до 1%) растворах хлорида железа(III) обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии <1 мм/год) [1, 2, 48] (по данным работы [88], стали типа Х13 нестойки), в более концентрированных растворах все хромистые стали нестойки [1, 4, 140].

Аустенитные хромоникелевые стали типа Х18Н10Т при нормальной температуре в растворах концентрацией менее 1% корродируют со скоростью до 1 мм/год [2, 48, 140], в более концентрированных растворах — нестойки [1, 61, 88]. Стали типа Х17Н13М2Т в растворах концентрацией до 10% при 20 °С корродируют

со скоростью менее 0,5 мм/год, в более концентрированных растворах — нестойки [1, 48, 88]. По данным работы [3], стали типа X18H10T, X17H13M2T при обычной температуре в любых растворах хлорида железа(III) нестойки. Кроме того, эти стали подвержены питтингово-язвенной коррозии [2, 3].

Двухфазные стали 08X22H6T, 08X21H6M2T и высоколегированные стали с марганцем 08X18Г8H3M2T, 10X14Г14H4T в растворах хлорида железа(III) при нормальной температуре нестойки [1, 2, 15, 140].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ при температуре 60 °С в растворах хлорида железа(III) концентрацией до 75% нестойки [1, 2].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл нестойки в растворах хлорида железа(III) концентрацией до 48% при обычной температуре [1, 3, 61].

Сплав ХН65МВ в растворах концентрацией менее 48% стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 60 °С [1, 2, 112] (по данным работы [203], до 80 °С). В растворах концентрацией 60—80% при температуре 70—95 °С сплав нестойк [3, 48, 203]. Согласно работе [33], сплав ХН63МБ обладает большей стойкостью и в 36%-ном растворе при температуре кипения корродирует со скоростью менее 0,05 мм/год.

Никельмолибденовый сплав Н70МФВ в растворах концентрацией менее 48% при обычной температуре нестойк [1, 2, 12]. По данным работы [140], этот сплав при температуре 20 °С сохраняет стойкость (скорость коррозии 0,1 мм/год) в растворах концентрацией до 30%.

Свинец при нормальной температуре удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) в растворах хлорида железа(III) концентрацией до 48% (по данным работы [3] — до 10%), при 100 °С — нестойк [1, 140].

Титан и сплавы титана. Титан сохраняет стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год) в любых растворах хлорида железа(III) до 100 °С [3], при концентрации менее 50% — до температуры 150—200 °С [1, 3, 10, 83], при концентрации менее 30% — до температуры кипения [83, 140]. С увеличением концентрации коррозии титана усиливается и при температуре кипения в растворах концентрацией до 48% может достигать 0,2 мм/год [1]. При концентрации 72% и температуре до 95 °С титан удовлетворительно стоек (скорость коррозии <0,5 мм/год), в 80%-ном растворе при 80 °С — нестойк [39, 48, 203].

Сплавы ВТ3-1, ВТ5, ВТ5-1, ВТ6, ОТ4 в растворе концентрацией 40% при температуре 95 °С стойки (скорость коррозии <0,005 мм/год) [140].

Сплав 4200 стоек (скорость коррозии <0,03 мм/год) в растворах концентрацией менее 30% до температуры кипения [81], концентрацией менее 60% — до 80 °С [48, 203]. При температуре 80 °С в 72%-ном растворе скорость коррозии сплава 0,6 мм/год, в 80%-ном — более 2 мм/год [48, 203].

Сплав 4201 сохраняет высокую стойкость (скорость коррозии <0,02 мм/год) в растворах концентрацией менее 40% до температуры кипения [140], концентрацией менее 60% — до 95 °С [48, 203]. В 72%-ном растворе при 80 °С скорость коррозии сплава более 1 мм/год [48, 203].

Цирконий стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) в разбавленных (5%) растворах хлорида железа(III) до температуры 60—100 °С, при концентрации менее 10% — до 35 °С [48]. При обычной температуре в растворах концентрацией 15—20% цирконий удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,1—1,3 мм/год), в растворах концентрацией 25—30% — нестойк [10].

Тантал сохраняет очень высокую стойкость в растворах хлорида железа(III) концентрацией менее 30% до температуры кипения, при концентрации менее 48% — до 150 °С, при концентрации менее 80% — до 100 °С [1, 3, 48, 140].

Серебро в растворах хлорида железа(III) концентрацией менее 20% при обычной температуре удовлетворительно стойко (скорость коррозии 0,5—1,3 мм/год), при температуре 50 °С — нестойко [3].

Платина и металлы платиновой группы. Иридий, рутений, родий практически не корродируют в 10%-ном растворе хлорида железа(III) при температуре 100 °С. Платина, палладий, осмий, золото в таких условиях нестойки [2, 5].

Другие металлы. Ниобий при обычной температуре обладает высокой стойкостью (скорость коррозии <0,001 мм/год) в любых растворах хлорида железа(III) [48].

Медь, бронза, латунь, мельхиор (30% Ni) при обычной температуре нестойки в любых растворах хлорида железа(III) [1, 3, 61, 140], алюминий и его сплавы с медью, кремнием, магнием, марганцем — в растворах концентрацией до 48% [1, 3, 48, 61].

35.22.4. Калия хлорид — КСl

Области применения металлических материалов в растворах хлорида калия ориентировочно показаны на рис. 35.25.

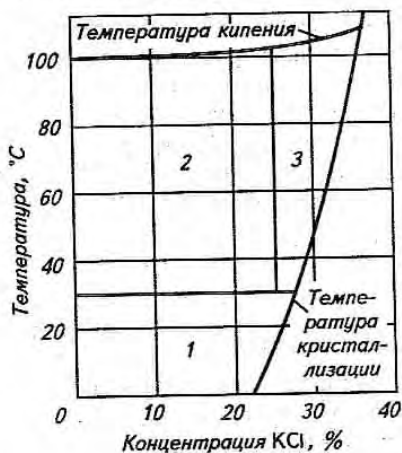


Рис. 35.25. Области применения металлических материалов в растворах хлорида калия:

1 — углеродистая сталь, серый чугун (до 15—20%); кремнистый чугун ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3; никелевый чугун (14—32% Ni) сталь типа Х17—Х25 (до 15—20%), Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; сталь 08Х22Н6Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН65МВ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металл; медь, бронза, латунь; свинец (до 15—20%); титан; цирконий; тантал; серебро; 2 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3; никелевый (14—32% Ni) чугун (до 75 °С); сталь типа Х18Н10Т (до 60—70 °С), Х17Н13М2Т; сталь 08Х22Н6Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН65МВ, Н70МФВ-ВИ (до 80—90 °С); никель; монель-металл; медь, бронза, латунь (до 20%, 60—70 °С); свинец (до 10%, 50—60 °С); титан; цирконий; тантал; серебро (до 20%, 70 °С); 3 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3 (до 100 °С); никелевый (14—32% Ni) чугун (до 75 °С); сталь типа Х18Н10Т (до 60—70 °С), Х17Н13М2Т; сталь 08Х22Н6Т (до 100 °С); сплавы ХН65МВ, Н70МФВ-ВИ (до 60—70 °С); никель, монель-металл (до 60—70 °С); титан; цирконий; тантал

Углеродистые стали и серые чугуны в любых растворах хлорида калия удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,5—1,3 мм/год) при температуре до 50 °С и нестойки в более концентрированных растворах при повышенной температуре [1—3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3 в растворах хлорида калия концентрацией менее 25% и в твердой соли стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 3, 88], в насыщенном (~37%) растворе при температуре кипения — удовлетворительно стойки (скорость коррозии <1 мм/год) [1, 4, 61].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) в любых растворах при температуре до 75 °С [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х25 при нормальной температуре в любых растворах хлорида калия обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии <1 мм/год) [4, 46, 150] (по данным справочника [1], стали типа Х17 нестойки). В насыщенном растворе (~37%) при температуре кипения хромистые стали нестойки [1, 2, 46].

Аустенитные хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в любых растворах хлорида калия при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 46, 150]. По данным работы [3], стали типа Х18Н10Т в деаэрированных растворах удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—1,3 мм/год). В насыщенном растворе при температуре кипения стали типа Х18Н10Т корродируют со скоростью до 1 мм/год, стали типа Х17Н13М2Т — менее 0,1 мм/год [1, 3, 4].

Двухфазная сталь 08Х22Н6Т в насыщенном растворе при температуре 100 °С стойка (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 15, 48].

Хромоникелевые стали в растворах хлорида калия подвержены питтинговой коррозии и коррозионному растрескиванию.

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в растворах хлорида калия концентрацией менее 25% стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [1, 48]. В 30%-ном растворе при 100 °С скорость коррозии сплавов до 0,5 мм/год [3].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл в растворах хлорида калия концентрацией менее 25% сохраняют стойкость до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 2, 46]. По данным работы [3], в растворах концентрацией 10—30% при температуре 100 °С скорость коррозии возрастает до 0,5 мм/год.

Никельмолибденовый сплав Н70МФВ при обычной температуре в любых растворах хлорида калия стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год), сплав ХН65МВ — удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,1—0,8 мм/год) [1]. Согласно работе [3], в растворах концентрацией 10—30% при температуре до 100 °С сплавы корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Медь и медные сплавы. Медь в растворах хлорида калия концентрацией до 25% при температуре 20 °С стойка (скорость коррозии <0,1 мм/год), при 100 °С — растворяется со скоростью до 0,3 мм/год [1, 61]. По данным работы [4], в растворах концентрацией 1—20% при 85 °С скорость коррозии меди 0,7—1,4 мм/год.

Алюминиевые, оловянистые бронзы в растворах хлорида калия концентрацией до 25% при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1]. В растворах концентрацией 1—20% при температуре 85 °С скорость коррозии бронз 0,6—0,8 мм/год [4].

Латуни в растворах концентрацией менее 20% при 85 °С удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,5—0,9 мм/год) [4], при концентрации до 25% и температуре до 40 °С — нестойки [1].

Свинец в любых растворах хлорида калия при нормальной температуре удовлетворительно стоек (скорость коррозии <0,5 мм/год) [1]. В разбавленных (<10%) растворах при температуре до 75 °С скорость коррозии свинца 0,05—0,5 мм/год [3].

Другие металлы. Титан, цирконий, тантал стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) в любых растворах хлорида калия до температуры кипения [1—3, 39, 83].

Серебро в любых растворах хлорида калия стойко (скорость коррозии <0,1 мм/год) при нормальной температуре [1], в растворах концентрацией менее 20% — при температуре до 75 °С [3].

Алюминий при обычной температуре нестойк в растворах хлорида калия [1—3].

35.22.5. Кальция хлорид — CaCl₂

Области применения металлических материалов в растворах хлорида кальция ориентировочно показаны на рис. 35.26.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали в растворах хлорида кальция концентрацией менее 30% стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) при температуре до 90 °С [1, 61, 204], в любых растворах при температуре до 50 °С — удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3]. В растворах концентрацией 40—55% при температуре до 100 °С углеродистые стали удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,5—1 мм/год), в кипящем насыщенном растворе — нестойки [1, 2, 140].

Серые чугуны стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) в любых растворах (рН > 7) при температуре до 75 °С [3]. В растворах концентрацией 40—55% при температуре 120—140 °С скорость коррозии чугунов 0,7—0,8 мм/год [140].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3 в любых растворах хлорида кальция стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) при нормальной температуре, в разбавленных (10%) растворах — стойки до температуры кипения [61, 140]. В растворах концентрацией до 43% при температуре 100 °С чугуны ЧС15, ЧС15М4 корродируют со скоростью менее 1 мм/год, чугуны ЧС17, ЧС17М3 — со скоростью менее 0,1 мм/год [1, 4]. По данным работы [3], кремнистые чугуны стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) в любых растворах хлорида кальция при температуре до 100 °С.

Хромистые чугуны ЧХ28—ЧХ34 в растворах концентрацией менее 43% стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) при температуре до 100 °С [4] (по другим данным [61, 140] — до температуры кипения).

Никелевые чугуны (нирезисты) с 12—20% Ni в разбавленных (<10%) растворах при 20 °С стойки (скорость коррозии 0,2 мм/год) [46, 61]. Никелевые чугуны (14—32% Ni) при обычной температуре в растворах концентрацией 10—40% корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год, в более концентрированных растворах — со скоростью 0,5—1,3 мм/год [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х25 в растворах хлорида кальция концентрацией менее 43% при нормальной температуре

удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—1 мм/год), при температуре кипения — нестойки [1, 2, 140, 150].

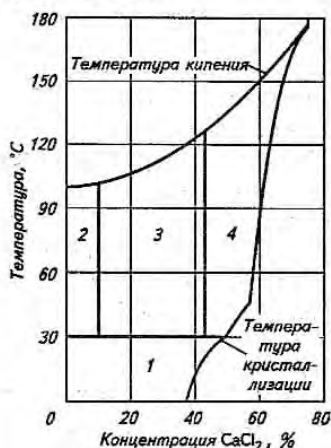


Рис. 35.26. Области применения металлических материалов в растворах хлорида кальция:

1 — углеродистая сталь; серый чугун; кремнистый чугун ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3; хромистый чугун ЧХ28—ЧХ34; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа Х25—Х28, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т; 08Х21Н6М2Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН65МВ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металл; медь; бронза; латунь; мельхиор; алюминий; свинец; титан; титановые сплавы 4200, 4201, ОТ4; цирконий; тантал; серебро; 2 — углеродистая сталь, серый чугун (до 90 °С); кремнистый чугун ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3; хромистый чугун ЧХ28—ЧХ34; сталь типа Х17Н13М2Т (до 50 °С), Х18Н10Т; стали 08Х22Н6Т; 08Х21Н6М2Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН65МВ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металл; медь; бронза, латунь (до 60—70 °С); мельхиор; алюминий (до 60—70 °С); свинец (до 50 °С); титан; титановые сплавы 4200, 4201, ОТ4; цирконий; тантал; серебро; платина (до 100 °С); 3 — серый чугун (до 70—80 °С); кремнистый чугун ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3, хромистый чугун ЧХ28—ЧХ34 (до 100 °С); сталь типа Х18Н10Т (до 60—70 °С), Х17Н13М2Т (до 50 °С); стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т (до 90—100 °С); сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН65МВ; Н70МФВ-ВИ (до 90—100 °С); никель; монель-металл (до 30%); медь, бронза, латунь (до 60—70 °С); мельхиор (до 90—100 °С); алюминий (до 60—70 °С); свинец (до 50 °С); титан (до 100 °С); титановые сплавы 4200, 4201, ОТ4; тантал; цирконий, серебро, платина (до 100 °С); 4 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3 (до 100 °С); сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН65МВ; никель (до 50%); мельхиор (до 90—100 °С); титан (до 100 °С); титановые сплавы 4200, 4201, ОТ4 (до 50—60%); тантал (до 60%); серебро, платина (до 100 °С)

Аустенитные хромоникелевые стали типа Х18Н10Т в растворах концентрацией менее 30% стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 83, 204], при концентрации менее 43% — до 50 °С [1, 2, 112]. По данным работы [3], стали типа Х18Н10Т в любых растворах хлорида кальция удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) при температуре до 75 °С. В насыщенном при 20 °С (~43%) кипящем растворе скорость коррозии таких сталей менее 1 мм/год [2, 88, 150].

Стали типа Х17Н13М2Т в растворах концентрацией менее 43% до температуры 50 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [2, 46, 112], при 100 °С — удовлетворительно стойки (скорость коррозии до 1 мм/год) [1, 88, 140], при температуре кипения — нестойки [1].

Двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т остаются стойкими (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) в растворах хлорида кальция концентрацией менее 43% при температуре до 100°C [1, 15, 48], при температуре кипения сталь 08Х22Н6Т нестойка [1], сталь 08Х21Н6М2Т — удовлетворительно стойка (скорость коррозии $0,1-0,5$ мм/год) [2].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в растворах хлорида кальция концентрацией менее 43% стойки до 100°C (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [48, 140, 204], при температуре кипения — удовлетворительно стойки (скорость коррозии $<0,3$ мм/год) [1]. В насыщенном (~75%) растворе при температуре кипения скорость коррозии сплавов до $0,1$ мм/год [112].

Никель и сплавы никеля. Никель при температуре до 150°C в растворах хлорида кальция концентрацией до 43% стоек (скорость коррозии $<0,05$ мм/год), в 60%-ном растворе — удовлетворительно стоек (скорость коррозии $<0,5$ мм/год) [3].

Монель-металл в растворах хлорида кальция концентрацией до 20% стоек (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) при температуре до 100°C , в более концентрированных растворах — удовлетворительно стоек (скорость коррозии $<0,5$ мм/год) до 120°C [3]. В насыщенном кипящем растворе скорость коррозии монель-металла до $0,4$ мм/год [46, 140].

Никельмолибденовые сплавы типа Н70МФВ, ХН65МВ в любых растворах хлорида кальция и в твердой соли стойки до 100°C (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [3]. При температуре кипения в растворах концентрацией до 43% сплав Н70МФВ корродирует со скоростью $0,1-1$ мм/год, сплав ХН65МВ — со скоростью менее $0,05$ мм/год [1]. В насыщенном (~75%) кипящем растворе скорость коррозии сплава ХН65МВ менее $0,1$ мм/год [112] (по данным работы [3], $0,05-0,5$ мм/год).

Медь и медные сплавы. Медь в любых растворах хлорида кальция при обычной температуре стойка (скорость коррозии $<0,05$ мм/год), при температуре до 75°C растворяется со скоростью $0,05-0,5$ мм/год, при 125°C — со скоростью $0,5-1,3$ мм/год [3].

Бронзы в растворах концентрацией до 43% при температуре ниже 80°C корродируют со скоростью менее $0,5$ мм/год, при 125°C — со скоростью $0,5-1,3$ мм/год [1].

Латуни в любых растворах удовлетворительно стойки (скорость коррозии $0,05-0,5$ мм/год) при температуре до 75°C [3], при 100°C скорость коррозии может возрастать до $1,3$ мм/год [1, 140].

Медноникелевый сплав (мельхиор) в любых растворах удовлетворительно стоек (скорость коррозии $0,05-0,5$ мм/год) при температуре до 100°C [3].

Алюминий в любых растворах хлорида кальция при температуре до 100°C удовлетворительно стоек (скорость коррозии $0,05-0,5$ мм/год) [3] (по данным работ [1, 48], при 100°C нестойк).

Сплавы алюминия типа АЛ2, АМг, АМц при обычной температуре в любых растворах хлорида кальция стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1, 140, 204].

Свинец в растворах хлорида кальция концентрацией менее 43% удовлетворительно стоек (скорость коррозии <1 мм/год) при температуре до 60°C , при 100°C — нестойк [1, 140].

Титан и сплавы титана. Титан сохраняет высокую стойкость (скорость коррозии $<0,01$ мм/год) в любых растворах хлорида кальция при температуре до 100°C [1, 3, 83, 203], в насыщенном растворе ($\sim 75\%$) при температуре кипения — нестойк [10, 205]. В кипящем растворе концентрацией 61% отмечалась локальная коррозия титана [202].

Сплав 4200 в растворах концентрацией до 60% при температуре кипения обладает очень высокой стойкостью (скорость коррозии $0,001$ мм/год) и не подвержен шелевой и питтинговой коррозии. В насыщенных кипящих растворах этот сплав практически не корродирует [39, 140, 202, 205]. Сплав 4201 в растворе концентрацией 52% ($\text{pH} < 6$) стоек при температуре 115°C (скорость коррозии $0,002$ мм/год) [39]. Сплав ОТ4 в 50% -ном кипящем растворе (130°C) практически не подвергается коррозии [204].

Другие металлы. Цирконий при температуре до 100°C в растворах хлорида кальция концентрацией менее 50% стоек (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [3, 10, 156], в насыщенных растворах при температуре кипения — корродирует со скоростью $0,2$ — $1,7$ мм/год [10, 46, 140].

Тантал, серебро, платина в любых растворах хлорида кальция стойки (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) до температуры 100°C [3]. Тантал в растворах концентрацией 43 — 62% при температуре кипения практически не подвергается коррозии [1, 46, 48].

35.22.6. Магния хлорид — MgCl_2

Области применения металлических материалов в растворах хлорида магния ориентировочно показаны на рис. 35.27.

Углеродистые стали и серые чугуны при нормальной температуре в растворах хлорида магния концентрацией до 35% стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1, 88] (по данным работы [3], до $0,5$ мм/год). При температуре кипения скорость коррозии сталей может достигать 1 мм/год [1], чугунов — $0,5$ мм/год [88]. По данным работы [3], в растворе концентрацией 20% при температуре 50°C стали и чугуны корродируют со скоростью $0,5$ — $1,3$ мм/год.

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3 в растворах хлорида магния концентрацией менее 35% стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до температуры кипения [1]. По другим данным, при температуре 100 — 120°C кремнистые чугуны корродируют со скоростью $0,05$ — $0,5$ мм/год [3], при температуре кипения — до 1 мм/год [88].

Хромистые чугуны ЧХ28—ЧХ34 в растворах хлорида магния концентрацией менее 25% стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до температуры 100°C [4].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) при температуре до 100 — 120°C в растворах концентрацией менее 35% корродируют со скоростью $0,05$ — $0,5$ мм/год [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13 при температуре 20°C в разбавленных (до 10%) растворах хлорида магния стойки (скорость коррозии $0,1$ мм/год) [140], в растворах концентрацией 10 — 35% — нестойки [1, 2, 150].

Хромистые стали типа Х17—Х28 в любых растворах хлорида магния при обычной температуре стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год), при температуре кипения — нестойки [1, 140, 150].

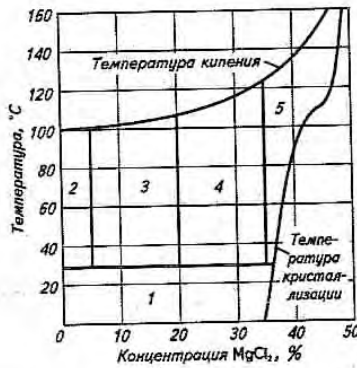


Рис. 35.27. Области применения металлических материалов в растворах хлорида магния:

1 — углеродистая сталь; серый чугун; кремнистый чугун ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3; хромистый чугун ЧХ28—ЧХ34; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа Х17—Х28, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т; сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ, ХН65МВ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металл; медь; бронза; латунь; свинец; титан; титановые сплавы 4200, ОТ4; цирконий; тантал; серебро; платина; 2 — углеродистая сталь, серый чугун; кремнистый чугун ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3; хромистый чугун ЧХ28—ЧХ34; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т; сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ, ХН65МВ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металл; медь; бронза; латунь; титан; титановые сплавы 4200, ОТ4; цирконий; тантал; серебро; платина; 3 — углеродистая сталь, серый чугун (до 50—70 °С); кремнистый чугун ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3; хромистый чугун ЧХ28—ЧХ34; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т (до 50—60 °С); стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т; сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ, ХН65МВ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металл; медь; бронза, латунь (до 50—70 °С); титан; титановые сплавы 4200, ОТ4; цирконий, тантал; серебро, платина; 4 — никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа Х17Н13М2Т (до 50—60 °С); стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т (до 100 °С); сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ, ХН65МВ (до 100 °С); Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металл; медь; бронза, латунь (до 50—70 °С); титан; титановые сплавы 4200, ОТ4 (до 50—60%); цирконий; тантал; серебро (до 100 °С); платина (до 100 °С); 5 — сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ (до 100 °С); Н70МФВ-ВИ (до 40%, 120 °С); никель (до 100 °С); титан (до 40—42%); титановый сплав ОТ4 (до 40—45%, 120—130 °С); цирконий, тантал (до 40—45%); серебро, платина (до 100 °С)

Аустенитные хромоникелевые стали типа Х18Н10Т в любых растворах хлорида магния стойки (скорость коррозии < 0,1 мм/год) при обычной температуре [1, 2, 140]. В растворах концентрацией менее 5% стали стойки до 100 °С [83], при концентрации менее 15% — до 50 °С [48]. В растворах концентрацией 20—30% при температуре до 100 °С скорость коррозии сталей 0,05—0,5 мм/год [3].

Стали типа Х17Н13М2Т в любых растворах хлорида магния при обычной температуре стойки (скорость коррозии < 0,1 мм/год) [1, 112, 150], при температуре до 100 °С — корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3], при температуре кипения — со скоростью до 1 мм/год [2, 112, 150] (по данным справочника [1] — более 1,2 мм/год).

Двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т в растворах хлорида магния концентрацией менее 35% остаются стойкими до температуры кипения (скорость коррозии < 0,1 мм/год) [1, 48, 112].

Хромоникелевые стали в растворах хлорида магния подвержены коррозионному растрескиванию.

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ стойки (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) в любых растворах хлорида магния при температуре до 100°C [3]. В растворе концентрацией 42% при температуре кипения скорость коррозии сплавов может возрасти до $0,5$ мм/год [1, 3].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл в растворах хлорида магния концентрацией менее 35% стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до температуры кипения [1]. В растворах концентрацией до 42% при температуре ниже 100°C никель корродирует со скоростью менее $0,05$ мм/год, монель-металл — со скоростью $0,05$ — $0,5$ мм/год [3].

Никельмолибденовый сплав Н70МФВ в растворах концентрацией менее 35% сохраняет стойкость (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до температуры кипения [1], в растворах концентрацией менее 42% — до 120°C [48, 140].

Сплав ХН65МВ в любых растворах хлорида магния стоек (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) при температуре до 100°C [3], в растворах концентрацией менее 35% — удовлетворительно стоек (скорость коррозии $<0,5$ мм/год) до температуры кипения [48].

Медь и сплавы меди. Медь в любых растворах хлорида магния при обычной температуре стойка (скорость коррозии $<0,1$ мм/год), при температуре до 100°C — растворяется со скоростью до $0,5$ — 1 мм/год [1, 3].

Бронзы в растворах концентрацией до 35% при температуре ниже 100°C корродируют со скоростью $0,1$ — 1 мм/год [1]. В насыщенном кипящем растворе скорость коррозии алюминиевой бронзы до $0,2$ мм/год, оловянистой бронзы — до $1,5$ мм/год [88].

Латуни в растворах концентрацией менее 35% стойки до 100°C [1], в 42%-ном растворе — до 120°C [92]. По данным работы [3], в растворах концентрацией до 35% при температуре до 50°C латуни удовлетворительно стойки (скорость коррозии $0,05$ — $0,5$ мм/год).

Алюминий в растворах хлорида магния концентрацией до 35% при температуре до 60°C подвергается общей коррозии со скоростью менее $0,1$ мм/год [1, 46]. Однако сильная местная коррозия не позволяет использовать алюминий и его сплавы в растворах хлорида магния.

Свинец в растворах хлорида магния концентрацией до 35% при нормальной температуре удовлетворительно стоек (скорость коррозии $<0,5$ мм/год), при 100°C — нестойк [1]. Согласно работам [3, 4], свинец при обычной температуре нестойк в растворах хлорида магния.

Титан и сплавы титана. Титан в растворах хлорида магния концентрацией менее 42% стоек до температуры кипения (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [4, 10, 83, 156]. В кислом кипящем растворе концентрацией 42% отмечалась локальная коррозия титана [202].

Сплав 4200 в растворах концентрацией менее 30% при температуре до 120°C обладает очень высокой стойкостью (скорость коррозии $0,001$ мм/год) [48]. Сплав ОТ4 в 42%-ном растворе при температуре 132°C практически не подвергается коррозии [140].

Другие металлы. Серебро в растворах хлорида магния концентрацией до 42% стойко (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до температуры 100°C [1, 48], тантал — до 120°C [140], цирконий, платина — до температуры кипения [2, 48, 83, 156]. Согласно работе [46], при температуре выше 100°C платину нельзя применять в растворах хлорида магния.

35.22.7. Натрия хлорид (поваренная соль) — NaCl

Области применения металлических материалов в растворах хлорида натрия ориентировочно показаны на рис. 35.28.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали в разбавленных (до 5%) растворах хлорида натрия при 20 °С разрушаются со скоростью до 0,8—1,8 мм/год, в концентрированных (>22%) растворах — до 0,1—0,2 мм/год [40, 46, 129]. При температуре до 100 °С в разбавленных (10%) растворах стали корродируют со скоростью до 0,4 мм/год [48, 176], в концентрированных (>20%) растворах — со скоростью 0,1—0,2 мм/год [61, 129, 204].

Серые чугуны в разбавленных (<10%) растворах при температуре до 40—50 °С стойки (скорость коррозии 0,2—0,4 мм/год) [48, 176], в более концентрированных растворах при температуре до 100 °С — нестойки [1, 48].

По данным работы [3], в растворах хлорида натрия концентрацией более 10% при обычной температуре углеродистые стали и серые чугуны корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

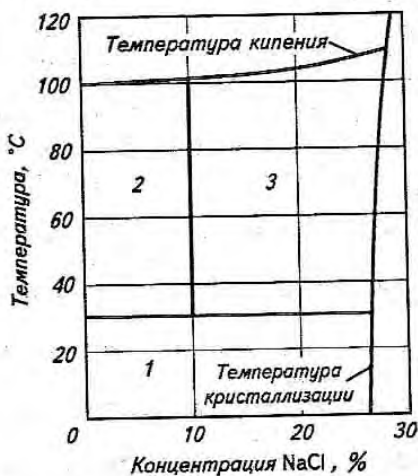


Рис. 35.28. Области применения металлических материалов в растворах хлорида натрия:

1 — углеродистая сталь, серый чугун (>10—15%); кремнистый чугун ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3; хромистый чугун ЧХ28—ЧХ34; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа Х13—Х28 (до 10—15%), Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т; 08Х21Н6М2Т; 03Х13АГ19; 10Х14Г14Н4Т; 08Х18Г8Н3М2Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН40МДБ; ХН65МВ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металл; медь; бронза; латунь; мельхиор; свинец; титан; титановые сплавы 4200, 4201; цирконий; тантал; серебро; платина; золото; 2 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3; хромистый чугун ЧХ28—ЧХ34; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т; 08Х21Н6М2Т; 03Х13АГ19 (до 50—70 °С); 10Х14Г14Н4Т; 08Х18Г8Н3М2Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН40МДБ; ХН65МВ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металл; медь; бронза; латунь; мельхиор; свинец; титан; титановые сплавы 4200, 4201; цирконий; тантал; серебро; платина; золото; 3 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3 (до 100 °С); хромистый чугун ЧХ28—ЧХ34 (до 80—90 °С); никелевый чугун (14—32% Ni) (до 100 °С); сталь типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т (до 80—90 °С); стали 08Х22Н6Т; 08Х21Н6М2Т; 10Х14Г14Н4Т; 08Х18Г8Н3М2Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН40МДБ; ХН65МВ; Н70МФВ-ВИ; никель (до 50—80 °С); монель-металл; медь, бронза (до 70—80 °С); латунь; мельхиор, свинец (до 100 °С); титан; титановые сплавы 4200, 4201; цирконий, тантал; серебро, платина; золото

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3 в любых растворах хлорида натрия стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,1—0,5 мм/год) [1, 3, 40], при температуре кипения — удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) [1, 40, 61, 88].

Хромистые чугуны ЧХ28, ЧХ34 в растворах концентрацией до 20% при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [88, 176, 204], при температуре кипения в любых растворах — корродируют со скоростью 0,1—1 мм/год [4, 61, 101].

Никелевые чугуны (нирезисты) с 12—15% Ni в разбавленных (<10%) растворах при 20 °С стойки (скорость коррозии <0,3 мм/год) [4, 88], в насыщенных растворах при 80—90 °С — корродируют со скоростью 0,1—1,1 мм/год [68, 101]. Никелевые чугуны (14—32% Ni) при температуре до 100 °С в любых растворах хлорида натрия корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13, Х17 при обычной температуре в разбавленных (10%) растворах хлорида натрия стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [88, 129, 176], в более концентрированных растворах — удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) [112, 140, 150], в любых кипящих растворах — нестойки [1].

Аустенитные хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в любых растворах хлорида натрия при температуре ниже 100 °С корродируют со скоростью до 0,1 мм/год [1, 129, 204] (по данным работы [3] — до 0,5 мм/год), при температуре кипения — со скоростью 0,1—1 мм/год [61, 88, 150] (по данным справочника [1], стали типа Х18Н10Т нестойки).

Аустенитная сталь 03Х13АГ19 в растворах хлорида натрия концентрацией до 22% при 50 °С стойка (скорость коррозии <0,04 мм/год) и не подвержена коррозионному растрескиванию [18]. Аустенитная сталь 10Х14Г14Н4Т и двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т, 08Х18Г8Н3М2Т в растворах концентрацией менее 26% стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 2, 48, 112, 204].

Хромоникелевые стали и стали с марганцем в растворах хлорида натрия подвержены локальной коррозии и коррозионному растрескиванию.

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в любых растворах хлорида натрия до температуры кипения стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 2, 46, 101] (по данным работы [3] — 0,05—0,5 мм/год).

Сплав типа ХН40МДБ в любых растворах хлорида натрия при температуре до 75 °С обладает высокой стойкостью (скорость коррозии <0,01 мм/год) [40].

Никель и сплавы никеля. Никель в растворах хлорида натрия концентрацией менее 26% сохраняет стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры 100 °С, монель-металлы — до температуры кипения [1, 5, 40, 101]. В таких растворах никель при обычной температуре корродирует со скоростью менее 0,05 мм/год, при температуре 50—100 °С — со скоростью 0,05—0,5 мм/год, монель-металлы при температуре до 100 °С — со скоростью менее 0,05 мм/год [3].

Сплавы Н70МФВ, ХН65МВ в растворах хлорида натрия концентрацией менее 26% стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [1, 3, 40, 101].

Медь и медные сплавы. Медь в растворах хлорида натрия концентрацией менее 26% стойка (скорость коррозии до 0,2—0,5 мм/год) при температуре ниже 80—100 °С [1, 3, 40, 61].

Бронзы алюминиевые в тех же условиях корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [1]. По данным работы [48], в разбавленных (5%) растворах при 80 °С скорость коррозии бронз до 0,4 мм/год. Оловянистые бронзы при нормальной температуре стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) в любых растворах хлорида натрия [1, 5, 88].

Латуни в растворах концентрацией менее 26% стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [1, 129, 204]. Согласно работе [5], при нормальной температуре латуни стойки, при 75 °С — нестойки (скорость коррозии >1 мм/год).

Медноникелевые сплавы МН5, МН20 в растворах хлорида натрия концентрацией до 5% при обычной температуре стойки (скорость коррозии до 0,2 мм/год) [140]. Сплавы МН30, МНЖ 5-1 в таких растворах стойки (скорость коррозии <0,3 мм/год) до 75 °С [5, 68], в насыщенных (~28%) растворах — до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [129, 204]. Мельхиоры (11—33% Ni) в любых растворах хлорида натрия стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) при температуре до 100 °С [3].

Алюминий в растворах хлорида натрия концентрацией менее 26% при температуре 20 °С подвергается общей коррозии со скоростью до 0,2 мм/год, при 100 °С — до 0,4—1 мм/год [1, 3, 40]. Сплавы алюминия типа АМг ведут себя аналогичным образом [129, 206, 207]. Однако сильная местная коррозия не позволяет использовать алюминий и его сплавы в растворах хлорида натрия.

Свинец в любых растворах хлорида натрия при температуре до 100 °С удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [1, 3, 101]. Сурьмянистый свинец обладает большей стойкостью (в 10%-ном растворе при 20 °С скорость коррозии 0,01 мм/год [88]).

Титан и сплавы титана. Титан сохраняет высокую стойкость (скорость коррозии <0,01 мм/год) в любых растворах хлорида натрия до температуры кипения [1, 101, 129, 156]. Сплавы титана 4200, 4201 ведут себя аналогичным образом [39, 101].

В определенных условиях титан и его сплавы в растворах хлорида натрия могут подвергаться питтинговой и щелевой коррозии (рис. 35.29).

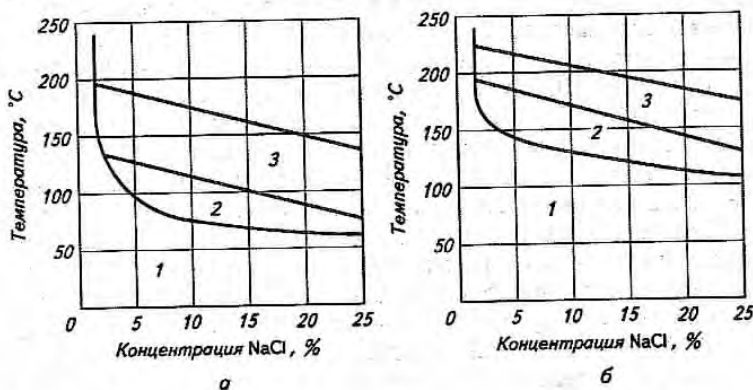


Рис. 35.29. Стойкость титана (а) и сплава 4200 (б) к питтинговой и щелевой коррозии в растворах NaCl:

1 — область стойкости; 2 — область возможности возникновения щелевой коррозии в узких зазорах; 3 — область питтинговой и язвенной коррозии [39]

Другие металлы. Цирконий, тантал, серебро, платина, золото в любых растворах хлорида натрия стойки до температуры кипения (скорость коррозии $< 0,05$ мм/год) [1, 3, 101, 156].

35.23. Хроматы — M_2CrO_4

Хроматы калия и натрия хорошо растворимы в воде, при этом их растворимость не сильно изменяется с температурой. Растворимость хромата калия достигает 38,7% при 20 °С; 40,8% при 50 °С и 46,5% при 100 °С. Растворимость хромата натрия составляет 44,3% при 20 °С; 51,2% при 50 °С и 55,8% при 100 °С. Растворимость хромата кальция с увеличением температуры снижается и для безводной соли при 0 °С составляет 4,3%, при 50 °С — 1,1%, при 100 °С — 0,4%, для моногидрата соответственно 9,6; 6,8; 3,1%.

Существование хроматов в водных растворах зависит от характера этих растворов. При подкислении растворов хромат-ионы CrO_4^{2-} легко переходят в дихромат-ионы $Cr_2O_7^{2-}$. Поэтому хромат-ионы преимущественно существуют только в растворах щелочного характера. Хроматы, как и дихроматы, являются сильными окислителями, что необходимо учитывать при рассмотрении коррозионного поведения металлов. При небольших концентрациях хроматы усиливают коррозию, а при концентрациях выше определенной величины, зависящей от условий, проявляют защитные свойства.

35.23.1. Калия хромат — K_2CrO_4

Металлы и сплавы в растворах хромата калия обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали при нормальной температуре подвергаются незначительной коррозии в растворах хромата калия любой концентрации [46]. В растворах хромата калия концентрацией до 39% при температуре ниже 100 °С углеродистые стали и серые чугуны корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 и никелевые чугуны (14—32% Ni) в растворах хромата калия концентрацией менее 39% стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) при температуре до 100 °С [3].

Высоколегированные стали и сплавы. Аустенитные хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т и сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в растворах хромата калия концентрацией менее 39% при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Никель и сплавы никеля. Никель при температуре до 100 °С в растворах хромата калия концентрацией менее 39% стоек (скорость коррозии $< 0,05$ мм/год), монель-металл — удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3]. По данным работы [68], никель и никельмедные сплавы даже при 20 °С сильно корродируют в растворах хромата калия.

Никельмолибденовые сплавы типа Н70МФВ, ХН65МВ в растворах хромата калия концентрацией менее 39% стойки до 100 °С (скорость коррозии $< 0,05$ мм/год) [3].

Медь и медные сплавы. Медь, латуни удовлетворительно стойки в растворах хромата калия концентрацией до 39% при температуре ниже 100 °С (скорость

коррозии 0,05—0,5 мм/год). При этом алюминиевые латуни в растворах хромата калия подвержены коррозионному растрескиванию [3].

Алюминий в растворах хромата калия стоек до температуры 100 °С [4, 62]; по данным работы [3], при температуре до 100 °С алюминий корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Свинец удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) в растворах хромата калия концентрацией до 39% при температуре ниже 100 °С [3].

Титан сохраняет высокую стойкость (скорость коррозии <0,05 мм/год) в любых растворах хромата калия до 100 °С [3, 39].

Другие металлы. Цирконий, тантал при температуре до 100 °С стойки в любых растворах хромата калия, серебро — в растворах концентрацией до 30% [3].

Магний при обычной температуре практически не подвергается коррозии в растворах хромата калия, цинк корродирует незначительно (0,1 мм/год) [2, 4, 46].

35.23.2. Кальция хромат — CaCrO_4

По данным работы [3], металлы и сплавы в хромате кальция обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали при температуре до 100 °С удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) в любых растворах хромата кальция и в твердой соли.

Серые чугуны при температуре 100 °С в растворах хромата кальция корродируют со скоростью более 1,3 мм/год, в твердой соли — со скоростью менее 0,5 мм/год.

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 и никелевые чугуны (14—32% Ni) в любых растворах хромата кальция и в твердой соли стойки (скорость коррозии <0,5 мм/год) при температуре до 100 °С.

Высоколегированные стали и сплавы. Аустенитные хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т и сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в любых растворах хромата кальция и в твердой соли при температуре до 100 °С обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл и никельмолибденовые сплавы типа ХН65МВ, Н70МФВ при температуре до 100 °С в любых растворах хромата кальция и в твердой соли удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Медь и медные сплавы. Медь при температуре до 100 °С в любых растворах хромата кальция стойка (скорость коррозии <0,05 мм/год), в твердой соли — удовлетворительно стойка (скорость коррозии <0,5 мм/год).

Латуни в любых растворах хромата кальция и в твердой соли при температуре ниже 100 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Алюминий в любых растворах хромата кальция и в твердой соли удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) при температуре до 100 °С.

Свинец применим (скорость коррозии <0,5 мм/год) в любых растворах хромата кальция до 100 °С, в твердой соли — до 75 °С.

Серебро в любых растворах хромата кальция при температуре до 100 °С корродирует со скоростью менее 0,05 мм/год, в твердой соли при обычной температуре — со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

35.23.3. Натрия хромат — Na_2CrO_4

По данным работы [3], в любых растворах хромата натрия при температуре до 100°C остаются стойкими (скорость коррозии $<0,05$ мм/год):

углеродистые стали и серые чугуны;

высоколегированные кремнистые (ЧС15, ЧС17) и никелевые (14—32% Ni) чугуны;

высоколегированные хромоникелевые стали типа X18H10T, X17H13M2T и сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ;

никель, монель-металл и никельмолибденовые сплавы типа ХН65МВ, Н70МФВ;

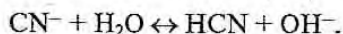
медь, латуни, мельхиоры (11—33% Ni);

алюминий, свинец, титан, цирконий, тантал, серебро, платина, золото.

35.24. Цианиды — MCN

Цианиды хорошо растворимы в воде. Растворимость цианида калия составляет 41,7% при 25°C и 52,5% при 100°C . Насыщенный раствор концентрацией 55,1% кипит при $103,3^\circ\text{C}$. Растворимость цианида натрия: 36,8% при 20°C и 45,2% при 35°C .

В водных растворах цианиды постепенно подвергаются гидролизу с образованием почти не диссоциирующей ($K = 8 \cdot 10^{-10}$) циановодородной кислоты:



Поэтому растворы цианидов калия и натрия имеют щелочной характер. При кипячении растворов цианиды разлагаются на аммиак и соли муравьиной кислоты (соответственно HCOOK и HCOONa).

В водных растворах цианиды легко образуют комплексные соединения из корродирующего металла и металла цианида (например, $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, $\text{K}_3[\text{Cr}(\text{CN})_6]$, $\text{K}[\text{Ag}(\text{CN})_2]$). Большинство образующихся комплексных соединений хорошо растворимы, что оказывает усиливающее действие на коррозионный процесс. Именно по этой причине даже такие термодинамически устойчивые металлы, как серебро и золото, подвергаются интенсивной коррозии в растворах цианидов.

35.24.1. Калия цианид — KCN

Области применения металлических материалов в растворах цианида калия ориентировочно показаны на рис. 35.30.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали в любых растворах цианида калия при температуре до 100°C корродируют со скоростью 0,5—1,3 мм/год [3].

Серые чугуны в разбавленных (до 10%) растворах цианида калия при 20°C удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) [1, 46], в более концентрированных растворах — нестойки [46]. По данным работы [3], в 10%-ном растворе при обычной температуре скорость коррозии чугунов более 1,3 мм/год.

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в любых растворах цианида калия при температуре до 100°C стойки (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [3].

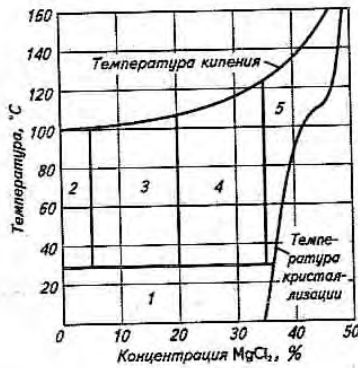


Рис. 35.27. Области применения металлических материалов в растворах хлорида магния:

1 — углеродистая сталь; серый чугун; кремнистый чугун ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3; хромистый чугун ЧХ28—ЧХ34; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа Х17—Х28, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т; сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ, ХН65МВ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металл; медь; бронза; латунь; свинец; титан; титановые сплавы 4200, ОТ4; цирконий; тантал; серебро; платина; 2 — углеродистая сталь, серый чугун; кремнистый чугун ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3; хромистый чугун ЧХ28—ЧХ34; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т; сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ, ХН65МВ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металл; медь; бронза; латунь; титан; титановые сплавы 4200, ОТ4; цирконий; тантал; серебро; платина; 3 — углеродистая сталь, серый чугун (до 50—70 °С); кремнистый чугун ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3; хромистый чугун ЧХ28—ЧХ34; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т (до 50—60 °С); стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т; сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ, ХН65МВ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металл; медь; бронза, латунь (до 50—70 °С); титан; титановые сплавы 4200, ОТ4; цирконий, тантал; серебро, платина; 4 — никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа Х17Н13М2Т (до 50—60 °С); стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т (до 100 °С); сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ, ХН65МВ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металл; медь; бронза, латунь (до 50—70 °С); титан; титановые сплавы 4200, ОТ4 (до 50—60%); цирконий; тантал; серебро (до 100 °С); платина (до 100 °С); 5 — сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ (до 100 °С); Н70МФВ-ВИ (до 40%, 120 °С); никель (до 100 °С); титан (до 40—42%); титановый сплав ОТ4 (до 40—45%, 120—130 °С); цирконий, тантал (до 40—45%); серебро, платина (до 100 °С)

Аустенитные хромоникелевые стали типа Х18Н10Т в любых растворах хлорида магния стойки (скорость коррозии < 0,1 мм/год) при обычной температуре [1, 2, 140]. В растворах концентрацией менее 5% стали стойки до 100 °С [83], при концентрации менее 15% — до 50 °С [48]. В растворах концентрацией 20—30% при температуре до 100 °С скорость коррозии сталей 0,05—0,5 мм/год [3].

Стали типа Х17Н13М2Т в любых растворах хлорида магния при обычной температуре стойки (скорость коррозии < 0,1 мм/год) [1, 112, 150], при температуре до 100 °С — корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3], при температуре кипения — со скоростью до 1 мм/год [2, 112, 150] (по данным справочника [1] — более 1,2 мм/год).

Двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т в растворах хлорида магния концентрацией менее 35% остаются стойкими до температуры кипения (скорость коррозии < 0,1 мм/год) [1, 48, 112].

Хромоникелевые стали в растворах хлорида магния подвержены коррозионному растрескиванию.

35.22.7. Натрия хлорид (поваренная соль) — NaCl

Области применения металлических материалов в растворах хлорида натрия ориентировочно показаны на рис. 35.28.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали в разбавленных (до 5%) растворах хлорида натрия при 20 °С разрушаются со скоростью до 0,8—1,8 мм/год, в концентрированных (>22%) растворах — до 0,1—0,2 мм/год [40, 46, 129]. При температуре до 100 °С в разбавленных (10%) растворах стали корродируют со скоростью до 0,4 мм/год [48, 176], в концентрированных (>20%) растворах — со скоростью 0,1—0,2 мм/год [61, 129, 204].

Серые чугуны в разбавленных (<10%) растворах при температуре до 40—50 °С стойки (скорость коррозии 0,2—0,4 мм/год) [48, 176], в более концентрированных растворах при температуре до 100 °С — нестойки [1, 48].

По данным работы [3], в растворах хлорида натрия концентрацией более 10% при обычной температуре углеродистые стали и серые чугуны корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

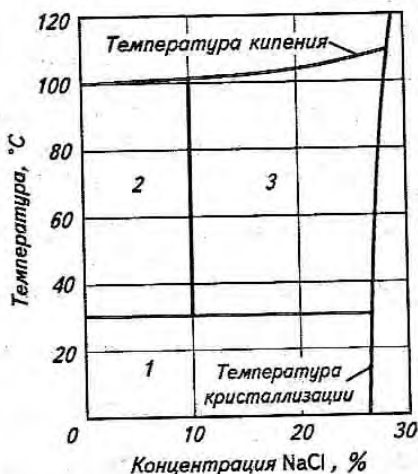


Рис. 35.28. Области применения металлических материалов в растворах хлорида натрия:

1 — углеродистая сталь, серый чугун (>10—15%); кремнистый чугун ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3; хромистый чугун ЧХ28—ЧХ34; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа Х13—Х28 (до 10—15%), Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т; 08Х21Н6М2Т; 03Х13АГ19; 10Х14Г14Н4Т; 08Х18Г8Н3М2Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН40МДБ; ХН65МВ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металл; медь; бронза; латунь; мельхиор; свинец; титан; титановые сплавы 4200, 4201; цирконий; тантал; серебро; платина; золото; 2 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3; хромистый чугун ЧХ28—ЧХ34; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т; 08Х21Н6М2Т; 03Х13АГ19 (до 50—70 °С); 10Х14Г14Н4Т; 08Х18Г8Н3М2Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН40МДБ; ХН65МВ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металл; медь; бронза; латунь; мельхиор; свинец; титан; титановые сплавы 4200, 4201; цирконий; тантал; серебро; платина; золото; 3 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3 (до 100 °С); хромистый чугун ЧХ28—ЧХ34 (до 80—90 °С); никелевый чугун (14—32% Ni) (до 100 °С); сталь типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т (до 80—90 °С); стали 08Х22Н6Т; 08Х21Н6М2Т; 10Х14Г14Н4Т; 08Х18Г8Н3М2Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН40МДБ; ХН65МВ; Н70МФВ-ВИ; никель (до 50—80 °С); монель-металл; медь, бронза (до 70—80 °С); латунь; мельхиор, свинец (до 100 °С); титан; титановые сплавы 4200, 4201; цирконий, тантал; серебро, платина; золото

Бронзы алюминиевые в тех же условиях корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [1]. По данным работы [48], в разбавленных (5%) растворах при 80 °С скорость коррозии бронз до 0,4 мм/год. Оловянистые бронзы при нормальной температуре стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) в любых растворах хлорида натрия [1, 5, 88].

Латуни в растворах концентрацией менее 26% стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [1, 129, 204]. Согласно работе [5], при нормальной температуре латуни стойки, при 75 °С — нестойки (скорость коррозии >1 мм/год).

Медноникелевые сплавы МН5, МН20 в растворах хлорида натрия концентрацией до 5% при обычной температуре стойки (скорость коррозии до 0,2 мм/год) [140]. Сплавы МН30, МНЖ 5-1 в таких растворах стойки (скорость коррозии <0,3 мм/год) до 75 °С [5, 68], в насыщенных (~28%) растворах — до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [129, 204]. Мельхиоры (11—33% Ni) в любых растворах хлорида натрия стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) при температуре до 100 °С [3].

Алюминий в растворах хлорида натрия концентрацией менее 26% при температуре 20 °С подвергается общей коррозии со скоростью до 0,2 мм/год, при 100 °С — до 0,4—1 мм/год [1, 3, 40]. Сплавы алюминия типа АМг ведут себя аналогичным образом [129, 206, 207]. Однако сильная местная коррозия не позволяет использовать алюминий и его сплавы в растворах хлорида натрия.

Свинец в любых растворах хлорида натрия при температуре до 100 °С удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [1, 3, 101]. Сурьмянистый свинец обладает большей стойкостью (в 10%-ном растворе при 20 °С скорость коррозии 0,01 мм/год [88]).

Титан и сплавы титана. Титан сохраняет высокую стойкость (скорость коррозии <0,01 мм/год) в любых растворах хлорида натрия до температуры кипения [1, 101, 129, 156]. Сплавы титана 4200, 4201 ведут себя аналогичным образом [39, 101].

В определенных условиях титан и его сплавы в растворах хлорида натрия могут подвергаться питтинговой и щелевой коррозии (рис. 35.29).

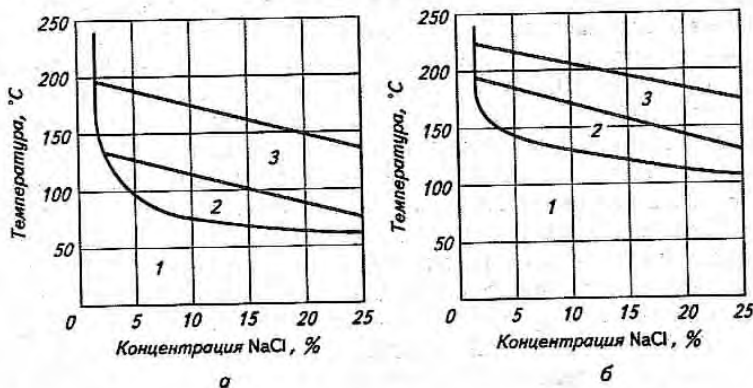


Рис. 35.29. Стойкость титана (а) и сплава 4200 (б) к питтинговой и щелевой коррозии в растворах NaCl:

1 — область стойкости; 2 — область возможности возникновения щелевой коррозии в узких зазорах; 3 — область питтинговой и язвенной коррозии [39]

коррозии 0,05—0,5 мм/год). При этом алюминиевые латуни в растворах хромата калия подвержены коррозионному растрескиванию [3].

Алюминий в растворах хромата калия стоек до температуры 100 °С [4, 46, 62]; по данным работы [3], при температуре до 100 °С алюминий корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Свинец удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) в растворах хромата калия концентрацией до 39% при температуре ниже 100 °С [3].

Титан сохраняет высокую стойкость (скорость коррозии <0,05 мм/год) в любых растворах хромата калия до 100 °С [3, 39].

Другие металлы. Цирконий, тантал при температуре до 100 °С стойки в любых растворах хромата калия, серебро — в растворах концентрацией до 30% [3].

Магний при обычной температуре практически не подвергается коррозии в растворах хромата калия, цинк корродирует незначительно (0,1 мм/год) [2, 4, 46].

35.23.2. Кальция хромат — CaCrO_4

По данным работы [3], металлы и сплавы в хромате кальция обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали при температуре до 100 °С удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) в любых растворах хромата кальция и в твердой соли.

Серые чугуны при температуре 100 °С в растворах хромата кальция корродируют со скоростью более 1,3 мм/год, в твердой соли — со скоростью менее 0,5 мм/год.

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 и никелевые чугуны (14—32% Ni) в любых растворах хромата кальция и в твердой соли стойки (скорость коррозии <0,5 мм/год) при температуре до 100 °С.

Высоколегированные стали и сплавы. Аустенитные хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т и сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в любых растворах хромата кальция и в твердой соли при температуре до 100 °С обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл и никельмолибденовые сплавы типа ХН65МВ, Н70МФВ при температуре до 100 °С в любых растворах хромата кальция и в твердой соли удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Медь и медные сплавы. Медь при температуре до 100 °С в любых растворах хромата кальция стойка (скорость коррозии <0,05 мм/год), в твердой соли — удовлетворительно стойка (скорость коррозии <0,5 мм/год).

Латуни в любых растворах хромата кальция и в твердой соли при температуре ниже 100 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Алюминий в любых растворах хромата кальция и в твердой соли удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) при температуре до 100 °С.

Свинец применим (скорость коррозии <0,5 мм/год) в любых растворах хромата кальция до 100 °С, в твердой соли — до 75 °С.

Серебро в любых растворах хромата кальция при температуре до 100 °С корродирует со скоростью менее 0,05 мм/год, в твердой соли при обычной температуре — со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

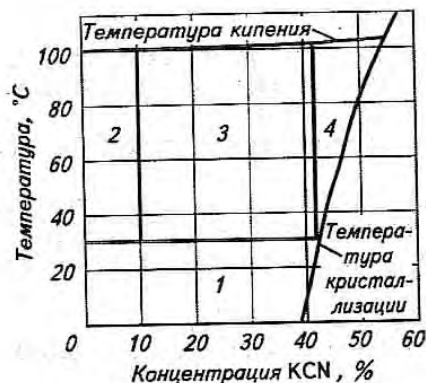


Рис. 35.30. Области применения металлических материалов в растворах цианида калия:

1 — углеродистая сталь; серый чугун (до 5%); кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа X13—X28, X18Н10Т, X17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т; 08Х21Н6М2Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН65МВ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металлы (до 10%); мельхиор, алюминий, титан (до 5—10%); тантал; платина; 2 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа X17—X28, X18Н10Т, X17Н13М2Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН65МВ; Н70МФВ-ВИ; никель (до 60—70 °С); тантал; платина (без аэрации); 3 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа X17—X28 (до 60—80 °С), X18Н10Т, X17Н13М2Т (до 90 °С); сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН65МВ, Н70МФВ-ВИ (до 60—70 °С); никель (до 60—70 °С); тантал; платина (без аэрации); 4 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; никелевый (14—32% Ni) чугун (до 100 °С); сталь типа X17—X28 (до 50—70 °С), X18Н10Т, X17Н13М2Т (до 80 °С); сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ (до 80—90 °С); ХН65МВ, Н70МФВ-ВИ (до 60—70 °С); никель (до 60—70 °С); тантал; платина (до 100 °С, без аэрации)

Никелевые чугуны, содержащие 6—30% Ni, в растворах концентрацией до 30% стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [45]. Согласно работе [3], такие чугуны в любых растворах цианида калия при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X13—X25 в любых растворах цианида калия стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [2, 112] при обычной температуре (по данным работы [1], стойки до 100 °С). В кипящих растворах концентрацией до 42% стали типа X13 корродируют со скоростью 0,1—1 мм/год, стали типа X17, X25 — со скоростью менее 0,1 мм/год [1, 2].

Аустенитные хромоникелевые стали типа X18Н10Т, X17Н13М2Т в любых растворах цианида калия удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) при температуре до 100 °С [1, 3, 45]. При температуре кипения в растворах концентрацией менее 42% скорость коррозии указанных сталей 0,1—1 мм/год [1, 2, 61].

Двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т в растворах цианида калия концентрацией до 42% при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 112].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в растворах цианида калия концентрацией менее 42% стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [1, 2, 45]. По данным работы [3], в лю-

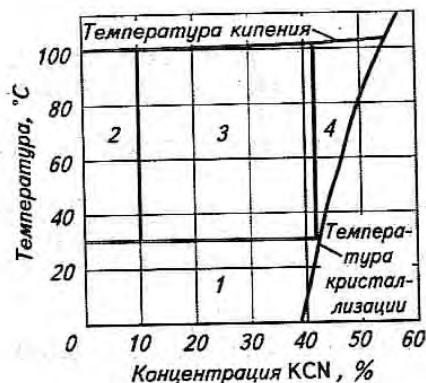


Рис. 35.30. Области применения металлических материалов в растворах цианида калия:

1 — углеродистая сталь; серый чугун (до 5%); кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа X13—X28, X18H10T, X17H13M2T; стали 08X22H6T; 08X21H6M2T; сплавы 06XH28MДТ; 03XH28MДТ; ХН65МВ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металлы (до 10%); мельхиор, алюминий, титан (до 5—10%); тантал; платина; 2 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа X17—X28, X18H10T, X17H13M2T; сплавы 06XH28MДТ; 03XH28MДТ; ХН65МВ; Н70МФВ-ВИ; никель (до 60—70 °С); тантал; платина (без аэрации); 3 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа X17—X28 (до 60—80 °С), X18H10T, X17H13M2T (до 90 °С); сплавы 06XH28MДТ; 03XH28MДТ; ХН65МВ, Н70МФВ-ВИ (до 60—70 °С); никель (до 60—70 °С); тантал; платина (без аэрации); 4 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; никелевый (14—32% Ni) чугун (до 100 °С); сталь типа X17—X28 (до 50—70 °С), X18H10T, X17H13M2T (до 80 °С); сплавы 06XH28MДТ, 03XH28MДТ (до 80—90 °С); ХН65МВ, Н70МФВ-ВИ (до 60—70 °С); никель (до 60—70 °С); тантал; платина (до 100 °С, без аэрации)

Никелевые чугуны, содержащие 6—30% Ni, в растворах концентрацией до 30% стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [45]. Согласно работе [3], такие чугуны в любых растворах цианида калия при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X13—X25 в любых растворах цианида калия стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [2, 112] при обычной температуре (по данным работы [1], стойки до 100 °С). В кипящих растворах концентрацией до 42% стали типа X13 корродируют со скоростью 0,1—1 мм/год, стали типа X17, X25 — со скоростью менее 0,1 мм/год [1, 2].

Аустенитные хромоникелевые стали типа X18H10T, X17H13M2T в любых растворах цианида калия удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) при температуре до 100 °С [1, 3, 45]. При температуре кипения в растворах концентрацией менее 42% скорость коррозии указанных сталей 0,1—1 мм/год [1, 2, 61].

Двухфазные стали 08X22H6T, 08X21H6M2T в растворах цианида калия концентрацией до 42% при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 112].

Сплавы на железоникелевой основе 03XH28MДТ, 06XH28MДТ в растворах цианида калия концентрацией менее 42% стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [1, 2, 45]. По данным работы [3], в лю-

бых растворах цианида калия при температуре до 100 °С такие сплавы корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Никель и сплавы никеля. Никель в растворах цианида калия концентрацией менее 42% стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 60 °С [1], при температуре кипения — удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) [1, 61]. По данным работы [3], в любых растворах цианида калия при температуре до 100 °С скорость коррозии никеля 0,05—0,5 мм/год.

Монель-металлы в разбавленных (<10%) растворах при температуре ниже 100 °С стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3], в более концентрированных растворах при обычной температуре — нестойк [1, 4, 61].

Никельмолибденовый сплав Н70МФВ в растворах концентрацией до 42% сохраняет удовлетворительную стойкость до 100 °С (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) [1]. Согласно справочнику [45], сплавы типа Н70МФВ, ХН65МВ в таких растворах стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) до температуры кипения. По данным работы [3], в растворах концентрацией менее 30% при температуре до 100 °С сплавы корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Медь и сплавы меди. Медь, латуни неприменимы в растворах цианида калия при обычной температуре [1, 3, 4, 61].

Алюминиевая бронза при обычной температуре стойка (скорость коррозии <0,1 мм/год) в растворах цианида калия концентрацией до 5% [4], мельхиор — в растворах концентрацией до 10% [3, 4, 46].

Алюминий при температуре 20 °С в разбавленных (10%) растворах цианида калия корродирует со скоростью 0,1—0,5 мм/год [1, 2, 46], в более концентрированных растворах — со скоростью 0,5—1,3 мм/год [3] (по другим данным [1, 61] — нестойк).

Титан при обычной температуре стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) в разбавленных растворах цианида калия [1] (по данным работы [39] — в любых растворах).

Серебро при обычной температуре в растворах цианида калия концентрацией более 10% нестойко (скорость коррозии >1,3 мм/год) [3]. Коррозия во всех растворах значительно усиливается в условиях аэрации.

Платина и металлы платиновой группы. Платина при температуре до 100 °С в разбавленных (5%) растворах цианида калия стойка (скорость коррозии <0,05 мм/год), палладий — нестойк, рутений корродирует со скоростью 0,25 мм/год [5]. По данным работы [3], при температуре до 100 °С платина стойка в любых растворах цианида калия.

Другие металлы. Тантал в любых растворах цианида калия сохраняет стойкость (скорость коррозии <0,05 мм/год) до 100 °С [1—3].

Свинец при обычной температуре нестойк в любых растворах цианида калия [1—3].

Золото быстро разрушается в азированных растворах цианида калия [2, 5, 46].

35.24.2. Натрия цианид — NaCN

Металлы и сплавы в цианиде натрия обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в разбавленных (до 10%) растворах цианида натрия при обычной температуре удовлетворительно стойки (скорость коррозии

0,1—1 мм/год) [1], в более концентрированных растворах — нестойки [46]. Согласно работе [3], углеродистые стали и серые чугуны в любых растворах цианида натрия стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) при температуре до 100 °С.

Высоколегированные чугуны. Никелевые чугуны (14—32% Ni) при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) в любых растворах цианида натрия. В разбавленных (<10%) растворах при температуре ниже 50 °С такие чугуны сохраняют стойкость, при более высокой температуре — корродируют со скоростью до 0,5 мм/год [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X13, X17 в растворах цианида натрия концентрацией менее 37% до 100 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1].

Аустенитные хромоникелевые стали типа X18H10T, X17H13M2T при температуре до 100 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) в растворах концентрацией менее 37% [1], в более концентрированных растворах при 100 °С — нестойки [3]. Кроме того, хромоникелевые стали в растворах цианида натрия подвержены питтинговой коррозии.

Сплавы на железоникелевой основе 03XH28MДТ, 06XH28MДТ в растворах цианида натрия концентрацией менее 37% сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [1] (по данным работы [3] — в любых растворах до 100 °С).

Никель и сплавы никеля. Никель при обычной температуре стоек только в разбавленных (до 10%) растворах цианида натрия (скорость коррозии 0,1 мм/год) [3].

Монель-металл в растворах цианида натрия неприменим [3, 4].

Медь и медные сплавы. Медь, бронзы, латуни нестойки в растворах цианида натрия при обычной температуре [1, 3]. По данным справочника [5], при 20 °С в разбавленных растворах (до 10%) бронзы обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии <0,9 мм/год).

Мельхиор МН19 при 20 °С стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) в разбавленных (до 10%) растворах цианида натрия [4, 46] (согласно работе [3] — в любых растворах). По другим данным [5, 68], медноникелевые сплавы, содержащие 5—30% Ni, в разбавленных растворах разрушаются со скоростью 0,5—2,5 мм/год.

Свинец при обычной температуре в растворах цианида натрия концентрацией до 37% стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) [2, 46, 61], в разбавленных (до 10%) растворах — удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) до 100 °С [3].

Другие металлы. Титан, тантал, платина в любых растворах цианида натрия стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) при температуре до 100 °С [2, 3, 10, 83].

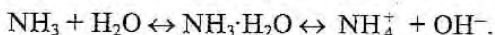
Алюминий, серебро, золото неприменимы в растворах цианида натрия [1, 3, 5, 62].

ГЛАВА 36. ГИДРОКСИДЫ — МОН

Растворимые гидроксиды обычно называются щелочами. Важнейшими щелочами являются гидроксиды калия, натрия и кальция. Часто к этой группе относят водные растворы аммиака, обладающие слабощелочными свойствами.

36.1. Аммиака гидрат — $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Аммиак в водных растворах образует гидрат $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и частично ионы аммония NH_4^+ ($K = 1,8 \cdot 10^{-5}$ при 25°C):



В результате водные растворы аммиака проявляют щелочную реакцию. Более 90% аммиака в растворах находится в гидратной форме $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Раствор аммиака — слабое основание, 1 М водный раствор имеет $\text{pH} \sim 11,8$.

Аммиак очень хорошо растворим в воде. Продаваемый концентрированный раствор содержит 24—25% аммиака по массе. Раствор, используемый в медицине (нашатырный спирт), содержит 10% аммиака. Растворимость аммиака очень сильно зависит от температуры и при атмосферном давлении составляет 46,5% при 0°C ; 34% при 20°C ; 18,7% при 50°C ; ~2% при 80°C ; ~1,1% при 100°C .

В коррозионном отношении растворы аммиака не обладают высокой агрессивностью, за исключением случаев, когда растворяющиеся металлы могут образовывать комплексные соединения. Это особенно характерно для меди и медных сплавов. При коррозии меди в азрированных растворах аммиака катионы Cu^+ и Cu^{2+} образуют хорошо растворимые комплексные катионы $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]^+$, $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$, что усиливает разрушение меди.

Медь и некоторые медные сплавы (α -латуни, алюминиевые бронзы) в аммиачных растворах подвержены коррозионному растрескиванию. Медноникелевые сплавы обладают высокой устойчивостью к этому виду разрушения [5].

Высокая летучесть аммиака приводит к изменению его концентрации в водных растворах при повышении температуры. К тому же температура кипения растворов зависит от давления. Все это необходимо учитывать, обращаясь к справочным данным по коррозионному поведению металлических материалов в растворах аммиака. Однако в ряде справочников [1, 46, 61 и др.] приводятся сведения о скорости коррозии материалов в растворах определенной концентрации при температуре кипения без указания, к какому давлению они относятся.

На рис. 36.1 ориентировочно показаны области применения металлических материалов в зависимости от температуры и концентрации растворов аммиака при давлении 0,1—0,5 МПа.

Углеродистые стали и серые чугуны при обычной температуре стойки (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год) в любых растворах аммиака [1, 3, 36, 208]. В растворах концентрацией до 30% при повышении температуры до 100°C (под давлением) скорость коррозии сталей и чугунов может достигать 0,5—1 мм/год [1, 3, 61].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в растворах аммиака концентрацией до 30% при обычной температуре стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год), при температуре кипения (под давлением) — удовлетворительно стойки (скорость коррозии до 0,5—1 мм/год) [1, 3, 4, 88].

Высокохромистые чугуны ЧХ28—ЧХ34 при обычной температуре в растворах, содержащих до 35% аммиака, корродируют со скоростью 0,1—0,5 мм/год [4, 46, 61].

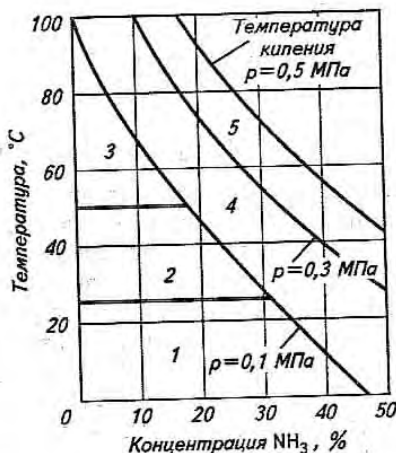


Рис. 36.1. Области применения металлических материалов в растворах аммиака при давлениях 0,1—0,5 МПа:

1 — углеродистая сталь; серый чугун; кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; хромистый чугун ЧХ28—ЧХ34; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа X13—X28, X18Н10Т, X17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т; 08Х21Н6М2Т; 03Х13АГ19; 10Х14Г14Н4Т; 08Х18Г8Н2Т; сплавы 03ХН28МДТ; 06ХН28МДТ; ХН65МВ; Н70МФВ; монель-металл (до 3—5% без азарции); мельхиор, алюминий (до 20%); свинец; сурьмянистый свинец; титан и сплав 4201; тантал (до 15%); платина, золото; 2 — углеродистая сталь; серый чугун; кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; хромистый чугун ЧХ28—ЧХ34; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа X13—X28, X18Н10Т, X17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т; 08Х21Н6М2Т; 03Х13АГ19; 10Х14Г14Н4Т; 08Х18Г8Н2Т; сплавы 03ХН28МДТ; 06ХН28МДТ; ХН65МВ; Н70МФВ; свинец; титан и сплав 4201; платина; золото; 3 — углеродистая сталь; серый чугун; кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа X13—X28, X18Н10Т, X17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т; 08Х21Н6М2Т; 03Х13АГ19; 10Х14Г14Н4Т; 08Х18Г8Н2Т; сплавы 03ХН28МДТ; 06ХН28МДТ; ХН65МВ; Н70МФВ; свинец; титан и сплав 4201; платина; золото; 4 — до 30%: углеродистая сталь; серый чугун; кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; никелевый чугун (14—32% Ni); до 20%: сталь типа X17—X28, X18Н10Т, X17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т; сплавы 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ, ХН65МВ, Н70МФВ; свинец; титан; платина; золото; 5 — все указанные металлы и сплавы до 20%: углеродистая сталь; серый чугун; кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; никелевый аустенитный чугун; сталь типа X25—X28, X18Н10Т, X17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т; сплавы 03ХН28МДТ; 06ХН28МДТ; ХН65МВ; Н70МФВ; свинец; титан; платина; золото

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в аммиачных растворах концентрации до 25—30% при нормальной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [46, 61], при температуре до 100 °С (под давлением) — корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X13—X28 в растворах аммиака концентрацией до 30% стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [4, 12, 204]. Согласно работе [2], в 25%-ном растворе при температуре 100 °С (под давлением) скорость коррозии стали типа X13 до 1 мм/год, типа X17 — до 0,5 мм/год, типа X25 — менее 0,1 мм/год.

Хромоникелевые стали типа X18Н10Т, X17Н13М2Т при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) в любых растворах аммиака [1, 3, 61], при температуре до 100 °С (под давлением) скорость коррозии сталей 0,05—0,5 мм/год [2—4, 88].

Двухфазные аустенитно-ферритные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т сохраняют стойкость (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) в любых растворах аммиака до температуры кипения при атмосферном давлении и в растворе концентрацией 25% до 100°C (под давлением) [2].

Высоколегированные стали с марганцем 08Х18Г8Н3М2Т, 10Х14Г14Н4Т, 03Х13АГ19 в концентрированных (25—30%) растворах аммиака стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до температуры кипения [17, 46, 112].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) в любых растворах аммиака до температуры кипения [1, 45, 204] и удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) в растворах концентрацией менее 30% до температуры 100°C (под давлением) [3].

Никель и сплавы никеля. Никель при температуре 20°C стоек только в очень разбавленных (1%) растворах аммиака (при концентрации до 6% скорость коррозии >1 мм/год) [5, 68]. Согласно работам [4, 61], при 20°C никель стоек в растворах концентрацией до 10%, по данным работы [3] — стоек в любых деаэрированных растворах.

Монель-металл при 20°C стоек в аммиачных растворах концентрацией до 3% (в 5%-ном растворе скорость коррозии 0,2 мм/год) [5, 68]. По данным работы [3], в растворах концентрацией 10—30% монель-металл нестойк.

Никельмолибденовые сплавы типа ХН65МВ, Н70МФВ при обычной температуре стойки в любых растворах аммиака (скорость коррозии $<0,1$ мм/год). При повышении температуры до 100°C (под давлением) сплавы удовлетворительно стойки (скорость коррозии до 0,5—1 мм/год) в растворах концентрацией до 30% [1, 204] (по данным работы [3] — до 60—70%).

Медь и медные сплавы. Медь, бронзы, латуни при обычной температуре нестойки в растворах аммиака [1, 3, 5], медноникелевые сплавы в растворах концентрацией до 24% корродируют со скоростью 0,2—0,5 мм/год [5].

Алюминий при комнатной температуре в растворах аммиака концентрацией до 26—30% корродирует со скоростью менее 0,1 мм/год [3, 208] (по данным справочника [1] — до 0,5 мм/год). Согласно работам [2, 46], алюминий стоек только в концентрированных ($>24\%$) растворах.

Сплавы алюминия с кремнием, марганцем, магнием в 24%-ном растворе аммиака при нормальной температуре корродируют со скоростью менее 0,2—0,3 мм/год [4].

Свинец при обычной температуре стоек в любых растворах аммиака (скорость коррозии 0,1 мм/год) [1, 46, 61], при температуре до 100°C (под давлением) — удовлетворительно стоек в растворах концентрацией менее 30% (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Сурьмянистый свинец при 20°C в насыщенных растворах ($\sim 24\%$) сохраняет высокую стойкость (скорость коррозии 0,01 мм/год) [46].

Титан и сплавы титана. Титан стоек в любых растворах аммиака до температуры кипения при атмосферном давлении (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1, 10], в растворах концентрацией менее 28—30% — сохраняет стойкость при температуре до 100°C (под давлением) [3, 39, 68].

Сплав 4201 при обычной температуре стоек (скорость коррозии $<0,02$ мм/год) в любых растворах аммиака. При температуре кипения в раз-

бавленных (7%) растворах сплав сохраняет стойкость, а в концентрированных ($\geq 30\%$) растворах корродирует со скоростью 0,2—0,5 мм/год [46, 81].

Серебро при обычной температуре в деаэрированных растворах концентрацией до 30% стойко (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год) [1, 2, 46], в аэрированных растворах — неприменимо [3, 46].

Другие металлы. Тантал, платина и металлы платиновой группы, золото практически не корродируют в растворах аммиака концентрацией менее 30% до 100 °С (под давлением) [1, 2, 46]. По данным работы [3], тантал в растворах аммиака концентрацией 20—30% при обычной температуре нестоек (скорость коррозии $> 1,3$ мм/год).

Цирконий в растворах аммиака концентрацией 30—40% при температуре до 100 °С (под давлением) удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

В табл. 36.1 приведены предельные сочетания концентрации и температуры растворов аммиака для некоторых металлов и сплавов, при которых они сохраняют достаточную коррозионную стойкость.

Таблица 36.1. Предельные условия применения металлов и сплавов в растворах аммиака

Материал	Концентрация, %	Температура, °С	Источник
Алюминий	28	70	[45]
Золото	Любая	Кип.	[45]
	28	100	[3]
Монель-металл (НМЖМц 28-2,5-1,5)	28	20	[1, 43]
Никель	10—28	20	[3, 43, 61, 68]
Платина	Любая	Кип.	[45]
	28	100	[3]
Свинец, сурьмянистый свинец	28	20	[1, 112]
Сплав:			
03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ	Любая	Кип.	[1, 2, 43]
	28	100	[3]
ХН65МВ, ХН65МВУ, Н70МФВ-ВИ	Любая	Кип.	[45]
	28	50	[1]
	Любая	100	[3]
Сталь:			
углеродистая	28	50—70	[1, 61, 112]
	28	100	[3]
типа Х13—Х28	Любая	Кип.	[1, 2, 112]
типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т	Любая	Кип.	[1, 45, 61]
	28	100	[3]
08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т	28	Кип.	[27, 112]
10Х14Г14Н4Т	28	Кип.	[112]

Тантал	Любая	Кип.	[1, 45]
Титан	Любая	Кип.	[1, 10, 112]
Цирконий	28	100	[9, 68, 83]
Чугун кремнистый ЧС15, ЧС17	28	20	[10, 61, 88]
	28	100	[3]
Чугун хромистый ЧХ28, ЧХ34	28	20	[112]

36.2. Калия гидроксид — КОН

Гидроксид калия (едкое кали) является сильным основанием и в растворах сильно диссоциирован. При 25 °С степень диссоциации КОН в растворе концентрации 5,4% достигает 77%. Растворы гидроксида калия проявляют сильную щелочную реакцию.

Гидроксид калия очень хорошо растворим в воде: 52,9% при 20 °С; 58,6% — при 50 °С; ~72% — при 140 °С. Раствор концентрации 20% кипит при температуре 106 °С; концентрацией 50% — при 145 °С. Температура плавления чистого гидроксида калия 404 °С.

Амфотерные металлы (алюминий, цинк, свинец и др.) взаимодействуют с водными растворами гидроксида калия с выделением водорода и образованием растворимых гидрооксокомплексов (например, $K_3[Al(OH)_6]$).

Ряд металлов и сплавов (углеродистые стали, хромоникелевые нержавеющие стали, никель, монель-металл) в определенных условиях в растворах и расплавах гидроксида калия подвержены коррозионному растрескиванию.

На рис. 36.2 ориентировочно показаны области применения металлических материалов в зависимости от температуры и концентрации растворов гидроксида калия.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали в любых растворах гидроксида калия при температуре до 100 °С удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3] (по другим данным [1, 40, 61], до 1 мм/год). В растворах концентрацией менее 60% при температуре до 250 °С углеродистые стали корродируют со скоростью 0,5—1,3 мм/год [3], в расплавах — нестойки [112]. В растворах гидроксида калия углеродистые стали подвержены коррозионному растрескиванию.

Серые чугуны в разбавленных (10%) растворах гидроксида калия стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) до 100 °С, в растворах концентрацией менее 30% — до 75 °С [3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) в любых растворах гидроксида калия [1, 3, 61, 88]. При температуре кипения в растворах концентрацией менее 10% чугуны обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии до 1 мм/год), в более концентрированных растворах — нестойки [46, 61, 88]. По данным работы [3], в растворах концентрацией 10—30% при температуре ниже 75 °С кремнистые чугуны корродируют со скоростью до 0,5—1,3 мм/год. В расплавах гидроксида калия кремнистые чугуны нестойки [4, 61].



Рис. 36.2. Области применения металлических материалов в растворах гидроксида калия:

1 — углеродистая сталь (до 80 °С); серый чугун (до 10%, 100 °С); кремнистый чугун ЧС15, ЧС17 (до 20%, 70 °С); хромистый чугун ЧХ28—ЧХ34; никелевый чугун (14—32% Ni); сталь типа Х13—Х28, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т, 10Х14Г14Н4Т, 08Х18Г8Н2Т (до 10—20%); сплавы 06ХН28МДТ; ХН65МВ; Н70МФВ; ХН78Т; никель; монель-металл; медь (до 80 °С); Al — бронза; Si — бронза; Sn — бронза; мельхиор; титан, тантал (до 10%); цирконий; серебро; платина; золото; 2 — углеродистая сталь (до 80 °С); серый чугун (до 30%, 80 °С); никелевый чугун (14—32% Ni), хромистый чугун ЧХ28—ЧХ34 (до 100 °С); сталь типа Х17—Х28 (до 80—100 °С), Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т (до 120 °С); сплавы 06ХН28МДТ; ХН65МВ; Н70МФВ; ХН78Т; никель; монель-металл (до 120 °С); медь (до 50 °С); Al — бронза, Si — бронза (до 80 °С); Sn — бронза; мельхиор (до 100 °С); цирконий; серебро; платина; золото; 3 — сталь типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т (до 100 °С); стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т (до 100 °С); сплавы 06ХН28МДТ (до 60%); ХН78Т; никель; монель-металл (до 100 °С); цирконий; серебро; платина; золото; 4 — никель; мельхиор (до 160 °С); серебро (до 350 °С); цирконий, платина, золото (до 300 °С)

Хромистые чугуны ЧХ28—ЧХ34 в растворах гидроксида калия концентрацией менее 50% удовлетворительно стойки (скорость коррозии <1 мм/год) до температуры 100 °С [4].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в растворах концентрацией до 60% стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) до температуры кипения [40, 45]. По данным работы [3], такие чугуны стойки в растворах концентрацией менее 40% при температуре до 100 °С.

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х28 при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) в любых растворах гидроксида калия [1], при температуре кипения — в растворах концентрацией до 25—30% [4, 40, 112]. В более концентрированных (30—50%) растворах при температуре кипения стали типа Х13, Х17 корродируют со скоростью 0,5—1 мм/год [40, 46, 112], стали типа Х25 — со скоростью 0,1—0,5 мм/год [112] (рис. 36.3, а). В расплавах гидроксида калия хромистые стали нестойки [1, 61, 112].

Аустенитные хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в растворах гидроксида калия концентрацией менее 50% стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40, 61, 88] (рис. 36.3, б). В растворах концентрацией 50—70% такие стали удовлетворительно стойки (скорость коррозии <1 мм/год) до температуры кипения [1, 2, 4, 88], в более концентрированных растворах — до температуры 80—100 °С [45, 61]. В расплавах гидроксида калия (300—480 °С) стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т нестойки [2, 61, 88].

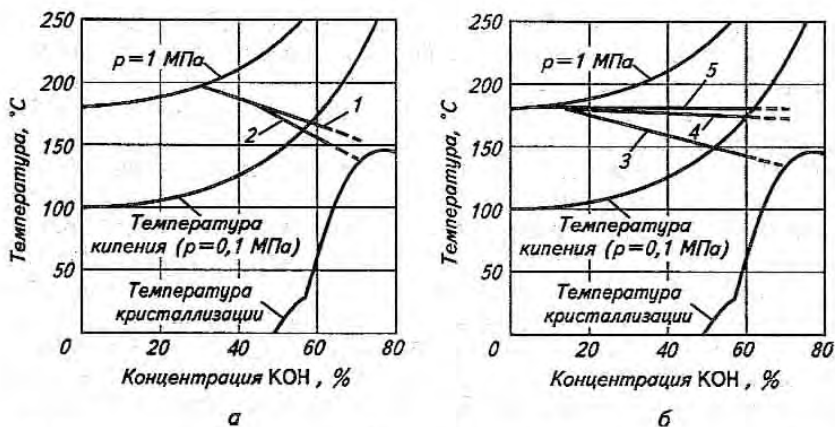


Рис. 36.3. Линии постоянной скорости коррозии (0,1 мм/год) нержавеющей сталей в растворах гидроксида калия [209]:

1 — 15X25T; 2 — 08X22H6T; 3 — 12X18H10T; 4 — 10X17H13M2T; 5 — сплав 06XH28MDT

При определенных условиях аустенитные хромоникелевые стали в растворах гидроксида калия концентрацией 15—65% могут разрушаться по механизму коррозионного растрескивания (рис. 36.4).

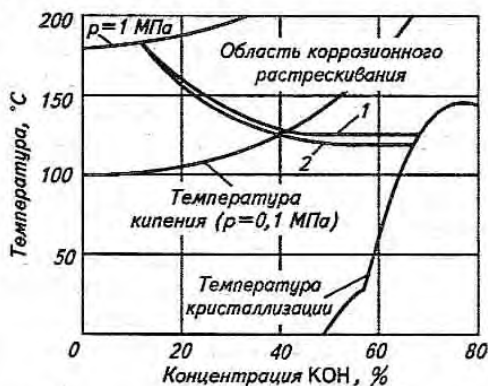


Рис. 36.4. Границы области коррозионного растрескивания сплава 06XH28MDT (1) и сталей 12X18H10T, 10X17H13M2T (2) в растворах гидроксида калия [209]

Двухфазные стали 08X22H6T, 08X21H6M2T в растворах концентрацией менее 50% стойки (скорость коррозии < 0,1 мм/год) до 120 °С [1, 17, 27] (по другим данным [2, 209], до температуры кипения) (см. рис. 36.3, а). В растворах концентрацией 50—65% при температуре кипения стали корродируют со скоростью 0,4—1 мм/год [1, 209], в расплавах — нестойки [1, 2].

Высоколегированные стали с марганцем 08X18Г8Н3М2Т, 10X14Г14Н4Т в разбавленных (< 10—20%) растворах гидроксида калия стойки (скорость коррозии < 0,1 мм/год) до температуры кипения [2, 15]. В растворах концентрацией до 50% сталь 08X18Г8Н3М2Т корродирует со скоростью до 1 мм/год [46].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в растворах гидроксида калия концентрацией менее 60% стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до температуры кипения [1, 2, 45] (см. рис. 36.3, б), при концентрации менее 70% — до температуры 100°C [45]. В более концентрированных (80—90%) растворах при температуре кипения скорость коррозии сплавов возрастает до $0,5$ — $1,3$ мм/год [40]. В расплавах гидроксида калия такие сплавы нестойки [1, 2].

В растворах концентрацией 15—65% при повышенных температурах сплав 06ХН28МДТ подвержен коррозионному растрескиванию (см. рис. 36.4).

Никель и сплавы никеля. Никель в любых растворах гидроксида калия стоек (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до 300 — 350°C [3, 10, 27, 40]. По данным работы [210], в растворе концентрацией 42—47% при температуре 290°C никель корродирует со скоростью до $0,5$ мм/год, в 82%-ном расплаве — со скоростью $0,3$ — $0,7$ мм/год. При повышении температуры до 500°C скорость коррозии может возрастать до 1 мм/год [61]. В 47%-ном растворе при температуре 130 — 180°C никель подвержен межкристаллитной коррозии [209].

Монель-металлы в любых растворах гидроксида калия стоек (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до 100°C [1, 3] (по данным справочника [61] — до температуры кипения). В растворах концентрацией 50—70% при температуре кипения и в более концентрированных растворах при температуре до 260°C скорость коррозии монель-металла достигает 1 мм/год [5, 61, 68]. В расплавах при температуре до 480°C монель-металл корродирует со скоростью менее 1 мм/год [61] (согласно работе [3], при 350°C монель-металл нестойк). В растворах гидроксида калия монель-металл подвержен коррозионному растрескиванию.

Никельмолибденовые сплавы типа ХН65МВ, Н70МФВ в растворах гидроксида калия концентрацией менее 50% стойки до температуры кипения (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [3, 40, 45]. По справочным данным [1], сплав Н70МФВ в растворах концентрацией менее 53% при температуре ниже 100°C разрушается со скоростью до $0,5$ — $0,75$ мм/год.

Сплав ХН78Т в растворах концентрацией менее 64% сохраняет стойкость до 180°C (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [209].

Медь и медные сплавы. Медь в любых растворах гидроксида калия стойка (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до 35°C [1, 46], в разбавленных ($<10\%$) растворах — до температуры кипения [61]. В растворах концентрацией 10—30% при температуре до 75°C медь корродирует со скоростью $0,05$ — $0,5$ мм/год, при температуре 100°C — со скоростью $0,5$ — $1,3$ мм/год [3]. В более концентрированных растворах при температуре кипения медь нестойка [1, 61].

Алюминиевые и кремнистые бронзы в растворах гидроксида калия концентрацией менее 40—50% обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии $0,1$ — $0,5$ мм/год) при температуре до 100°C [1, 40, 68]. Оловянистые бронзы в растворах концентрацией до 53% стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до температуры кипения [1]. Согласно справочным данным [40], такие бронзы стойки в любых растворах гидроксида калия до 200°C (скорость коррозии $0,2$ мм/год).

Оловянистые латуни в растворах гидроксида калия концентрацией менее 20% при температуре до 100°C разрушаются со скоростью $0,05$ — $0,5$ мм/год, алюминиевые латуни — нестойки [3].

Медноникелевые сплавы (мельхиоры) в растворах концентрацией менее 30% стойки (скорость коррозии $0,1$ мм/год) до температуры кипения, при кон-

центрации 30—50% — до 100 °С [45], при концентрации менее 95% — до 160 °С [5, 40, 68].

Свинец при обычной температуре в разбавленных (до 10%) растворах гидроксида калия стоек (скорость коррозии 0,1 мм/год) [1, 2, 4], в более концентрированных растворах и при повышении температуры — нестойк. При концентрации до 30% свинец корродирует со скоростью до 1 мм/год [3, 5, 10]. По данным справочника [40] в любых растворах при 20 °С свинец и сурьмянистый свинец нестойки.

Титан в разбавленных (<10%) растворах гидроксида калия стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [3, 83], в растворах концентрацией 25% — корродирует со скоростью до 0,3 мм/год, а при концентрации 50% — нестойк [39]. Согласно работе [3], при температуре 100 °С титан нестойк в растворах концентрацией 20—50%.

Тантал в любых растворах гидроксида калия стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) при обычной температуре, в разбавленных (<10%) растворах — до температуры кипения [1—3]. В 40%-ном растворе при температуре 100 °С тантал нестойк [3, 10, 68].

Другие металлы. Цирконий, платина, золото в растворах гидроксида калия концентрацией менее 60% стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) до температуры 300 °С, серебро — до 350 °С [3, 40]. В расплавах коррозия циркония незначительна (~0,1 мм/год) [10, 64, 83], серебро при 400 °С — нестойко [68].

Алюминий в любых растворах гидроксида калия при 20 °С нестойк [1, 3, 61, 211].

В табл. 36.2 приведены предельные сочетания концентрации и температуры растворов гидроксида калия для некоторых металлов и сплавов, при которых они сохраняют достаточную коррозионную стойкость.

Таблица 36.2. Предельные условия применения металлов и сплавов в растворах гидроксида калия

Материал	Концентрация, %	Температура, °С	Источник
Бронзы алюминиевые	20	50	[1]
Бронзы оловянистые	50	Кип.	[1]
Золото	Любая	260—300	[3, 40, 45]
Медь	30	80	[3, 61]
	50	50	[1]
Мельхиор	70	140	[5]
	95	140—160	[68]
Монель-металл (НМЖМц 28-2,5-1,5)	50	100 — кип.	[1, 61]
	70	100—140	[3, 5]
Никель	50	Кип.	[1]
	65	180	[209]
	90—100	350	[3, 10]
	Расплав	500	[1, 2]
Платина	Любая	260—300	[3, 40, 45]

Материал	Концентрация, %	Температура, °С	Источник
Свинец	10	90	[5, 10, 68]
	30	25	[5, 10, 68]
Серебро	50	Кип.	[1]
	Расплав	400—480	[61, 68]
Сплав:			
03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ	50	Кип.	[1, 2]
	68	120	[2]
	80	100	[3]
ХН65МВУ, Н70МФВ-ВИ ХН78Т	50	Кип.	[3, 45]
	65	180	[209]
Сталь:			
углеродистая типа Х13—Х28	50	50	[1]
	25	Кип.	[2, 112]
	50	50	[1]
типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т	10	180	[209]
	25—30	Кип.	[2, 61, 88]
	70	100—120	[61, 112]
08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т	50	120—140	[1, 2, 27]
	68	120	[2, 112]
Тантал	10	Кип.	[10]
	10—40	100	[3]
Титан	10	Кип.	[3, 83]
	50	Кип.	[1]
Цирконий	10	Кип.	[10]
	40	100	[68, 83]
	60	300	[3]
Чугун:			
кремнистый ЧС15, ЧС17 никелевый (13—32% Ni), нирезист	10	Кип.	[46, 61, 88]
	30	Кип.	[61, 112]
серый	50	50	[1]
хромистый ЧХ28, ЧХ34	50	Кип.	[4]

36.3. Кальция гидроксид — $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Гидроксид кальция очень плохо растворим в воде: 0,16% при 20 °С; 0,13% при 50 °С; 0,07% при 100 °С. Примечательно, что растворимость его снижается при повышении температуры. Насыщенный раствор гидроксида кальция называется известковой водой. Мелкодисперсная суспензия твердого гидроксида кальция в воде называется известковым молоком и может содержать до 32% $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Гидроксид кальция является сильным основанием и в растворах в большой степени диссоциирован. При 25 °С степень диссоциации $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в растворе концентрацией ~0,12% достигает 90%. Растворы гидроксида кальция проявляют щелочную реакцию.

Металлы и сплавы в гидроксиде кальция обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны при обычной температуре стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) в любых растворах гидроксида кальция [1, 46, 61], при температуре кипения скорость коррозии возрастает до $0,5$ — 1 мм/год [1, 3, 45]. В известковом молоке при нормальной температуре скорость коррозии сталей и чугунов до 1 мм/год [43, 61].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 и никелевые чугуны с 12 — 30% Ni (нирезисты) в любых растворах гидроксида кальция стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до температуры кипения [1, 45, 61]. По данным работы [3], кремнистые чугуны при обычной температуре в насыщенных растворах нестойки.

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х28 в любых растворах гидроксида кальция стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до температуры кипения [43, 45, 112]. По данным справочника [1], в насыщенных растворах при 100 °С стали типа Х13, Х17 корродируют со скоростью до $0,5$ мм/год.

Аустенитные хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в любых растворах гидроксида кальция стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до температуры кипения [1, 61, 112]. В известковом молоке любой концентрации при 20 °С такие стали стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [43]. При температуре кипения стали типа Х18Н10Т удовлетворительно стойки (скорость коррозии $<0,5$ — 1 мм/год) в известковом молоке концентрацией до 20 — 30% , стали типа Х17Н13М2Т — в известковом молоке любой концентрации [3, 61].

Двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т в любых растворах гидроксида кальция стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до температуры кипения [1, 112].

Высоколегированные стали с марганцем типа Х18Г8Н3М2Т стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) в насыщенных растворах при нормальной температуре [4, 46].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в любых растворах гидроксида кальция стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до температуры кипения [5] (по другим данным [3] — удовлетворительно стойки).

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл в любых растворах гидроксида кальция и в известковом молоке любой концентрации сохраняют стойкость до температуры кипения (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1, 43, 45, 61]. По данным работы [3], никель, монель-металл в растворах гидроксида кальция при температуре до 100 °С корродируют со скоростью $0,05$ — $0,5$ мм/год.

Никельмолибденовые сплавы типа ХН65МВ, Н70МФВ в любых растворах гидроксида кальция стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до температуры кипения [45]. По данным справочника [1], сплав Н70МФВ в растворах гидроксида кальция при температуре кипения корродирует со скоростью $0,1$ — $0,75$ мм/год. Сплав ХН65МВ в известковом молоке любой концентрации сохраняет стойкость (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) до температуры 100 °С [3].

Медь и медные сплавы. Медь, бронзы, латуни в любых растворах гидроксида кальция до температуры кипения удовлетворительно стойки (скорость коррозии $<0,5$ — 1 мм/год) [1, 3, 43, 61].

Медноникелевые сплавы (мельхиоры) в насыщенных растворах при температуре кипения корродируют со скоростью $0,1$ — $0,5$ мм/год [3, 45].

Алюминий в растворах гидроксида кальция стоек (скорость коррозии 0,1 мм/год) при комнатной температуре (возможна питтинговая коррозия) [1, 43, 46], но сильно разрушается в известковом молоке [4].

Свинец в насыщенных растворах гидроксида кальция при температуре 20 °С обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,2—0,5 мм/год) [1, 45, 61].

Другие металлы. Титан, цирконий, тантал, серебро, платина, золото сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год) в любых растворах гидроксида кальция до температуры кипения [1, 3, 45, 61]. Титан до 100 °С стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) в известковом молоке любой концентрации, цирконий — при концентрации менее 20% [3].

36.4. Натрия гидроксид — NaOH

Гидроксид натрия (едкий натр) относится к сильным основаниям и в растворах почти полностью диссоциирован. При 25 °С в растворе концентрацией 3,7% степень диссоциации NaOH составляет 73%. Растворы гидроксида натрия проявляют сильную щелочную реакцию.

Гидроксид натрия очень хорошо растворим в воде: 52,1% при 20 °С; 77,1% при 100 °С; 80,7% при 150 °С; 83,9% при 192 °С. Температура кипения 20%-ного раствора 108,1 °С; 50%-ного — 142,5 °С. Чистый NaOH плавится при температуре 321 °С. При температуре выше 62 °С из концентрированных растворов гидроксид натрия кристаллизуется в безводной форме.

Амфотерные металлы (алюминий, цинк, свинец и др.) взаимодействуют с водными растворами гидроксида натрия с выделением водорода и образованием растворимых гидроксокомплексов.

Некоторые металлы и сплавы (углеродистые стали, хромистые и хромоникелевые стали, монель-металл, железоникелевые и никелевые сплавы) в высококонцентрированных растворах и расплавах гидроксида натрия подвержены коррозионному растрескиванию (щелочной хрупкости). Никель подвергается коррозионному растрескиванию только при содержании в металле углерода более 0,02% [10].

На рис. 36.5 ориентировочно показаны области применения металлических материалов в зависимости от температуры и концентрации растворов гидроксида натрия.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали в растворах гидроксида натрия концентрацией менее 30—40% обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) при температуре до 100 °С, в растворах концентрацией 40—50% — до 80 °С [3, 40, 88, 140]. В более концентрированных растворах при повышенной температуре, а также в относительно разбавленных (20—30%) растворах и в концентрированных (80—100%) расплавах при температуре выше 300 °С углеродистые стали нестойки [2, 40, 61, 140].

При определенных условиях углеродистые стали в растворах гидроксида натрия могут разрушаться по механизму коррозионного растрескивания (рис. 36.6).

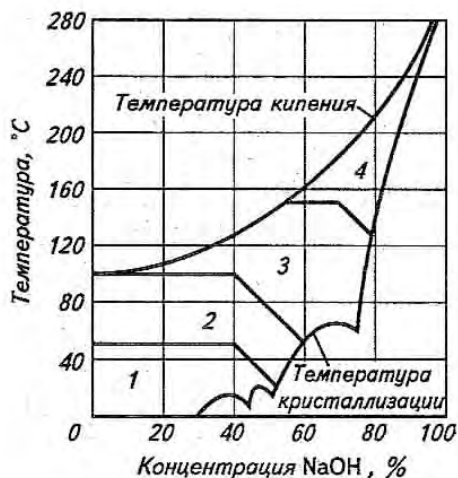


Рис. 36.5. Области применения металлических материалов в растворах гидроксида натрия:

1 — углеродистая сталь; серый чугун; чугун ЧН2Х; кремнистый чугун ЧС15, ЧС17 (до 15—20%); хромистый чугун ЧХ28, ЧХ34; никелевый чугун (12—30% Ni); сталь типа Х13—Х28, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т, Х23Н18; стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т; сплавы 06ХН28МДТ; ХН65МВ; Н70МФВ; ХН78Т; никель; монель-металл; медь; бронзы; латуни; мельхиор; свинец (до 25%); титан; титановый сплав 4200; тантал (до 10%); цирконий; серебро; платина; золото; 2 — углеродистая сталь (до 40%); серый чугун (до 50%, 80 °С); чугун ЧН2Х; кремнистый чугун ЧС15, ЧС17 (до 5—10%); хромистый чугун ЧХ28, ЧХ34; никелевый чугун (12—30% Ni); сталь типа Х25—Х28 (до 30%), Х18Н10Т, Х17Н13М2Т, Х23Н18; стали 08Х22Н6Т; 08Х21Н6М2Т; сплавы 06ХН28МДТ; ХН65МВ; Н70МФВ; ХН78Т; никель; монель-металл; медь (до 80 °С); кремнистые, оловянистые бронзы (до 35%); алюминиевые бронзы; мельхиор; свинец (до 10%); титан; тантал (до 5%); цирконий; серебро; платина; золото; 3 — никелевый (28—30% Ni) чугун (до 50%); сплавы 06ХН28МДТ, ХН65МВ, Н70МФВ (до 50%); ХН78Т (до 50—60%); никель; монель-металл; мельхиор; титан (до 40%); цирконий (до 120—130 °С); серебро; платина; золото; 4 — никель; серебро; платина; палладий; иридий; родий; золото

Серые чугуны в растворах концентрацией менее 50% стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) до 80 °С [1, 3, 40, 61], в растворах концентрацией 50—75% — до 115—125 °С [10, 40]. В расплавах (90—95%) при температуре выше 350 °С чугуны нестойки [3, 10, 40].

Низколегированный никелевый чугун ЧН2Х в растворах гидроксида натрия концентрацией менее 50% стоек (скорость коррозии <0,5 мм/год) до температуры кипения, в 75%-ном растворе при температуре 135 °С — нестойк [68].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в разбавленных (3—10%) растворах гидроксида натрия стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) до температуры кипения [61, 88, 140]. В более концентрированных (20—50%) растворах при температуре 80 °С скорость коррозии может возрастать до 1,3 мм/год [1, 10, 140]. По данным работы [3], при обычной температуре в растворах концентрацией более 10% кремнистые чугуны нестойки.

Хромистые чугуны ЧХ28, ЧХ34 при температуре ниже 100 °С в растворах концентрацией до 35% корродируют со скоростью 0,2 мм/год [46, 61, 88], при концентрации до 50% — со скоростью менее 1 мм/год [61, 140], в расплавах при 500 °С чугуны нестойки [61].

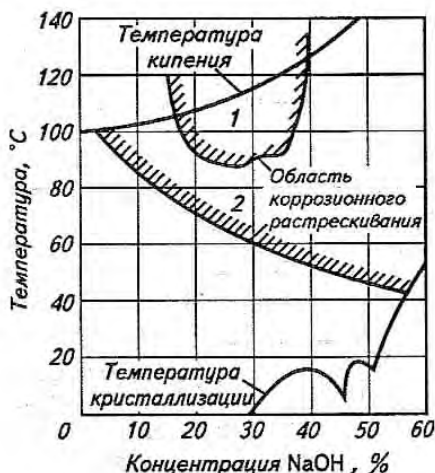


Рис. 36.6. Границы области коррозионного растрескивания в растворах гидроксида натрия: 1 — нелегированная и низколегированная сталь [212]; 2 — сварные соединения из углеродистой стали [8]

Никелевые чугуны с 12—15% Ni (нирезисты) в растворах гидроксида натрия концентрацией до 50—70% стойки (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) при температуре ниже 100 °С, при температуре кипения — нестойки [3, 40, 61]. Чугуны, содержащие 18—22% Ni, до 100 °С стойки (скорость коррозии 0,1—0,2 мм/год) в растворах концентрацией до 50—70%, при температуре кипения — в растворах концентрацией до 30% [10, 45, 101]. Более легированные чугуны (28—30% Ni) в растворах концентрацией 50—70% сохраняют стойкость до 150 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [5, 10, 45, 68], в расплавах — до 550 °С [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X13, X17 в растворах гидроксида натрия концентрацией до 40% удовлетворительно стойки до 100 °С (скорость коррозии 0,1—1 мм/год), при температуре кипения — нестойки. Стали типа X25, X28 в растворах концентрацией до 50% удовлетворительно стойки до температуры кипения (скорость коррозии 0,3—1 мм/год). Хромистые стали типа X13—X28 в более концентрированных растворах и расплавах (>300 °С) нестойки [1, 2, 112, 140]. В растворах гидроксида натрия хромистые стали могут подвергаться коррозионному растрескиванию.

Суперферритная сталь 01X25ТБЮ-ВИ сохраняет высокую стойкость (скорость коррозии 0,01 мм/год) при температуре 130 °С в условиях упаривания растворов гидроксида натрия до концентрации 35—50% [27].

Аустенитные хромоникелевые стали типа X18N10T в растворах гидроксида натрия концентрацией менее 50—70% стойки до 90 °С (рис. 36.7) [1, 45, 61]. При температуре кипения в растворах концентрацией менее 30—50% стали удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [2, 46, 61], при концентрации 50—70% — нестойки [2, 40, 112]. По данным работы [3], такие стали в растворах концентрацией 10—50% при температуре 75 °С корродируют со скоростью 0,5—1,3 мм/год, при температуре 100 °С — со скоростью более 1,3 мм/год. В расплавах гидроксида натрия стали типа X18N10T стойки (ско-

рость коррозии $<0,05$ мм/год) до 550°C [3] (по другим данным [4] — удовлетворительно стойки до 320°C).

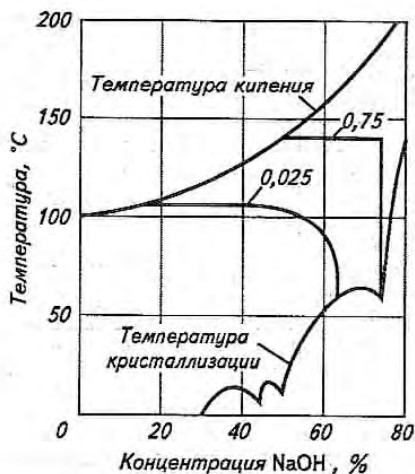


Рис. 36.7. Линии постоянной скорости коррозии (мм/год) нержавеющей сталей типа Х18Н10Т в растворах гидроксида натрия [212]

Хромоникелевые стали типа Х17Н13М2Т в растворах гидроксида натрия концентрацией менее 70% стойки до 100°C (рис. 36.8), удовлетворительно стойки (скорость коррозии $0,1$ – 1 мм/год) — до 120 – 150°C [1, 2, 61]. При температуре кипения в растворах концентрацией менее 30% стали стойки (скорость коррозии $0,1$ мм/год), при концентрации 30–50% — удовлетворительно стойки [1, 2, 61, 88]. В расплавах гидроксида натрия стали типа Х17Н13М2Т удовлетворительно стойки до 320°C (скорость коррозии <1 мм/год) [4].

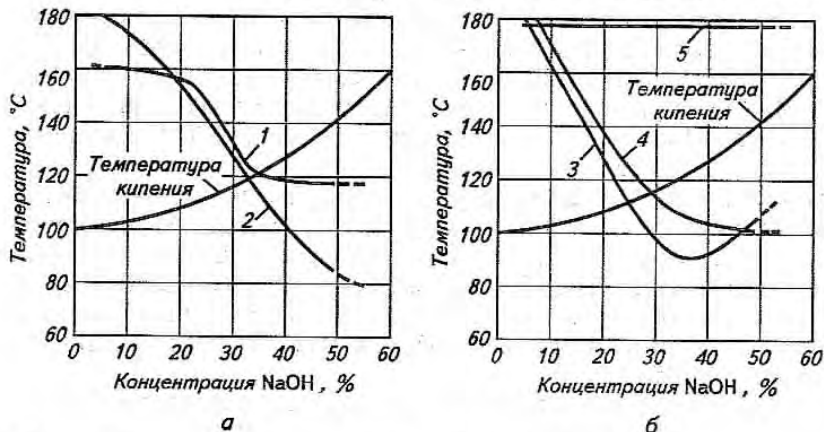


Рис. 36.8. Линии постоянной скорости коррозии (0,1 мм/год) в растворах гидроксида натрия нержавеющей сталей:

1 — 15Х25Т; 2 — 08Х22Н6Т; 3 — 12Х18Н10Т; 4 — 10Х17Н13М2Т; 5 — сплава 06ХН28МДТ [209]

В растворах и расплавах гидроксида натрия стали типа X18H10T, X17H13M2T могут разрушаться по механизму коррозионного растрескивания (рис. 36.9).

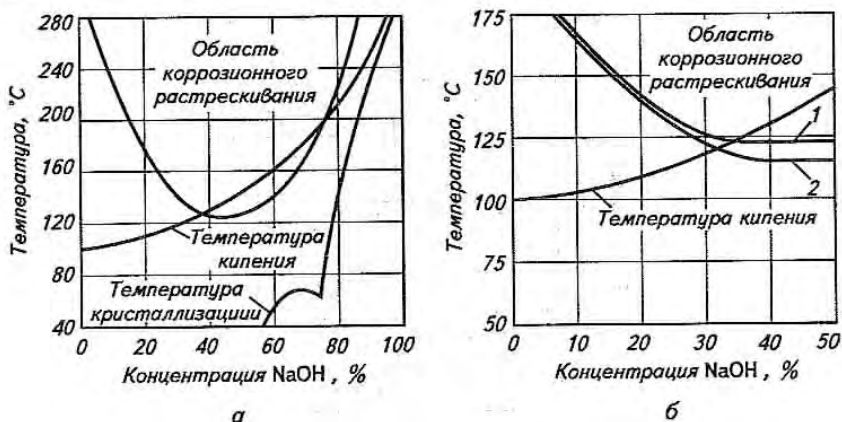


Рис. 36.9. Границы области коррозионного растрескивания в растворах гидроксида натрия: а — стали типа X18H10T [212]; б — сплава 06XH28MДТ (1), сталей 12X18H10T и 10X17H13M2T (2) [209]

Хромоникелевые стали типа X23H18 при температуре до 100 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) в растворах гидроксида натрия концентрацией менее 70—75%, при температуре кипения — в растворах концентрацией менее 10% [45].

Двухфазные стали 08X22H6T, 08X21H6M2T стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) до 90 °С в растворах концентрацией менее 70—75%, при температуре кипения — в растворах концентрацией менее 50%. В расплавах при температуре выше 300 °С такие стали нестойки [1, 2, 112].

Сплавы на железоникелевой основе 03XH28MДТ, 06XH28MДТ в растворах гидроксида натрия концентрацией менее 50% стойки до температуры кипения (скорость коррозии 0,1 мм/год) [1, 2, 140] (по данным работы [3], 0,05—0,5 мм/год). В расплавах (320 °С) сплавы нестойки [2, 101], к тому же сплав 06XH28MДТ подвержен коррозионному растрескиванию (см. рис. 36.9).

Сплав типа ХН40МДБ в расплавах при температуре 370 °С сохраняет стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40].

Никель и сплавы никеля. Никель в растворах гидроксида натрия обладает высокой стойкостью (рис. 36.10). Скорость коррозии никеля при температуре до 175 °С не превышает 0,1 мм/год в растворах концентрацией менее 50% [1, 209] (по другим данным [4] — менее 75%). Согласно работам [10, 27], никель применим в растворах любой концентрации при температуре до 350 °С. В расплавах при температуре до 400—500 °С скорость коррозии никеля 0,1—0,3 мм/год [1, 40, 45, 61].

Никель, содержащий более 0,02% углерода, в концентрированных (75—98%) растворах и расплавах при температуре 300—500 °С подвержен коррозионному растрескиванию [5, 10]. В работе [209] коррозионное растрескивание никеля отмечали в 50%-ном растворе при 180 °С, а в 35%-ном растворе при температуре 130—180 °С — межкристаллитную коррозию.

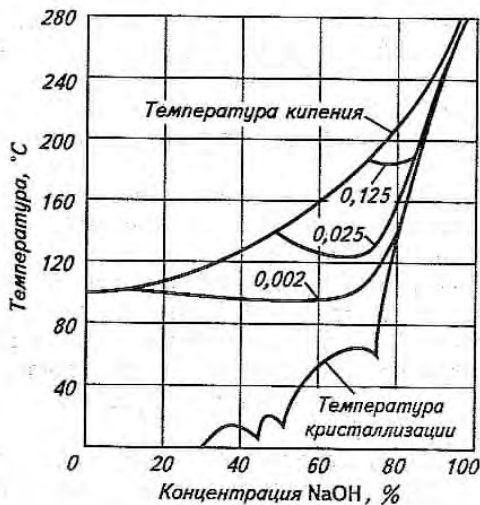


Рис. 36.10. Линии постоянной скорости коррозии (мм/год) никеля в растворах гидроксида натрия [данные Huntington Alloys; Corrosion, 1970, № 12]

Монель-металлы в растворах концентрацией менее 70% стоек (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до температуры кипения [4, 45], в более концентрированных растворах до 260°C — удовлетворительно стоек (скорость коррозии $0,1$ — 1 мм/год) [4, 40, 61, 68], в расплавах при 400 — 480°C — нестойк [1, 5, 61, 68]. В концентрированных ($>75\%$) растворах при высокой температуре монель-металлы подвержены коррозионному растрескиванию [3].

Никельмолибденовые сплавы типа ХН65МВ, Н70МФВ в растворах гидроксида натрия концентрацией менее 50% стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до температуры кипения [40, 45, 101], в растворах концентрацией 50—70% — удовлетворительно стойки (скорость коррозии $<0,5$ мм/год) [40, 140].

Сплав ХН78Т в растворах концентрацией менее 50% сохраняет стойкость (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до 180°C , но в 50%-ном растворе при 180°C отмечено коррозионное растрескивание сплава межкристаллитного характера [209].

Медь и медные сплавы. Медь в растворах гидроксида натрия концентрацией менее 50% при температуре до 80°C стойка (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [3, 68, 140], при 150°C — корродирует со скоростью до 1 мм/год [1]. В растворах концентрацией 60—75% и в расплавах (400°C) медь нестойка [1, 40, 140].

Алюминиевые бронзы в растворах гидроксида натрия концентрацией до 50% стойки до 100°C (скорость коррозии $<0,1$ мм/год), при температуре кипения — удовлетворительно стойки (скорость коррозии до 0,8 мм/год) [1, 88, 101]. Кремнистые бронзы при температуре до 100°C в растворах концентрацией менее 35% стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [5, 68, 140], оловянистые бронзы — корродируют со скоростью $0,1$ — 1 мм/год [1, 40, 68].

Латуны в растворах концентрацией менее 50% удовлетворительно стойки (скорость коррозии $<0,5$ мм/год) до 50°C [1, 40, 140] (по данным работы [68], стойки до 80°C).

Медноникелевые сплавы (мельхиоры) в растворах гидроксида натрия концентрацией менее 30% стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до температуры кипения, при концентрации менее 50% — до 100°C [45]. В растворах концентрацией 60—75% при температуре $150\text{—}175^{\circ}\text{C}$ сплавы корродируют со скоростью $0,1\text{—}0,5$ мм/год [3], в расплавах при 400°C — нестойки [3, 40, 140].

Свинец в разбавленных ($<10\%$) растворах гидроксида натрия стоек (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до 90°C [10], в более концентрированных растворах — нестойк при обычной температуре [3].

Титан и сплавы титана. Титан в растворах гидроксида натрия концентрацией менее 40% стоек (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) при температуре до 100°C [3] (по данным работы [64] — до температуры кипения). В растворах концентрацией до 70% при температуре 100°C титан удовлетворительно стоек (скорость коррозии $<0,5$ мм/год) [3], в концентрированных растворах (50—70%) при 140°C — нестойк [1, 10, 39].

Сплав 4200 в 40%-ном растворе при 40°C корродирует со скоростью менее $0,05$ мм/год [39], при концентрации более 20% и температуре выше 50°C сплав нестойк [101]. Сплав 4201 нестойк в растворах гидроксида натрия [101].

Серебро стойко (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) в любых растворах и расплавах гидроксида натрия при температуре до 500°C [10, 61, 101].

Тантал в разбавленных (5—10%) растворах гидроксида натрия стоек (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до температуры кипения [4, 10, 64, 83], в более концентрированных растворах при обычной температуре и в расплавах — нестойк [2, 3, 101].

Цирконий в растворах гидроксида натрия концентрацией менее 73% сохраняет стойкость (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до температуры $120\text{—}130^{\circ}\text{C}$ [10]. В расплавах гидроксида натрия цирконий обладает высокой стойкостью (скорость коррозии $0,01\text{—}0,06$ мм/год) [64, 83].

Другие металлы. Платина, золото стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) в любых растворах гидроксида натрия до температуры кипения, в безводном гидроксида натрия — до 260°C [40, 45]. В расплавах оба металла стойки (скорость коррозии менее $0,1$ мм/год) до $350\text{—}500^{\circ}\text{C}$ [2, 3].

Палладий, иридий, родий в расплавах гидроксида натрия при температуре 500°C корродируют со скоростью $0,1\text{—}0,5$ мм/год, рутений и осмий — нестойки [2].

Алюминий в любых растворах гидроксида натрия при 20°C нестойк [3, 61, 140].

В табл. 36.3 приведены предельные сочетания концентрации и температуры растворов гидроксида натрия для некоторых металлов и сплавов, при которых они сохраняют достаточную коррозионную стойкость.

Таблица 36.3. Предельные условия применения металлов и сплавов в растворах гидроксида натрия

Материал	Концентрация, %	Температура, $^{\circ}\text{C}$	Источник
Бронзы алюминиевые	30	Кип.	[45]
Золото	100	260	[45]
Медь	40—50	100	[1, 3]

Материал	Концентрация, %	Температура, °С	Источник
Мельхиор	25—35	100	[1, 40, 68]
	40	175	[3]
	60—75	150—175	[140]
Монель-металл	50	80	[140]
	70	125	[3]
Никель	50	Кип.	[3, 45]
	100	260	[45]
	Расплав	480—500	[45, 140]
Платина	95—100	260 — кип.	[45]
Свинец	25	100	[88]
Свинец сурьмянистый	40	Кип.	[140]
Серебро	50—60	100	[3, 140]
	100	260—400	[45, 140]
	Расплав	480—500	[10, 45, 61]
Сплав:			
03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ	20—30	100	[3]
ХН65МВУ, Н70МФВ-ВИ	50	100	[1]
Н70МФВ-ВИ	50	180	[209]
	70	100	[3]
ХН78Т	50	100	[1, 40]
Сталь:			
углеродистая	50	30	[3]
	50	100	[1]
типа Х18Н10Т	10	Кип.	[45]
типа Х17Н13М2Т	10	Кип.	[45]
10Х23Н18	50—70	100	[1, 45]
Тантал	10	Кип.	[4, 10, 64]
Титан	40—50	100	[1, 3]
Цирконий	30	Кип.	[140]
Чугун:			
никелевый (13—32% Ni), нирезист	30	Кип.	[45]
серый	50	80—90	[1, 3]
хромистый ЧХ28, ЧХ34	15	100	[1]

ГЛАВА 37. ВОДА — H₂O

Природные воды всегда содержат взвешенные и растворенные примеси. В зависимости от содержания и характера примесей природные воды классифицируют следующим образом [213]:

по содержанию солей (г/л) — ультрапресные (<0,2), пресные (0,2—0,5), слабоминерализованные (0,5—1), солоноватые (1—3), соленые (3—10), с повышенной соленостью (10—35), переходные к рассолам (35—50), рассолы (>50);

по преобладающему типу аниона — карбонатные ($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$), сульфатные (SO_4^{2-}) хлоридные (Cl^-);

по дисперсности взвешенных частиц — ионно-дисперсные (<1 нм), коллоидно-дисперсные (1—100 нм), грубодисперсные (более 100 нм);

по химическому составу примесей — с органическими примесями (гуминовые кислоты, ионно-дисперсные и коллоидные соединения фульвокислот и их солей), с минеральными примесями (растворенные газы, катионы и анионы кислот, оснований и солей); основными газами, содержащимися в природной воде, являются CO_2 , N_2 , O_2 , кроме того, в глубинной воде могут присутствовать CO , CH_4 , H_2S и др.

Из общих запасов воды на Земле доля пресных вод составляет лишь 2,5%, в том числе 0,006% в реках и 0,26% в озерах (доставка воды из которых к потребителю требует значительных затрат) [214].

Коррозия металлов и сплавов в воде протекает по электрохимическому механизму преимущественно при восстановлении кислорода. Поэтому скорость коррозии обычно контролируется диффузией растворенного кислорода. К основным факторам, влияющим на коррозионное поведение металлических материалов в воде, нужно отнести химический состав примесей, значение pH, температуру и условия теплопередачи, скорость движения, наличие абразивных частиц, степень и характер напряженного состояния металла. Влияние указанных факторов на коррозию металлов рассмотрено ранее (ч. 1, гл. 2).

37.1. Морская вода

Морская вода имеет сложный солевой состав, а также содержит растворенные газы, органические соединения или живые организмы.

Средняя соленость океанской воды около 3,5%, а соленость морской воды зависит от притока пресной воды и интенсивности испарения. Максимальное содержание солей, % (масс.): в Азовском море — 1,2; в Балтийском и Каспийском — 1,5; в Черном — 1,8; в Белом — 3,2. Усредненный солевой состав морской воды включает (мг/л): 19 000 Cl^- ; 2600 SO_4^{2-} ; 100 HCO_3^- ; 70 CO_3^{2-} ; 65 Br^- ; 26 BO_3^{3-} ; 1,3 F^- ; 11 000 Na^+ ; 1300 Mg^{2+} ; 400 Ca^{2+} ; 380 K^+ ; 13 Sr^{2+} .

Коррозионное поведение металлов в морской воде, прежде всего, определяют содержащиеся соли, растворенные газы (кислород, диоксид углерода, сероводород), показатель pH, скорость движения и температура воды, присутствие микро- и макроорганизмов (см. ч. 1, гл. 6). Морская вода — среда средней агрессивности. Коррозионная активность морской воды обусловлена содержанием кислорода и концентрацией растворенных солей.

Большое содержание хлорид-ионов в морской воде способствует разрушению защитных пленок на металле. В результате большинство металлов и сплавов подвергается не только интенсивной общей коррозии, но часто значительной локальной (точечной и язвенной) коррозии.

Достаточно полные данные по коррозионному поведению металлов и сплавов в морской воде (в том числе контактирующих различных металлов) можно найти в справочниках [5, 215].

Металлы и сплавы в морской воде обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали при нормальной температуре в морской воде стойки (скорость коррозии 0,05—0,2 мм/год) [3, 5, 68, 130], при 80—100 °С — корродируют со скоростью до 0,7—1 мм/год [1, 10] (по данным работы [3] — более 1,3 мм/год). Кроме того, углеродистые стали подвергаются локальной (питтинговой, шелевой) коррозии. В аэрированной движущейся воде скорость питтинговой коррозии может достигать 1,3 мм/год [215].

Низколегированные стали (15ХНДТ, 30ХГС, 12ХЗНД и др.) по коррозионной стойкости мало отличаются от нелегированных сталей. Так, при полном погружении скорость коррозии низколегированных сталей составляет 0,06—0,13 мм/год. К тому же на низколегированных сталях питтинговая коррозия развивается сильнее, чем на углеродистых сталях [147].

Серые чугуны при нормальной температуре в морской воде разрушаются со скоростью 0,06—0,1 мм/год [1, 43, 130], при 100 °С скорость коррозии может достигать 0,7—0,8 мм/год [10]. По данным работы [3], в движущейся морской воде при 35 °С серые чугуны нестойки. Кроме того, необходимо учитывать, что чугуны в морской воде подвержены питтинговой коррозии и графитизации, в результате которой поверхность металла превращается в мягкий слой, состоящий из графита и продуктов коррозии [215].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3 обладают высокой стойкостью (скорость коррозии 0,02—0,1 мм/год) в морской воде до 100 °С [1, 43, 88]. При упарке морской воды (солеосодержание 12—30%, 130 °С) скорость коррозии кремнистых чугунов менее 0,1 мм/год [88].

Хромистые чугуны ЧХ28—ЧХ34 в морской воде сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год) при температуре до 100 °С [46, 88]. В условиях упарки морской воды (130 °С) до общего солеосодержания 12—30% скорость коррозии хромистых чугунов менее 0,04 мм/год [88].

Никелевые чугуны (нирезисты), содержащие 12—32% Ni, в морской воде при обычной температуре корродируют со скоростью 0,01—0,06 мм/год [10, 46, 130], при 100 °С — со скоростью до 0,2 мм/год [10]. В быстро движущейся (8 м/с) морской воде скорость коррозии таких чугунов возрастает до 0,5—0,8 мм/год [10].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13, Х17 в морской воде при температуре до 80—100 °С корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [1, 43, 130, 150] (по данным работы [88] — до 0,25 мм/год). В условиях упарки морской воды (солеосодержание 12—30%, 130 °С) скорость коррозии сталей типа Х13 до 0,16 мм/год, сталей типа Х17 — до 0,02 мм/год [88]. В спокойной и слабо движущейся (<0,6 м/с) морской воде указанные стали подвергаются точечной коррозии глубиной 1,5—2,5 мм [150].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в морской воде стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры 70—80 °С [3] (по другим

данным [46, 88], до температуры кипения). Согласно работам [1, 2, 150], стали типа X18H10T в морской воде корродируют со скоростью до 0,5—1 мм/год. При упарке морской воды (солеосодержание 12—30%, 130 °С) скорость коррозии сталей типа X18H10T менее 0,02 мм/год [88].

В медленно текущей (<0,6 м/с) морской воде точечная коррозия сталей типа X18H10T достигает глубины 3,5 мм, сталей типа X17H13M2T — 0,9 мм. В неподвижной морской воде глубина питтингов на сталях типа X17H13M2T может достигать 1—8 мм и более [150]. Кроме того, хромоникелевые стали в морской воде могут подвергаться коррозионному растрескиванию [1, 2].

Двухфазная сталь 08X21H6M2T сохраняет высокую стойкость (скорость коррозии <0,01 мм/год) при температуре до 80 °С [2].

Стали с марганцем 10X14Г14Н4Г, 08X18Г8Н2Г, 08X18Г8Н3М2Г в морской воде подвергаются точечной коррозии глубиной более 1 мм [2, 15].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ обладают высокой стойкостью (скорость коррозии <0,001 мм/год) в морской воде при температуре до 80 °С [2].

Никель и сплавы никеля. Никель в морской воде сохраняет высокую стойкость (скорость коррозии 0,01—0,04 мм/год) [10, 68, 150]. В стоячей и медленно текущей воде на никеле возможно возникновение питтинговой коррозии, глубина которой при неблагоприятных условиях может превышать 3—6 мм [3, 215].

Монель-металл в морской воде сохраняет высокую стойкость (скорость коррозии 0,01—0,06 мм/год) при скорости движения воды 1,2—4,5 м/с [3, 5, 68, 130], в стоячей и медленно текущей воде возможна точечная коррозия глубиной 1—2 мм и более [10, 215].

Никельмолибденовый сплав Н70МФВ при обычной температуре в морской воде стоек (скорость коррозии 0,04 мм/год) [5, 68]. Сплав ХН65МВ отличается очень высокой стойкостью в морской воде (скорость коррозии <0,002 мм/год) [5, 10, 68] и сохраняет стойкость (скорость коррозии <0,08 мм/год) до 100 °С [46]. По данным работы [3], сплав ХН65МВ при обычной температуре в морской воде корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год. Оба сплава практически не подвержены питтинговой коррозии в морской воде [10, 215].

Медь и медные сплавы. Медь в морской воде стойка (скорость коррозии <0,1 мм/год) как при обычной, так и при повышенной (80 °С) температуре [1, 5, 130] (по данным работы [3] — до 250 °С). В быстро движущейся (>1 м/с) воде скорость коррозии меди возрастает до 0,4 мм/год и более [5, 68]. Глубина локальных поражений на меди может достигать 1,5 мм [215].

Латуни (Л68, Л70, ЛО70-1, ЛА77-2 и др.) в морской воде при нормальной температуре стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) [1, 130, 150], но при содержании в сплаве меди менее 65% коррозия усиливается [10]. Так, латунь ЛО60-1 и мунц-металл (60% Cu, 40% Zn) корродируют со скоростью 0,1—0,2 мм/год [150]. Томпак в морской воде корродирует со скоростью 0,01—0,05 мм/год [215]. Латуни и томпак сохраняют достаточную стойкость при скорости движения морской воды до 0,9 м/с, алюминиевые латуни и мунц-металл — при скорости до 2—4,5 м/с [5]. Латуни с высоким содержанием цинка (особенно многофазные латуни) в морской воде склонны к обесцинкованию, сопровождающемуся потерей прочности.

Бронзы стойки в морской воде (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год). Наибольшей стойкостью отличаются алюминиевые бронзы (при обычной температуре скорость коррозии $0,01—0,05$ мм/год [43, 68, 150], при 80°C — $0,06—0,16$ мм/год [130]). Оловянистые, кремнистые, фосфористые и свинцовистые бронзы при обычной температуре корродируют со скоростью до $0,03—0,06$ мм/год [46, 68, 130, 150]. Глубина локальных поражений кремнистой и фосфористой бронз от $0,9$ до $1,5$ мм [215]. Кремнистые бронзы сохраняют удовлетворительную стойкость при скорости движения воды до $1,5$ м/с, оловянистые бронзы — до $4,5$ м/с [5].

Медноникелевые сплавы (МН17, МН19 и др.) в морской воде обладают высокой стойкостью (скорость коррозии $0,007—0,04$ мм/год) [43, 46, 150], но с увеличением скорости движения воды коррозия сплавов усиливается. Так, мельхиор (30% Ni) при большой скорости движения воды корродирует со скоростью $0,25$ мм/год [46]. Медноникелевые сплавы (11—33% Ni) при температуре до 250°C корродируют со скоростью $0,05—0,5$ мм/год [3].

Алюминий в морской воде неприменим [1, 2, 43, 46]. По другим данным [3, 130, 215, 216], при обычной температуре скорость коррозии алюминия $0,03—0,13$ мм/год, но при этом алюминий легко подвергается локальной коррозии.

Алюминиевые сплавы типа АМг, АМц корродируют в морской воде со скоростью до $0,1$ мм/год [206, 216, 217].

Титан в морской воде отличается очень высокой стойкостью, в том числе при больших скоростях движения [1, 2, 46, 215]. Даже при температуре кипения скорость коррозии титана менее $0,05$ мм/год [39, 83]. При обычной температуре титан не подвержен питтинговой коррозии в морской воде.

Другие металлы. В морской воде при обычной температуре скорость коррозии (мм/год): цинка — $0,02—0,09$ (по данным работы [130] — до $0,24$); свинца — $0,01—0,02$; олова — $0,001—0,003$ [5, 43, 46, 68].

Цирконий, серебро, платина, золото практически не корродируют в морской воде, палладий по стойкости приближается к этим металлам [2, 46, 215].

37.2. Пресная вода

В отличие от морской воды в пресных водах значительно меньше содержание (обычно не превышает $0,5—1$ г/л). Кроме солей пресная вода содержит растворенные газы, органические примеси и микрофлору. Органические и неорганические примеси могут присутствовать в виде частиц различной степени дисперсности.

Пресная вода содержится в артезианских и грунтовых водах, в реках, озерах и других естественных водоемах и может значительно различаться по составу. Качественный и количественный состав воды в реках и озерах зависит от окружающей почвы и грунта, времени года и метеорологических условий, а также наличия бытовых, производственных, сельскохозяйственных и других стоков. Артезианские и грунтовые воды, как правило, отличаются большой насыщенностью гидрокарбонатами.

Содержание гидрокарбонатов в пресной воде является одной из важнейших характеристик, определяющих ее коррозионную активность. От содержания гидрокарбонатов зависит способность воды осаждать или растворять карбона-

ты кальция и магния. Мягкая вода с небольшой концентрацией солей кальция и магния обладает большей коррозионной активностью, чем жесткая. В жесткой воде с большим содержанием солей кальция и магния на поверхности металла образуется защитный слой CaCO_3 или MgCO_3 , который препятствует доступу кислорода и затрудняет процесс коррозии. Необходимо отметить, что этот эффект тем значительнее, чем меньше коррозионная стойкость металла.

Другие анионы, в том числе ионы Cl^- и SO_4^{2-} , меньше влияют на коррозионную активность воды, поскольку их содержание обычно не превышает 50 мг/л. Однако в последние десятилетия пресные воды естественных водоемов загрязняются сточными водами предприятий, что резко увеличивает их агрессивность.

Для некоторых естественных пресных вод характерно повышенное содержание кислотных соединений (H_2SO_4 , H_2S и др.). Такие воды (шахтные, рудничные, некоторые почвенные) обладают повышенной коррозионной активностью. К тому же в них часто присутствуют катионы (Fe^{3+} , Cu^{2+} и др.), способные участвовать в катодном процессе, обеспечивая протекание коррозии даже в отсутствие кислорода.

На скорость коррозии металлов в пресной воде влияют также внешние факторы (рН воды, температура, скорость и характер движения и т.д.).

Металлы и сплавы в пресной воде обладают следующей коррозионной стойкостью.

Речная, озерная вода

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали при обычной температуре в пресной воде корродируют со скоростью 0,05—0,2 мм/год, при температуре до 100 °С — со скоростью до 0,1—1 мм/год [1]. При этом возможно возникновение локальных поражений глубиной до 2,2 мм [10].

Серые чугуны в пресной воде при обычной температуре стойки (скорость коррозии 0,01—0,35 мм/год) [1, 10], но могут подвергаться локальному разрушению глубиной более 1 мм через 1 год эксплуатации [3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3 и хромистые чугуны ЧХ28—ЧХ34 в пресной воде до температуры кипения остаются стойкими (скорость коррозии 0,01—0,1 мм/год) [1, 40].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х28 в пресной воде стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [1, 46].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в пресной воде обладают очень высокой стойкостью (при обычной температуре скорость коррозии <0,003 мм/год, при температуре кипения — <0,1 мм/год) [40, 46, 88].

Двухфазная сталь 08Х22Н6Т практически не корродирует в пресной воде до температуры кипения [1].

Высоколегированные стали с марганцем 10Х14АГ15, 10Х14Г14Н4Т при температуре до 80 °С в пресной воде сохраняют очень высокую стойкость (скорость коррозии 0,001—0,003 мм/год) [15].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в пресной воде отличаются высокой стойкостью как при нормальной температуре (скорость коррозии до 0,003 мм/год) [40], так и при температуре кипения (скорость коррозии до 0,1 мм/год) [1].

Сплавы типа ХН40МДБ также практически не корродируют в пресной воде [40].

Никель и сплавы никеля. Никель в пресной воде при нормальной температуре обладает очень высокой стойкостью (скорость коррозии $<0,003$ мм/год) [1, 44], в жесткой воде скорость коррозии до $0,02$ мм/год [5]. При температуре кипения никель корродирует со скоростью $0,03$ — $0,1$ мм/год [5, 40].

Монель-металлы в пресной воде остаются стойкими (скорость коррозии $0,003$ — $0,03$ мм/год) до температуры кипения [5, 40].

Никельмолибденовый сплав Н70МФВ также практически не корродирует в пресной воде [40].

Медь и медные сплавы. Медь в пресной воде при нормальной температуре стойка (скорость коррозии $<0,02$ мм/год), при температуре кипения скорость коррозии возрастает до $0,04$ — $0,25$ мм/год [1, 40].

Латуни в пресной воде стойки как при нормальной температуре (скорость коррозии $0,003$ — $0,03$ мм/год, если нет обесцинкования) [5], так и при температуре кипения (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1, 40].

Бронзы, не содержащие цинк, стойки в пресной воде (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до температуры кипения [40]. Алюминиевые бронзы при температуре кипения корродируют со скоростью $\sim 0,01$ мм/год [1], оловянистые бронзы — со скоростью $0,01$ — $0,1$ мм/год [1, 44].

Медноникелевые сплавы (МН19, МНЖМц 30-1-1 и др.) в пресной воде остаются стойкими (скорость коррозии $0,005$ — $0,03$ мм/год) до температуры кипения [5, 40].

Алюминий в пресной воде при температуре до 80 °С стоек (скорость коррозии $0,002$ — $0,03$ мм/год) [1, 40, 46]. По данным работы [2], в дождевой воде при обычной температуре скорость коррозии алюминия достигает $0,1$ — $0,5$ мм/год. При температуре кипения в пресной воде (в том числе в мягкой воде с рН 5,5) скорость коррозии алюминия $0,1$ мм/год [40]. Согласно справочнику [5], алюминий в пресной воде можно применять до температуры 180 °С.

Свинец в пресной воде стоек (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до температуры кипения [1].

Другие металлы. Олово, титан, тантал, цирконий, серебро, платина, золото в пресной воде сохраняют высокую стойкость до температуры кипения [1, 40].

Шахтная, рудничная, почвенная (кислая) вода

Углеродистые стали при нормальной температуре нестойки в кислой пресной воде (в почвенной и шахтной воде с рН 0,5) [2].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в кислых пресных водах стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до температуры кипения [40, 46].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х25 в почвенной и шахтной (рН 0,5) воде при нормальной температуре стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [2, 46]. Повышение температуры до 60 °С увеличивает скорость коррозии сталей типа Х13 в шахтной воде до 1 — 5 мм/год, сталей типа Х17 — до $0,5$ — 1 мм/год [2]. При температуре кипения в такой воде стали с 17% хрома корродируют со скоростью более 1 мм/год [40]. Стали типа Х13 в рудничной воде при 20 °С разрушаются со скоростью $0,4$ — $0,8$ мм/год [88].

Хромоникелевые стали типа X18H10T, X17H13M2T в кислых пресных водах при нормальной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [2, 40, 46, 88]. При температуре до 50—60 °С в кислой (рН 0,5) шахтной воде скорость коррозии сталей типа X18H10T достигает 0,1—0,5 мм/год, сталей типа X17H13M2T — 0,1 мм/год [2]. При этом стали могут подвергаться локальной коррозии глубиной до 0,13 мм [40]. При температуре 100 °С стали типа X18H10T в шахтной воде неприменимы [88].

Двухфазная сталь 08X22H6T в шахтной кислой (рН 0,5) воде при температуре 60 °С корродирует со скоростью 0,1—0,5 мм/год, сталь 08X21H6M2T — со скоростью 0,1 мм/год [2].

Высоколегированная сталь с марганцем 08X18Г8H3M2T в почвенной воде при обычной температуре разрушается со скоростью до 1 мм/год [46].

Сплавы на железоникелевой основе 03XH28MДТ, 06XH28MДТ в шахтной кислой (рН 0,5) воде стойки (при 60 °С скорость коррозии 0,01 мм/год) [40].

Никель и сплавы никеля. Никель при обычной температуре в кислых водах в зависимости от их состава корродирует со скоростью от 0,003 до 0,5—0,6 мм/год [2, 5, 40, 46].

Монель-металл в рудничной воде при нормальной температуре обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,3—0,5 мм/год) [46], в шахтной воде при повышенной температуре — разрушается со скоростью 0,6—2,8 мм/год [5].

Медь и медные сплавы. Медь в кислой почвенной воде неприменима при нормальной температуре [2, 46].

Латуни в кислой рудничной воде при обычной температуре корродируют со скоростью 1—3 мм/год [46].

Бронзы, не содержащие цинк, в шахтной воде стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год) при обычной температуре, алюминиевые бронзы — при температуре кипения [40]. Кремнистые бронзы в зависимости от состава воды и температуры корродируют со скоростью от 0,05 до 4,3 мм/год [5]. Оловянистые бронзы применимы в кислой почвенной воде при обычной температуре [46].

Алюминий в кислой шахтной и почвенной воде при нормальной температуре неустоек [2, 46].

Свинец и сурьмянистый свинец при обычной температуре стойки в кислой болотной и шахтной воде (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40].

37.3. Водопроводная вода

Водопроводная вода обычно используется для хозяйственно-питьевых нужд. В России качество питьевой воды регламентировано [218].

Источниками водоснабжения обычно служат подземные и поверхностные пресные воды. В естественных условиях химический состав питьевой воды многокомпонентен. Кроме того, в питьевую воду могут попадать химические вещества при ее дополнительной обработке. Содержание примесей в питьевой воде не должно превышать (мг/л): Fe^{2+} , Fe^{3+} — 0,3; Mn^{2+} — 0,1; Cu^{2+} — 1,0; Zn^{2+} — 5,0; PO_4^{3-} — 3,5; SO_4^{2-} — 500,0; Cl^- — 350,0.

Для оценки степени минерализации питьевой воды можно использовать показатели жесткости воды и количества сухого остатка. Сухой остаток служит

ориентиром содержания в воде неорганических солей и не должен превышать 1000 мг/л. Жесткость воды характеризует суммарное содержание солей кальция и магния и для питьевой воды не должна быть более 7,0 ммоль/л. Водородный показатель (рН) питьевой воды должен находиться в пределах 6,0—9,0.

Коррозионная активность питьевой воды определяется главным образом содержанием растворенного кислорода, концентрацией ионов SO_4^{2-} и Cl^- , а также возможностью образования нерастворимых осадков на корродирующей поверхности (прежде всего, CaCO_3 и MgCO_3), которые затрудняют доступ кислорода к ней. В водопроводных системах подачи воды для хозяйственно-питьевых нужд возможность растворения кислорода в воде ограничена, поэтому коррозионная активность водопроводной воды значительно ниже, чем питьевой воды из естественных открытых источников. Кроме того, агрессивность питьевой воды из естественных источников сильно зависит от степени жесткости. Жесткие воды с положительным значением индекса насыщения сравнительно малоагрессивны, а мягкие воды, наоборот, вызывают заметное разрушение изделий из углеродистой стали, свинца, меди и ее сплавов.

Металлы и сплавы в питьевой воде обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали в водопроводной воде удовлетворительно стойки до 65 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [2, 3, 46].

Серые чугуны при обычной температуре в водопроводной воде разрушаются со скоростью до 0,4—0,5 мм/год [3, 46].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 и хромоникелевые чугуны (нирезисты) в водопроводной воде остаются стойкими до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40, 46, 88].

Высоколегированные стали. Хромистые, хромоникелевые, хромомарганцевые и др. стали обладают очень высокой стойкостью в водопроводной воде. При обычной температуре скорость коррозии нержавеющей сталей менее 0,003 мм/год [2, 40], при температуре кипения — менее 0,1 мм/год [15, 40, 46, 150].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ, ХН40МДБ в водопроводной воде сохраняют высокую стойкость до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл, никельмолибденовый сплав Н70МФВ в водопроводной воде обладают высокой стойкостью до температуры кипения (скорость коррозии <0,003—0,05 мм/год) [3, 40].

Медь и медные сплавы. Медь в водопроводной воде при обычной температуре стойка (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3], при температуре кипения в азрированной воде, содержащей CO_2 , скорость коррозии может возрастать до 0,25 мм/год [40].

Латуни, бронзы, медноникелевые сплавы (мельхиоры) стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [40, 46].

Алюминий в водопроводной воде стоек до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40] (по данным работы [3], при температуре до 50 °С скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Другие металлы. Свинец, цинк при обычной температуре в водопроводной воде обладают высокой стойкостью (скорость коррозии $< 0,05$ мм/год) [2, 3, 46].

Олово, титан, тантал, цирконий, серебро, платина, золото в водопроводной воде отличаются очень высокой стойкостью до температуры кипения [40].

37.4. Техническая вода

Технической водой принято называть воду, используемую промышленными предприятиями для производственных нужд в качестве технологического сырья или теплоносителя при нагреве и охлаждении аппаратуры.

Требования к качеству технической воды зависят от ее назначения. Различают воду, используемую при добыче, отмывке, транспортировке, сортировке и обогащении сырья, воду, соприкасающуюся с производимой продукцией, и воду, входящую в состав продукта. В последних двух случаях к качеству технической воды предъявляются повышенные требования. Так, вода, применяемая в шелковой промышленности, должна иметь жесткость не выше $0,18$ мэкв/л и содержать только следы солей железа, а вода, применяемая в производстве искусственного волокна, — жесткость не более $0,07$ мэкв/л при содержании солей железа до $0,1$ — $0,2$ мг/л. В химической промышленности в качестве сырья обычно используют умягченную и химически обессоленную воду (солеосодержание 10 — 50 мкг/л). В некоторых случаях (производство реактивов, особо чистых веществ, полупроводников и т.п.) применяют глубоко обессоленную воду с удельным сопротивлением 10 — 15 МОм·см.

Коррозионная активность технической воды, используемой для технологических нужд, определяется главным образом ее составом и температурой. Химически обработанная вода насыщена кислородом воздуха, который в первую очередь определяет ее коррозионную активность. Агрессивность такой воды увеличивается даже при содержании небольшого (< 50 мг/л) количества хлоридов и сульфатов.

Однако три четверти объема технической воды используют в качестве хладагента по замкнутой (оборотной) схеме. В этом случае нагретую на 15 — 18 °С воду охлаждают в градирнях, брызгальных бассейнах, прудах-охладителях и возвращают в теплообменные аппараты. Потерю части оборотной воды при испарении восполняют добавлением воды из природных источников. При использовании поверхностных и подземных источников оборотная вода может содержать (мг/л) [213]: ионы Cl^- — до 350 мг/л; ионы SO_4^{2-} — до 500 мг/л; взвешенные вещества — до 50 ; эфирорастворимые вещества — до 20 . Общая жесткость воды — до 50 мэкв/л (карбонатная жесткость — до $3,5$); общее содержание — до 2000 мг/л; окисляемость перманганатная — до 20 мг/л; ХПК — до 200 мг/л; БПК — до 20 мг/л; значение pH $6,5$ — $8,5$.

Агрессивность воды замкнутых циклов, как правило, выше агрессивности воды, используемой в качестве технологического компонента. Это обусловлено постепенным накоплением в оборотной воде коррозионно-активных веществ. Загрязнения в оборотную воду попадают с добавочной водой, из воздуха (при использовании открытых охлаждающих устройств), с продуктами коррозии оборудования, из технологической среды через неплотности различных соединений.

Попадающие вещества могут иметь как щелочной, так и кислотный характер. Например, диоксид углерода, попадающий при абсорбции его из воздуха (на градирнях) или в результате разложения гидрокарбонатов и окисления органических веществ, уменьшает рН воды, что усиливает ее агрессивность (особенно при больших скоростях потока). При накоплении примесей в оборотной воде может быть превышено их предельное содержание, выше которого эксплуатация оборудования недопустима из-за нарушения стабильности воды и возможности интенсивной коррозии.

Большое влияние на коррозионную активность оборотной воды оказывает ее соледержание. При использовании воды с содержанием солей до 100 мг/л в большинстве случаев не возникает проблем с коррозией, а при концентрации солей выше 2000 мг/л агрессивность воды становится весьма значительной [206]. В табл. 37.1 приведены примерные требования к качеству оборотной и добавочной воды, используемой в системах охлаждения оборудования.

Таблица 37.1. Некоторые требования к качеству оборотной и добавочной воды [219]

Показатель	Оборотная вода	Добавочная вода
Жесткость общая, мэкв/л	до 7	1—2
Жесткость карбонатная, мэкв/л	до 3	0,5—0,8
Общее соледержание, мг/л	800—1200	150—250
Содержание, мг/л:		
взвешенных частиц	10—20	2—4
хлоридов	150—300	30—70
сульфатов	350—500	70—120
фосфора (в пересчете на P ₂ O ₅)	до 5	до 1
азота (общее)	до 150	до 30—35
растворенного кислорода	6—8	—
остаточного активного хлора	1	1
ПАВ	отсутствуют	отсутствуют
масел и смолообразующих веществ	«	«
БПК, мг/л	5—10	1—5
ХПК, мг/л	до 70	15—30
Значение рН	6,5—8,5	6,5—8,5

Металлы и сплавы в технической воде обладают следующей стойкостью.

Оборотная вода

Углеродистые стали при обычной температуре в оборотной воде обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) и могут подвергаться локальной коррозии [2, 206, 220]. В ингибированной оборотной воде углеродистые стали и серые чугуны стойки (скорость коррозии менее 0,05 мм/год) до температуры 125 °С, при дальнейшем повышении температуры скорость коррозии может возрастать до 0,5 мм/год [3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3 в оборотной воде стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до температуры кипения [40].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13 в оборотной воде при температуре до 90°C остаются стойкими (скорость коррозии $0,1$ мм/год) [206].

Аустенитные хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т и двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т в оборотной воде при температуре 30°C обладают очень высокой стойкостью (скорость коррозии $<0,001$ мм/год) [2]. При температуре до $100\text{--}200^\circ\text{C}$ стали типа Х18Н10Т корродируют со скоростью до $0,05\text{--}0,1$ мм/год (возможна локальная коррозия), стали типа Х17Н13М2Т остаются стойкими (скорость коррозии $<0,01$ мм/год) [3, 40].

Высоколегированные стали с марганцем 07Х13АГ20, 10Х13Г18Д в оборотной воде при 60°C корродируют со скоростью $0,001\text{--}0,02$ мм/год, но могут подвергаться питтинговой коррозии [15].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ, ХН40МДБ в оборотной воде при температуре $100\text{--}200^\circ\text{C}$ корродируют со скоростью соответственно не более $0,08$ и $0,05$ мм/год [40].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл в ингибированной оборотной воде стойки (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) до температуры 125°C , дальнейшее повышение температуры может увеличивать скорость коррозии до $0,5$ мм/год [3].

Медь и медные сплавы. Медь, латунь в ингибированной оборотной воде стойки до температуры 125°C (скорость коррозии $<0,05$ мм/год), при 150°C скорость коррозии возрастает до $0,05\text{--}0,5$ мм/год [3]. По данным работы [206] латунь ЛО70-1 при температуре 45°C в оборотной воде подвергается точечной коррозии.

Алюминий в ингибированной оборотной воде при температуре 50°C корродирует со скоростью $0,05\text{--}0,5$ мм/год [3].

Алюминиевые сплавы АМц, АМг2, АМг6 в оборотной воде при температуре 45°C стойки (скорость коррозии $0,03\text{--}0,05$ мм/год). При этом на сплавах возникают точечные поражения [206]. По данным работы [221], сплавы типа АМг в оборотной охлаждающей воде применимы до температуры 70°C .

Дистиллированная вода и конденсат

Углеродистые стали и серые чугуны. Коррозионная стойкость углеродистых сталей в дистиллированной воде сильно зависит от присутствия растворенного воздуха (кислорода) и диоксида углерода. В химически обессоленной деаэрированной воде при 70°C скорость коррозии сталей до $0,5\text{--}0,6$ мм/год. При аэрации такой воды скорость коррозии возрастает до 3 мм/год. Присутствие в конденсате ионов Cl^- (до 150 мг/л), ионов SO_4^{2-} и растворенного кислорода способствует разрушению углеродистой стали при 60°C со скоростью $0,5\text{--}1,8$ мм/год при локальном характере коррозии [204]. В чистой дистиллированной воде при температуре до 80°C углеродистые стали корродируют со скоростью $0,1\text{--}0,5$ мм/год, а при повышении температуры до 300°C — со скоростью $0,3\text{--}0,8$ мм/год [2, 204]. По данным работы [3], в дистиллированной воде и в деаэрированной дистиллированной и деионизированной воде углеродис-

тая сталь при температуре до 300 °С стойка (скорость коррозии <0,05 мм/год). В обессоленной воде ($\rho = 8-10$ МОм·см) при 20 °С углеродистая сталь подвергается питтинговой и язвенной коррозии со скоростью до 0,02 мм/год [222].

Серые чугуны при нормальной температуре в дистиллированной воде корродируют со скоростью 0,5—1,3 мм/год (в деаэрированной воде скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3 и хромистые чугуны ЧХ28, ЧХ32 в дистиллированной воде и конденсате стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [40].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в деаэрированной дистиллированной воде сохраняют высокую стойкость (скорость коррозии <0,05 мм/год) до температуры 300 °С [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х25 в дистиллированной воде стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [40, 46]. В деаэрированной дистиллированной воде стали типа Х13 при температуре 250 °С корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год, в высокочистой воде при температуре 200—300 °С — со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Аустенитные хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в дистиллированной воде и конденсате сохраняют высокую стойкость (скорость коррозии 0,01—0,05 мм/год) до температуры 250—300 °С [2, 3, 40]. В обессоленной воде ($\rho = 8-10$ МОм·см) при 20 °С сталь 12Х18Н9Т практически не подвергается коррозии [222].

Никель и сплавы никеля. Никель обладает высокой стойкостью (скорость коррозии 0,01—0,05 мм/год) в дистиллированной, в том числе деаэрированной, воде при температуре до 250 °С [2, 3, 40]. В особо чистой ($\rho = 0,75$ МОм·см) воде при температуре 350 °С никель корродирует со скоростью 0,01 мм/год [40]. В обессоленной воде ($\rho = 8-10$ МОм·см) при нормальной температуре никель практически не корродирует [222].

Монель-металл в дистиллированной воде и конденсате при температуре до 300 °С стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год). В высокочистой воде монель-металл до 150 °С корродирует со скоростью менее 0,05 мм/год, при 200 °С — со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Никельмолибденовый сплав Н70МФВ в дистиллированной воде и конденсате сохраняет стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [40].

Медь и медные сплавы. Медь в дистиллированной воде стойка (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения, при повышении температуры до 250—300 °С скорость коррозии возрастает до 0,4—0,7 мм/год [2]. В высокочистой воде медь стойка (скорость коррозии <0,05 мм/год) до температуры кипения [3]. В обессоленной воде ($\rho = 8-10$ МОм·см) при 20 °С скорость коррозии меди около 0,003 мм/год [222].

Латуни в дистиллированной воде при обычной температуре корродируют со скоростью 0,01 мм/год [5, 68], при температуре кипения — со скоростью до 0,1 мм/год [40]. По справочным данным [46], латуни стойки до температуры 200 °С. В высокочистой воде оловянистая латунь стойка до 100 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год), при температуре 150—350 °С скорость коррозии латуни достигает 0,5—1,3 мм/год [3]. В обессоленной воде при нормальной темпе-

ратуре латунь практически не корродирует (скорость коррозии $<0,001$ мм/год) [222].

Бронзы, не содержащие цинк, стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до температуры кипения в дистиллированной воде, алюминиевые и оловянистые бронзы — в конденсате, насыщенном диоксидом углерода [40].

Медноникелевые сплавы (мельхиоры) обладают высокой стойкостью в дистиллированной воде (в деаэрированной воде стойки до 200°C) [3]. Мельхиор типа МНЖМц 30-1-1 в дистиллированной воде при 70°C корродирует со скоростью $0,06$ мм/год [5]. Присутствие в конденсате CO_2 увеличивает скорость коррозии мельхиора до $0,3-0,5$ мм/год [68]. В высокочистой воде мельхиор стоек (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) до 150°C (при 200°C скорость коррозии $0,05-0,5$ мм/год) [3]. В обессоленной воде при нормальной температуре мельхиор практически не корродирует [222].

Алюминий в деаэрированной дистиллированной воде стоек до 200°C (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [3], в аэрированной воде при $100-150^{\circ}\text{C}$ — нестойк [2, 40].

Титан в дистиллированной воде (в том числе в деаэрированной) сохраняет стойкость (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) до температуры $250-300^{\circ}\text{C}$ [2, 3, 39].

Цинк в дистиллированной воде удовлетворительно стоек (скорость коррозии $0,1-0,7$ мм/год) при обычной температуре и температуре $90-100^{\circ}\text{C}$ [46, 68], в интервале температуры $60-70^{\circ}\text{C}$ скорость коррозии цинка увеличивается до $2,4-2,8$ мм/год [68]. В обессоленной воде ($\rho = 8-10$ МОм·см) при 20°C цинк подвергается питтинговой и язвенной коррозии со скоростью до $0,02$ мм/год [222].

Олово почти не корродирует в дистиллированной воде при температуре до 150°C [2, 40, 46] и в обессоленной воде ($\rho = 8-10$ МОм·см) при нормальной температуре [222].

Другие металлы. Серебро, платина, золото, тантал, ниобий обладают высокой коррозионной стойкостью в кипящей дистиллированной воде [2, 40]. Тантал стоек (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) в высокочистой воде при температуре до 175°C , цирконий остается стойким в дистиллированной воде до 300°C [3].

37.5. Сточная вода (стоки)

Сточные воды промышленных предприятий и коммунального хозяйства отличаются разнообразием состава, который формируется за счет примесей, характерных для данного производства.

Хозяйственно-бытовые, городские сточные воды образуются в результате использования подготовленной воды для хозяйственных нужд, а также как результат атмосферных осадков. Основные загрязнения таких стоков — механические, химические и микробиологические; основные примеси — взвешенные и коллоидные вещества, растворимые соли (хлориды, фосфаты, нитраты, нитриты и др.), органические соединения (красители, пестициды, продукты метаболизма), ПАВ, микроорганизмы. Эти сточные воды относительно слабо минерализованы и в коррозионном отношении слабоагрессивны.

Промышленные сточные воды образуются в результате применения технической воды для технологических нужд предприятий. При отсутствии систем замкнутого водооборота в стоки попадает вода, используемая для охлаждения оборудования, конденсат греющего и сокового пара и т.п., а также технологическая отработанная вода (маточные растворы, промывочная вода, адсорбционная вода после очистки отходящих газов и др.).

Охлаждающая вода и конденсат относятся к слабоминерализованной воде и могут содержать взвешенные вещества (в основном из частиц, попадающих с исходной водой, и частиц продуктов коррозии), растворимые соли (главным образом хлориды и сульфаты), растворимые примеси технологических продуктов, попадающие через неплотности в оборудовании. Эти стоки обладают низкой коррозионной активностью.

Технологическая вода, попадающая в промышленные стоки, как правило, является слабо- или среднеминерализованной, но в некоторых случаях содержание солей может быть весьма значительным (например, солесодержание маточных растворов может превышать 5 г/л). Основные загрязнения технологической воды — механические и химические; основные примеси — взвешенные, коллоидные и растворенные вещества.

Химический состав промышленных сточных вод может сильно изменяться в зависимости от направленности производства. Присутствие значительных количеств химических веществ в сточных водах резко увеличивает их коррозионную активность. Особенно агрессивны сточные воды предприятий химической промышленности. Такие сточные воды содержат как неорганические вещества (различные соли, кислоты, щелочи), так и разнообразные органические вещества (фенолы, красители, нитросоединения, альдегиды, кетоны, жирные кислоты, спирты и др.). В табл. 37.2 представлена усредненная характеристика сточных вод десятков химических производств, поступающих для отстаивания в пруд-накопитель.

Таблица 37.2. Усредненная характеристика сточных вод химических предприятий [223]

Показатель	Тип воды		
	кислая	нейтрализованная	щелочная
Содержание, г/л:			
Cl ⁻	6—24	~10	~2
SO ₄ ²⁻	17—50	~10	~10
SO ₃ ²⁻ (в пересчете на SO ₂)	0,02—0,1	~0,01	0,00
NH ₄ ⁺	0,3—2,9	~1,3	~0,1
Fe (общее)	0,1—0,3	~0,1	~0,1
группы NH ₂ (в пересчете на анилин)	0,5—1,5	~0,7	~5,0
кислоты (в пересчете на H ₂ SO ₄)	8—50	—	—
щелочи (в пересчете на Ca(OH) ₂)	—	~1,7	0,6
Величина pH	0,3—1,3	≥9	≥8

На коррозионное поведение металлических материалов в сточных водах наибольшее влияние оказывают содержание ионов Cl^- , SO_4^{2-} , SO_3^{2-} , NO_3^- , растворенного кислорода и органических соединений, а также температура, pH среды и скорость ее движения.

Кислотность промышленных сточных вод колеблется в широких пределах. Так, на предприятии по производству триацетилцеллюлозы промывные воды содержали до 300 мг/л уксусной кислоты. Кислотность сточных вод может достигать нескольких процентов в пересчете на серную кислоту. Кислые сточные воды оказывают более сильное разрушающее действие на конструкционные материалы, чем нейтральные и щелочные. В кислых водах коррозия углеродистых сталей может протекать при смешанной кислородно-водородной деполяризации. Присутствие в сточных водах легкоокисляющихся компонентов способствует поглощению кислорода и снижению эффективности катодного процесса. Органические вещества, адсорбируясь на поверхности металла, могут тормозить восстановление катионов водорода. По данным работы [223], при 20 °С в случае коррозии углеродистой стали в кислых сточных водах доля водородной деполяризации составляет лишь 9%. Для снижения агрессивности кислые воды нейтрализуют (обычно известковым молоком).

Разнообразие состава промышленных сточных вод не позволяет дать единые рекомендации по применению конструкционных материалов, поэтому представленные ниже данные относятся только к определенным сточным водам.

Промышленные сточные воды [224]

При температуре, соответствующей весенне-летнему периоду, сточные воды кислые и нейтрализованные 10%-ным известковым молоком содержат соответственно (г/л): Cl^- — 3,2—10,3 и 3,2—6,4; NO_3^- — 0,13 и 0,21; NH_4^+ — 0,26 и 0,66; нитросоединения 0,008—0,3 и 0,03—0,05; аминсоединения 0,17—0,4 и 0,24—0,36; фенолсодержащие вещества 0,007—0,028 и 0,009—0,036; сухой остаток 21,4—51 и 23,1—29,4; прокаленный остаток 12—24 и 14,4—19,6. Дихроматная окисляемость сточных вод составляет соответственно 3,2—11,3 и 4,9—9,1 г/л; значение pH 0,95—2,7 и 5,8—7,4. В нейтрализованных сточных водах все металлы и сплавы покрываются плотным слоем солевого осадка толщиной 1,5—2 мм.

Металлы и сплавы в указанных промышленных сточных водах имеют следующую коррозионную стойкость.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистая сталь Ст3 в кислых водах корродирует со скоростью 1,1—8,8 мм/год. В нейтрализованных водах углеродистые стали и серые чугуны стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год).

Высоколегированные стали. Хромистые стали 12Х13, 08Х17Т, 15Х25Т в кислых водах подвержены интенсивной (до 8,8 мм/год) неравномерной коррозии. В нейтрализованных водах на сталях возникают отдельные глубокие язвы со скоростью 2,6—6,8 мм/год.

Хромоникелевые стали 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т в кислых водах нестойки. При скорости общей коррозии менее 0,1 мм/год сталь 10Х17Н13М2Т подвержена точечно-язвенной коррозии со скоростью ~4,7 мм/год. В нейтрализованных водах указанные стали обладают высокой стойкостью (скорость коррозии <0,01 мм/год).

Двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т в кислых водах корродируют неравномерно. Наиболее интенсивная (межкристаллитная) коррозия стали 08Х22Н6Т происходит в зоне термического влияния около сварных швов. Кроме того, на сталях развивается точечно-язвенная коррозия со скоростью до 6,5 мм/год (при скорости общей коррозии стали 08Х21Н6М2Т менее 0,25 мм/год). В нейтрализованных водах на стали 08Х22Н6Т возникают глубокие язвы со скоростью 2,6—6,8 мм/год, в то время как сталь 08Х21Н6М2Т остается стойкой (скорость коррозии <0,01 мм/год).

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в кислых и нейтрализованных сточных водах стойки (скорость коррозии <0,01 мм/год).

Медь нестойка в кислых водах (скорость коррозии >1 мм/год), но остается стойкой в нейтрализованных сточных водах (скорость коррозии 0,1 мм/год).

Титан ВТ1-0 и титановый сплав АТ-3 в кислых и нейтрализованных водах обладают высокой стойкостью (скорость коррозии <0,01 мм/год).

Сточные воды химических предприятий [223]

В сточных водах химических предприятий (см. табл. 37.2), имеющих температуру 15—30 °С, металлы и сплавы обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в кислых сточных водах подвергаются сильной неравномерной коррозии. Скорость общей коррозии сталей 0,5—7,3 мм/год (в зависимости от интенсивности движения), чугунов — более 5 мм/год. Скорость локальной коррозии сталей более 12 мм/год. В нейтрализованных водах скорость коррозии углеродистых сталей 2 мм/год (при скорости локальной коррозии 6—8 мм/год), серых чугунов — 1 мм/год.

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3 в кислых водах корродируют со скоростью менее 0,4 мм/год, в нейтрализованных водах — со скоростью 0,01 мм/год.

Хромистый чугун ЧХ34 в кислых сточных водах нестойк, в нейтрализованных водах — стоек (скорость коррозии 0,2 мм/год).

Высоколегированные стали. Хромистые стали 08Х13, 08Х17Т, 15Х25Т в кислых перемешиваемых водах нестойки. В относительно спокойных водах скорость общей и локальной коррозии стали 08Х13 соответственно 0,8 и 7 мм/год, стали 15Х25Т — 0,1 и 1 мм/год. В кислых водах хромистые стали могут подвергаться коррозионному растрескиванию. В нейтрализованных водах хромистые стали корродируют со скоростью до 0,2 мм/год. При этом сталь 08Х13 подвергается местной коррозии со скоростью 3 мм/год.

Хромоникелевая сталь 12Х18Н10Т в кислых водах нестойка и подвержена коррозионному растрескиванию. Стали, дополнительно легированные молибденом (типа Х17Н13М2Т), корродируют со скоростью общей коррозии 0,6—1 мм/год, но также подвержены точечно-язвенной коррозии со скоростью более 2 мм/год. В спокойных кислых водах скорость коррозии таких сталей 0,1 мм/год, локальной коррозии — 1 мм/год. В нейтрализованных водах все указанные стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т обладают высокой стойкостью (скорость коррозии <0,04 мм/год).

Сталь 03Х21Н21М4ГБ в кислых водах стойка (скорость коррозии 0,1—0,2 мм/год), но подвержена локальной коррозии со скоростью 1—2 мм/год.

Двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т в кислых водах нестойки, и на них очень интенсивно развивается точечно-язвенная коррозия. В спокойных кислых водах скорость локальной коррозии сталей 1 мм/год. Кроме того, в кислых водах эти стали подвержены коррозионному растрескиванию. В нейтрализованных водах сталь 08Х22Н6Т корродирует со скоростью 0,1 мм/год при скорости локальной коррозии 1 мм/год, сталь 08Х21Н6М2Т остается стойкой (скорость коррозии 0,01 мм/год).

Сплав на железоникелевой основе 06ХН28МДТ в кислых и нейтрализованных сточных водах стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год), но в кислых водах на сплаве может развиваться точечно-язвенная коррозия со скоростью до 1 мм/год.

Никелевые сплавы. Сплав ХН78Т в кислых сточных водах нестойк (в спокойных водах скорость общей и локальной коррозии сплава соответственно 1,2 и 1 мм/год). В нейтрализованных водах сплав обладает очень высокой стойкостью (скорость коррозии 0,001 мм/год) и не подвержен локальной коррозии.

Монель-металл в движущихся кислых водах нестойк, в спокойных водах — стоек (скорость общей и локальной коррозии 0,2 мм/год). В нейтрализованных водах сплав сохраняет очень высокую стойкость (скорость коррозии 0,001 мм/год) и не подвержен локальной коррозии.

Медь удовлетворительно стойка в кислых водах (скорость коррозии 0,2—2 мм/год в зависимости от интенсивности движения). В нейтрализованных сточных водах скорость коррозии меди 0,3 мм/год.

Алюминий и дуралюмин нестойки в кислых сточных водах. В нейтрализованных сточных водах скорость общей коррозии этих материалов 0,9 мм/год, локальной коррозии — 4 мм/год.

Свинец удовлетворительно стоек в кислых сточных водах (скорость коррозии 0,1—0,4 мм/год) и в нейтрализованных водах (скорость коррозии 0,2 мм/год).

Титан ВТ1-0 и сплавы ОТ4-0, ВТ5-1, ВТ-14, АТ-3, АТ-6 в кислых и нейтрализованных сточных водах стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год).

В щелочных сточных водах все указанные выше металлы и сплавы стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год).

Сточные воды анилинокрасочных производств [225]

Сточные воды содержат (г/л): хлориды — 4,49; сульфаты — 5,52; аминокпродукты — 0,16; нитропродукты — 0,03; фенолсодержащие продукты — 0,04; сухой остаток — 58,3; прокаленный остаток — 43,7. Дихроматная окисляемость сточных вод 5,49 мг/л; значение рН 0,5—11, температура 2—5 °С. Ниже приведены данные по коррозионной стойкости некоторых металлов и сплавов в таких сточных водах.

Высоколегированные стали. Аустенитные хромоникелевые стали 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т и аустенитно-мартенситная сталь 09Х15Н8Ю — нестойки (скорость коррозии >1 мм/год).

Сплав на железоникелевой основе 06ХН28МДТ корродирует равномерно со скоростью менее 0,02 мм/год.

Бронза АЖМц 10-3-1,5 подвергается коррозии со скоростью 1,1 мм/год при точечно-язвенном и межкристаллитном характере разрушения.

Титан ВТ1-1 и сплавы ВТ5-1, ОТ4-1 обладают высокой стойкостью (скорость коррозии $< 0,01$ мм/год).

Сточные воды производства терефталевой кислоты [226]

Сточные воды этого производства в качестве основных загрязнений содержат уксусную кислоту и ее соли, терефталевую кислоту и промежуточные органические вещества (толуиловую, бензойную, изофталевую кислоты, ксилол и др.). При использовании метода биохимического окисления для очистки сточных вод в них добавляют фосфорную кислоту, аммиак, щелочь. Наибольшей агрессивностью обладают сточные воды в смесителях-усреднителях с рН 4—4,6 при температуре 30—40 °С, содержащие 7,2 г/л уксусной кислоты, 1,53 г/л терефталевой кислоты, 22 г/л уксуснокислого калия, 38 г/л уксуснокислого натрия, 5,27 г/л углекислого калия.

В сточных водах производства терефталевой кислоты металлические материалы имеют следующую коррозионную стойкость.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали в таких сточных водах нестойки. В процессе биологической очистки рН сточных вод возрастает до 7,5—8,5. В среде, моделирующей такие сточные воды (6,35 г/л уксуснокислого натрия; 3,7 г/л уксуснокислого калия; 1,22 г/л уксусной кислоты; 0,88 г/л углекислого калия; 0,23 г/л гидроксида аммония) при комнатной температуре углеродистая сталь корродирует со скоростью 0,003 мм/год, серый чугун — со скоростью 0,3—0,4 мм/год. При добавлении в среду небольшого (до 25%) количества ацетата кобальта скорость коррозии углеродистой стали возрастает до 0,16 мм/год.

Высоколегированные стали 08Х17Т, 08Х22Н6Т, 12Х18Н10Т в сточных водах данного производства обладают высокой стойкостью (скорость коррозии $< 0,002$ мм/год).

Алюминий АД1 в данных условиях стоек (скорость коррозии $< 0,05$ мм/год), но при добавлении в сточные воды неорганических кислот и щелочи для корригировки рН коррозия алюминия может значительно усилиться.

Сточные воды лесохимических производств [227]

Сточные воды содержат (мг/л): непредельные углеводороды — 1380; летучие кислоты — 2962; летучие фенолы — 44. Дихроматная окисляемость вод 1900 мг/л; значение рН 3,5—4, температура 40—50 °С.

Металлические материалы в таких сточных водах имеют следующую коррозионную стойкость.

Углеродистые стали — нестойки.

Медь — удовлетворительно стойка (скорость коррозии $< 0,8$ мм/год).

Высоколегированная сталь 12Х18Н10Т практически не подвергается коррозии в указанных сточных водах.

ГЛАВА 38. ГАЗЫ

Коррозия металлических материалов в газовых средах отличается рядом особенностей. В зависимости от температуры и присутствия влаги она может протекать как по химическому, так и по электрохимическому механизму. В со-

вершенно сухих газах при любой температуре или в сухих и влажных газах при достаточно высоких температурах, когда не могут конденсироваться содержащиеся в газах электролиты, газовая коррозия протекает по химическому механизму. При небольших температурах из влажных газов на металлической поверхности конденсируется влага, в которой растворяются газы и образуются электролиты. В этом случае процесс коррозии будет протекать по электрохимическому механизму с соответствующими кинетическими закономерностями.

Другая особенность газовой коррозии связана со способностью большинства газов при определенных условиях подвергаться термической диссоциации. Это обстоятельство необходимо учитывать, поскольку образующиеся продукты могут оказывать дополнительное влияние на коррозионные процессы.

Наконец, в зависимости от состава газовой среды и природы ее компонентов на металлической поверхности образуются продукты коррозии, обладающие разной защитной способностью, что существенным образом определяет скорость коррозии.

38.1. Аммиак — NH_3

В обычных условиях аммиак находится в газообразном состоянии, поскольку его температура кипения равна $-33,35^\circ\text{C}$. При небольшой температуре аммиак устойчив, но с увеличением температуры до $1200\text{--}1300^\circ\text{C}$ начинается диссоциация аммиака на водород и азот. При контакте с металлической поверхностью температура диссоциации значительно снижается. Заметная термическая диссоциация аммиака на алюминии, титане и меди происходит при температуре около 500°C , а на углеродистой стали и никеле — около 350°C . Термическая диссоциация аммиака, контактирующего со сплавом ХН78Т, при температуре 500°C составляет 6%, при 600°C — 30% [228].

В аммиаке азот имеет самую низкую степень окисления (-3), поэтому аммиак обладает только восстановительными свойствами. Недиссоциированный аммиак практически не взаимодействует с большинством металлов даже при высокой температуре. Возникающий при термической диссоциации атомарный азот реагирует с металлами, образуя нитриды. При температуре 400°C углеродистая сталь насыщается азотом на глубину 100 мкм, а при 600°C толщина азотированного слоя достигает 400 мкм, в результате чего металл охрупчивается и теряет прочностные свойства. Сталь 12Х18Н10Т при температуре 400°C увеличивает диссоциацию аммиака до 1%, что приводит к возникновению местных разрушений и резкому ухудшению механических свойств стали (особенно при температуре $500\text{--}600^\circ\text{C}$) [228]. Подобные явления могут иметь место на других металлах и сплавах. Кроме того, водород, образующийся при термической диссоциации аммиака, может проникать в металл, создавая опасность водородной хрупкости. Все это заметно ограничивает предельную температуру применения металлических материалов в газообразном аммиаке, так как существует соответствие между влиянием металлов на диссоциацию аммиака и их коррозионной стойкостью.

Металлы и сплавы в аммиаке имеют следующие коррозионные свойства.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали в сухом ($\leq 0,2\%$ H_2O) аммиаке при температуре $50^\circ C$ стойки (скорость коррозии $0,002$ мм/год). С повышением температуры скорость коррозии возрастает до $0,05$ — $0,1$ мм/год при $300^\circ C$ и до $0,3$ мм/год при $600^\circ C$ [1, 3, 228, 229].

Серые чугуны в сухом аммиаке стойки как при обычной температуре (скорость коррозии $0,004$ мм/год) [1, 229], так и при повышении температуры до $300^\circ C$ (скорость коррозии менее $0,05$ мм/год) [3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в сухом аммиаке стойки (скорость коррозии $< 0,05$ мм/год) при температуре до $250^\circ C$ [5, 59, 61].

Никелевые чугуны, содержащие 1 — 30% Ni, в аммиаке при обычной температуре обладают высокой стойкостью (скорость коррозии $< 0,05$ мм/год) [3, 229].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X13—X28 при температуре до $100^\circ C$ в сухом аммиаке стойки (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год) [1, 150, 229]. Такой же стойкостью обладает сталь 14X17H2 [46].

Аустенитные хромоникелевые стали типа X18H10T в сухом аммиаке стойки (скорость коррозии $< 0,05$ мм/год) до $300^\circ C$, при температуре до $400^\circ C$ скорость коррозии возрастает до $1,4$ — $1,7$ мм/год [1, 228, 229]. Стали типа X17H13M2T стойки (скорость коррозии менее $0,05$ мм/год) до $300^\circ C$, при $500^\circ C$ — корродируют со скоростью более $1,3$ мм/год [3].

Стали 10X23H18 и 12X17Г9АН4 при обычной температуре обладают высокой стойкостью в сухом аммиаке (скорость коррозии $< 0,001$ мм/год) [229].

Сталь 08X18Г8Н2Т при температуре до $100^\circ C$ в сухом аммиаке стойка (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год) [46].

Двухфазные стали 08X22H6Т, 08X21H6M2Т при $50^\circ C$ отличаются высокой стойкостью в сухом аммиаке (скорость коррозии $< 0,001$ мм/год) [1, 229].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в сухом аммиаке стойки (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год) до температуры $300^\circ C$ [1, 3].

Никель и сплавы никеля. Никель при обычной температуре во влажном ($> 1\%$) аммиаке подвергается заметной коррозии [5, 44, 68]. В сухом аммиаке при температуре 400 — $500^\circ C$ никель корродирует со скоростью менее $0,05$ мм/год. Однако при $400^\circ C$ начинается растрескивание никеля [228], а при 480 — $500^\circ C$ происходит азотирование металла [68], поэтому реально в сухом аммиаке никель остается стойким до $300^\circ C$ [3, 228].

Монель-металл во влажном аммиаке нестойк при обычной температуре [5, 68], в сухом аммиаке — стоек до $250^\circ C$ (скорость коррозии $< 0,05$ мм/год) [3].

Никельмолибденовые сплавы типа ХН65МВ, Н70МФВ стойки как во влажном, так и в сухом аммиаке [5, 68]. При температуре $500^\circ C$ скорость коррозии сплавов менее $0,02$ мм/год, но происходит азотирование металлической поверхности на глубину 30 — 50 мкм, и сплавы остаются стойкими до $400^\circ C$ [228] (по данным работы [3] — до $300^\circ C$).

Сплав ХН78Т в сухом аммиаке корродирует со скоростью $0,08$ мм/год при $500^\circ C$, со скоростью $0,12$ мм/год — при $600^\circ C$ [228].

Медь и медные сплавы при нормальной температуре нестойки во влажном аммиаке [5, 44]. В сухом аммиаке при $50^\circ C$ медь корродирует со скоростью $0,1$ мм/год, бронзы — со скоростью менее $0,05$ мм/год (свинцовистые брон-

зы — до 0,2 мм/год [229]), латуни — со скоростью не более 0,1 мм/год [1, 3, 229]. При повышении температуры до 400—500 °С медь остается стойкой (скорость коррозии <0,05 мм/год), но снижаются (~ в 1,5 раза) прочностные свойства металла [228].

Алюминий и его сплавы стойки в сухом и влажном аммиаке [5]. При температуре 50—100 °С скорость коррозии алюминия и сплавов (АМц, АМг, Д1, АЛ4 и др.) не более 0,03 мм/год [1, 3, 229]. При повышении температуры до 300—500 °С алюминий практически не подвергается коррозии [4, 228].

Свинец при 100 °С во влажном аммиаке удовлетворительно стоек (скорость коррозии <0,5 мм/год) [229], в сухом — стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) [3]. При температуре 300 °С свинец практически не корродирует [1, 61, 229].

Титан в сухом аммиаке стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 75 °С [1, 3, 229]. При температуре 600 °С титан корродирует со скоростью 0,07—0,14 мм/год, но при 500 °С в металле появляются отдельные трещины, поэтому его можно применять до 450 °С [39, 228].

Другие металлы. Вольфрам в аммиаке стоек до 650—750 °С [2, 46]; цирконий — до 1000 °С [83].

Серебро при нормальной температуре во влажном аммиаке нестойко [5], в сухом — стойко (скорость коррозии <0,1 мм/год) [3, 229].

Золото, платина в аммиаке при высокой температуре подвергаются расщеплению [2, 46]. При температуре 300—350 °С происходит азотирование поверхности платины, и скорость коррозии превышает 2,4 мм/год [3].

В табл. 38.1 приведена предельная температура применения некоторых металлов и сплавов в аммиаке, при которой они сохраняют достаточную коррозионную стойкость.

Таблица 38.1. Предельная температура применения металлов и сплавов в аммиаке

Металлы и сплавы	Температура, °С (ориентировочно)	Источник
Алюминий	150—200	[1, 59, 228]
Вольфрам	650	[46]
Медь	350—450	[1, 3, 228]
Монель-металл	250	[3]
Никель	300	[3, 228]
Свинец	200	[2, 3, 228, 229]
Сплав:		
типа ХН28МДТ	300	[3]
ХН65МВ, Н70МФВ	300—400	[3, 228]
ХН78Т	500—600	[228]
Сталь:		
углеродистая	300	[1, 3]
10	400	[228]
типа Х18Н10Т	300	[1, 3, 228]
типа Х17Н13М2Т	300	[3]

Металлы и сплавы	Температура, °С (ориентировочно)	Источник
Титан ВТ1-0, ВТ1-1	350	[1, 2, 39, 228]
Цирконий	1000	[83]
Чугун:		
кремнистый ЧС15, ЧС17	250	[59]
серый	300	[3]

38.2. Бромоводород — НВг

При нормальных условиях бромоводород находится в газообразном состоянии, так как температура кипения его равна $-66,77^\circ\text{C}$. Прочность химической связи в молекулах бромоводорода ниже, чем у других галогеноводородов (кроме иодоводорода), что снижает его устойчивость при нагревании (степень термической диссоциации при 1000°C достигает 0,5%). В химическом отношении бромоводород обладает восстановительными свойствами.

Металлы и сплавы в бромоводороде имеют следующую коррозионную стойкость.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали в сухом бромоводороде при обычной температуре удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год), при 100°C — нестойки [1, 3].

Серые чугуны в сухом бромоводороде стойки при нормальной температуре (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в сухом бромоводороде при обычной температуре стойки (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год), при температуре 100°C — нестойки [1, 3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13 в сухом бромоводороде нестойки при нормальной температуре [1].

Аустенитные хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в сухом бромоводороде при обычной температуре стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [48], при температуре 100°C стали типа Х18Н10Т нестойки [3].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в сухом бромоводороде при обычной температуре стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [48].

Никель и сплавы никеля. Никель в сухом бромоводороде при обычной температуре корродирует со скоростью 0,1 мм/год [48] (по другим данным [1], скорость коррозии до 1 мм/год). Согласно справочным данным [40], никель стоек до 200°C .

Никельмолибденовые сплавы ХН65МВ, Н70МФВ в сухом бромоводороде при нормальной температуре стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1, 44], при 100°C — корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Медь при обычной температуре в сухом бромоводороде стойка (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1, 40].

Алюминий в сухом бромоводороде при 20°C стоек (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [40], при 100°C — нестойк [3].

Свинец и его сплавы с сурьмой при повышении температуры до 100 °С в сухом бромоводороде нестойки [3, 40].

Тантал в сухом бромоводороде сохраняет стойкость (скорость коррозии < 0,05 мм/год) при температуре до 370 °С [3, 10] (по данным справочника [1], до 150 °С).

Серебро нестойко в сухом бромоводороде [1, 61].

38.3. Водород — H₂

При обычных условиях водород — бесцветный газ с очень малой плотностью (0,09 г/л). В свободном состоянии водород встречается крайне редко [содержание водорода в атмосфере < 10⁻⁴% (ат.)]. Температура кипения жидкого водорода при нормальном давлении — 252,6 °С.

При высокой температуре молекулярный водород диссоциирует на атомы. Степень диссоциации при давлении 0,1 МПа и температуре 2000 °С составляет 0,1%; при 3000 °С — 9%; при 4000 °С — 62,5%. Адсорбируясь на металлической поверхности, молекулярный водород может диссоциировать на атомы даже при относительно небольшой температуре (200—300 °С). Это приводит к процессу проникновения (растворения) газа в металле. Температура, при которой начинается заметная диффузия водорода, понижается с увеличением давления газа. Легкость диффузии водорода в большинство металлов связана с малыми размерами его атомов по сравнению с параметрами кристаллической решетки металлов. В сталях аустенитного класса водорода растворяется примерно в 4 раза больше, чем в углеродистых сталях, и примерно в 6 раз больше, чем в сталях ферритно-мартенситного класса [206]. Концентрация газа, растворенного в металле, зависит от давления и температуры в системе (рис. 38.1).

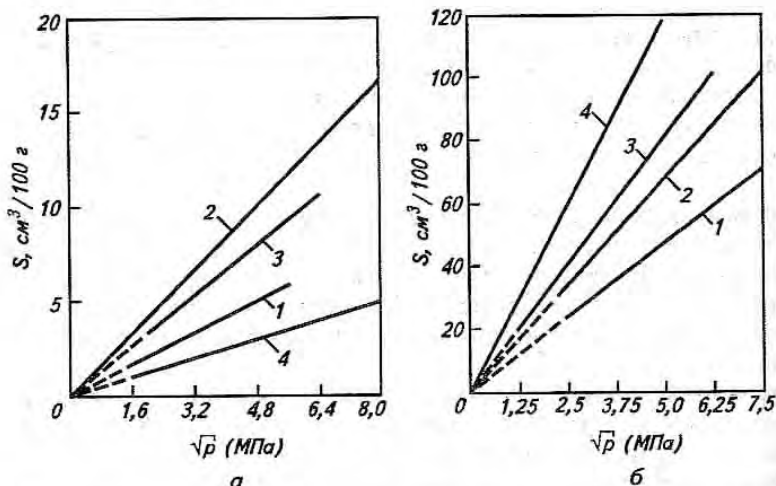
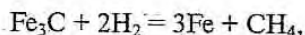


Рис. 38.1. Влияние давления и температуры на растворимость водорода в сталях [206]:
 а — при 500 °С: 1 — сталь 20; 2 — 30ХМА и 12МХ; 3 — 12Х2МФБ; 4 — 20Х13; б — сталь 12Х18Н10Т: 1 — 300 °С; 2 — 500 °С; 3 — 700 °С; 4 — 900 °С

В химическом отношении водород является восстановителем, но при обычных условиях молекулярный водород сравнительно малоактивен. При повышении температуры водород вступает в реакции со многими элементами (например, отнимая кислород, восстанавливает металлы из оксидов). Водород непосредственно реагирует со щелочными, щелочноземельными, редкими и некоторыми другими металлами с образованием гидридов, в которых он проявляет отрицательную валентность.

Атомарный водород обладает повышенной химической активностью по сравнению с молекулярным водородом и легко вступает во взаимодействие с металлами и компонентами сплавов (водородная коррозия). В сталях диффундирующий водород разрушает их карбидную составляющую по суммарной реакции:



что приводит к обезуглероживанию сталей. Из-за больших размеров молекулы образующегося метана не могут диффундировать внутри металла и скапливаются в дефектах кристаллической решетки. Возникающее давление газа вызывает растрескивание металла (главным образом по границам зерен). Поэтому процесс водородной коррозии сопровождается снижением прочностных свойств (особенно пластичности) металла.

Для увеличения стойкости сталей при повышенной температуре в среде газообразного водорода их легируют сильными карбидообразующими элементами (хромом, молибденом, ванадием, титаном и др.). Образование карбидов, более устойчивых к действию водорода, позволяет существенно повысить температуру применения сталей (рис. 38.2).

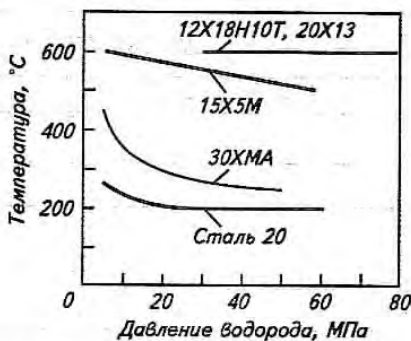


Рис. 38.2. Влияние давления водорода на допустимую температуру применения сталей [206]

Некоторые металлы (титан, ванадий, хром и др.), взаимодействуя с диффундирующим водородом, легко образуют гидриды. Например, титан и ниобий образуют гидриды при температуре выше 250 °C [10, 131]. Такие гидриды отличаются высокой хрупкостью, что резко снижает возможность применения металлов в водородсодержащих средах при повышенных температурах.

Максимально допустимая температура применения сталей в среде газообразного водорода снижается при увеличении давления (табл. 38.2). Если

стали в водородсодержащей среде не подвергаются водородной коррозии при повышенных температурах и давлениях, то для таких сталей можно использовать данные по их жаростойкости и жаропрочности на воздухе. Предельные значения температуры и давления при применении цветных металлов и сплавов в водородсодержащих средах существенно зависят от содержания кислорода в металле и продолжительности использования материала (табл. 38.3).

Таблица 38.2. Предельная температура (°С) применения сталей в водородсодержащих средах [230]

Сталь	Парциальное давление водорода, МПа												
	0,1	1,6	2,5	5,0	10	15	20	30	40	50	60	70	80
Ст3сп, Ст3, Ст4, Ст5	260	250	240	225	Применять не рекомендуется								
05, 08, 10, 20, 25, 15К, 20К, 22К, 16ГС, 09Г2С, 10Г2С1	—	290	280	260	230	220	210	200	190	185	180	175	170
30ХМА, 12МХ, 12ХМ, 15ХМ, 12Х1МФ	—	475	450	400	345	310	290	250	235	220	205	195	190
12Х2МФСР, 15Х1М1Ф	600	—	—	—	380	330	325	320	310	300	—	—	280
12Х2МФБ, 25Х2М1Ф, 22Х3М	600	—	—	—	550	—	—	—	—	—	—	—	400
18Х3МВ	—	—	—	—	—	—	—	480	—	—	—	400	—
20Х3МВФ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	510	—
15Х5М, 15Х5М-У, 15Х5ВФ, 15Х5ВФ-У	—	—	—	—	590	580	570	550	540	525	510	—	—
Х8, 12Х8ВФ, Х9М	—	—	—	—	—	—	—	565	—	—	—	—	—
08Х13, 12Х13, 20Х13, 30Х13, 12Х12В2МФ, 15Х12ВНМФ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	600
08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т, 12Х18Н12Т, 10Х17Н13М2Т	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	600
20Х25Н20С2, 40Х25Н20С2	—	—	—	—	800	—	—	—	—	—	—	—	—
Ст3 + 08Х13, Ст3 + 12Х18Н10Т, 20К + 08Х13, 20К + 10Х17Н13М2Т, 12МХ + 08Х13, 16ГС + 08Х13, 16ГС + 12Х18Н10Т	—	—	—	530	480	—	—	430	—	—	420	—	—

Таблица 38.3. Предельные условия применения цветных металлов и сплавов в водородсодержащих средах [206]

Металлы и сплавы	Условия применения
Алюминий и его сплавы	До 100 МПа без ограничений
Вольфрам	То же
Магний и его сплавы	То же
Медь и ее сплавы	До 100 МПа и 500 °С при содержании кислорода в металле менее 0,001% (масс.) До 100 МПа и 400 °С при содержании кислорода в металле менее 0,01% (масс.)
Молибден и его сплавы	До 100 МПа без ограничений (по данным работы [83] — до 2200 °С)
Никель	До 600 °С при давлении 0,1 МПа и содержании в металле кислорода менее 0,0004% (масс.)
Сплав 51% Ni; 49% Fe	То же
Сплавы Ni—Cu	То же (по данным работы [62], монель-металл до 350 °С)
Ниобий и его сплавы	До 250 °С и выше 1000 °С при давлении до 10 МПа и кратковременном использовании (до 50 ч)
Олово и его сплавы	До 100 МПа без ограничений
Свинец и его сплавы	То же
Серебро	До 1 МПа и 500 °С при содержании кислорода в металле менее 0,001% (масс.)
Тантал	До 300—350 °С и выше 800 °С [10, 62]
Титан и его сплавы	До 10 МПа и 250 °С при использовании до 100 ч
BT1, OT4, AT2, CT1	До 10 МПа и 300 °С при использовании до 30 ч [231]
Хром и его сплавы	До 100 МПа без ограничений
Цирконий	До 350 °С [229] (по данным работы [83] — до 200 °С)

38.4. Воздух

Воздух является смесью разных газов, из которых на коррозионные процессы наибольшее влияние оказывают кислород, пары воды и некоторые примесные газы. Кислород обеспечивает окисление металлов, а пары воды, конденсируясь, образуют электролит и переводят химическую коррозию в электрохимическую. Примеси других газов (оксиды серы, азота, углерода и т.п.), как правило, вызывают в той или иной степени усиление коррозионного разрушения металлов.

При небольших температурах из-за наличия пленки электролита на корродирующей поверхности металлы подвергаются атмосферной коррозии, при больших температурах имеет место газовая высокотемпературная коррозия.

38.4.1. Атмосферная коррозия

Атмосферная коррозия протекает по электрохимическому механизму под адсорбционной или фазовой пленкой влаги. На скорость атмосферной корро-

зии кроме влажности и температуры большое влияние оказывает состав атмосферы. По коррозионной активности атмосферы можно разделить на следующие основные типы: морскую, промышленную, тропическую, арктическую, городскую и сельскую [232].

Для морской атмосферы характерна повышенная влажность и присутствие значительного количества солей. Промышленная атмосфера отличается высоким содержанием солей и газов (SO_2 , H_2S , NH_3 , NO_2 и др.), способствующих образованию на металлической поверхности высокоагрессивных электролитов. Это особенно характерно для атмосферы химических предприятий. Городская атмосфера, прежде всего, содержит выбросы промышленных предприятий и продукты сгорания топлива, используемого городским транспортом. Сельская атмосфера в наименьшей степени загрязнена агрессивными компонентами и оказывает слабое воздействие на металлические материалы.

В зависимости от состава атмосферы и условий скорость атмосферной коррозии может существенно различаться. Поэтому металл, обладающий достаточной коррозионной стойкостью в одной атмосфере, может оказаться менее стойким в другом месте. К сталям, наиболее стойким к атмосферной коррозии, можно отнести низколегированные стали 15ХГ2СФМР, 10ХНДЦ, 10ХГН, 10ХСНД, 10Г2СД и др.

Считается [233], что при скорости атмосферной коррозии, равной 3—5 мкм/год, металлические материалы можно использовать без дополнительной окраски. В табл. 38.4 приведены усредненные скорости атмосферной коррозии некоторых металлов и сплавов.

Таблица 38.4. Скорость атмосферной коррозии (мкм/год) металлов и сплавов [2, 5, 10, 131, 234]

Металлы и сплавы	Атмосфера			
	морская	промышленная	городская	сельская
Алюминий	0,6—0,7	0,75—0,8 (>1000 ¹)	0,75—0,8	0,03—0,08
Бронза	1—2,1	1,4—1,5	1,6—6,2	0,15—0,8
Латунь	1,3—11,5	1,3—11,5	4,5—11,5	0,1—0,8
Медь	1,3—2,6	0,9—3,8 (100—1000 ¹)	0,9—3,8	0,05—1
Монель-металл	0,15—1,1	1—1,6 (<100 ¹)	0,3—1,6	0,05—0,35
Никель	0,1—0,15	3,3—4,1 (<100 ¹)	1—3,6	0,03—0,23
Олово	1,8—2,8	1,1—1,8	1,2—1,3	0,35—0,5
Свинец	0,4—0,8	0,4—0,7	0,4—0,45	0,35—0,5
Свинец сурьмянистый	0,13—0,6	≤0,53	≤0,3	—
Сплав 06ХН28МДТ ²	<1	<1	—	1—5
Сталь:				
медистая (0,2—0,4% Cu)	≤20	2,3—60	≤2,3	—
углеродистая	≤60	11—130 (>1000 ¹)	7,6—12,2	≤9,6
08Х13 ²	100—150	1000—5000	—	10—50
12Х17 ²	50—100	100—500	—	5—10
15Х25Т ²	10—50	5—10	—	1—5

Металлы и сплавы	Атмосфера			
	морская	промышленная	городская	сельская
12X18H10T ²	1—5	1—5 (>100 ¹)	—	1—5
10X17H13M2T ²	1—1,3	0,3—1	—	1—5
08X22H6T ²	1—5	1—5	—	—
08X21H6M2T ²	<1	<1	—	—
Титан	~0	0,08	—	—
Цинк	1,3—10,9	2,8—20	4,5—7,1	0,2—1,1
Чугун:				
серый	10—83	42—83	58—88	3,8—9,6
никелевый (14—32% Ni)	≤3	—	—	—

¹ Атмосфера химических предприятий;

² возможна локальная коррозия.

38.4.2. Высокотемпературная коррозия

Газовая коррозия металлов на воздухе при высокой температуре сопровождается образованием соответствующих оксидов, которые в значительной степени определяют жаростойкость металлов. Легирование металлов элементами, способствующими образованию пленок с более высокими защитными свойствами, значительно увеличивает жаростойкость сплавов. В табл. 38.5 ориентировочно представлены максимальные температуры сохранения устойчивости на воздухе некоторых металлов и сплавов (подробнее см. ч. 2).

Таблица 38.5. Предельная температура применения металлов и сплавов на воздухе [130, 235, 236]

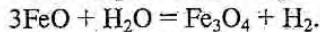
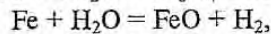
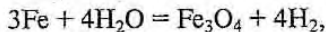
Металлы и сплавы	Температура, °C (ориентировочно)	Примечание
Алюминий	150	
Бронза (кремнистая, алюминиевая)	800	[68]
Дуралюмин Д16	80—150	
Латунь	400	[162]
Медь	450	400 °C [229]
Мельхиор (70% Cu — 30% Ni)	350	600 °C [229]
Молибден	370	[10]
Монель-металл	540	700 °C [62, 229]
Никель	550	800—875 °C [131]
Ниобий	300—400	[10]
Платина	900	
Сплав:		
АМц	100—150	
ХН78Т	1000—1100	[27]

Металлы и сплавы	Температура, °С (ориентировочно)	Примечание
Сталь:		
углеродистая	450—500	575—600 °С [1]
15Х5М	600—650	
08Х13	500—650	
12Х17	850—875	
15Х25Т, 15Х28	1050—1150	
12Х18Н10Т	600—800	
10Х17Н13М2Т	700—900	800—850 °С [237]
20Х23Н18	1050	
Тантал	250	[62, 131]
Титан ВТ1-0, ВТ1-1	350	450 °С [131]
Хром	900	
Цирконий	400	[83]
Чугун:		
серый	250—450	
хромистый ЧХ28, ЧХ34	1100—1150	

38.5. Водяной пар — H₂O

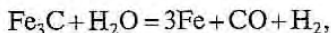
Обычно применяют водяной пар с температурой до 500—600 °С при давлении до 20—30 МПа. При высокой температуре пар может оказывать различное воздействие на металлические материалы.

С железом водяной пар вступает в реакции:



При температуре ниже 427 °С устойчив только оксид Fe₃O₄, при более высокой температуре — только FeO. Температура, при которой начинается реакция взаимодействия водяного пара с железом, зависит от материала и состояния его поверхности и находится в интервале температур 410 °С (для чистого железа) — 780 °С (для хромоникелевой стали) [68]. Со временем выделение водорода снижается, так как на поверхности металла образуется защитный слой оксидов. Этот слой создает возможность эксплуатировать стали в водяном паре при высокой температуре.

В результате взаимодействия водяного пара со сталями может происходить обезуглероживание металла, в основе которого лежит процесс восстановления цементита:



что приводит к снижению механической прочности металла.

Выделяющийся при коррозии водород может растворяться в металле и вызывать его охрупчивание. Это необходимо учитывать при использовании металлических материалов для конструкций, эксплуатируемых в водяном паре при повышенном давлении.

Кроме того, водяной пар, движущийся с большой скоростью, оказывает ударное (коррозионно-кавитационное) воздействие на металлическую поверхность. В этом случае большое значение имеет размер водных капель, находящихся в паре.

В табл. 38.6 ориентировочно приведены максимальные температуры сохранения устойчивости некоторых металлов и сплавов в водяном паре.

Таблица 38.6. Предельная температура применения металлов и сплавов в водяном паре

Металлы и сплавы	Температура, °С (ориентировочно)	Источник
Бронза*	250—300	[62, 68, 130]
Латунь*	200—300	[62, 68, 130]
Мельхиор (70% Cu — 30% Ni)*	350	[62]
Молибден	650	[10]
Монель-металл*	350—400	[62, 68]
Никель	350—450	[62, 68]
Сталь:		
12Х1МФ, 12Х2МФБ	570	[229]
12Х18Н10Т*, 10Х17Н13М2Г	600—650	[45, 229]
08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Г	300	[229]
Тантал*	300—350	[62, 130]
Титан	350—400	[10]

* Возможно растрескивание.

Металлы и сплавы в водяном паре обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые стали в водяном паре обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии <0,2 мм/год) до температуры 280 °С. При повышении температуры до 500 °С скорость коррозии может возрастать до 0,5 мм/год [229].

Низколегированные стали 15Х, 15ХМ в водяном паре стойки до 500—600 °С (скорость коррозии <0,08 мм/год) [229].

Среднелегированные стали типа Х5М в водяном паре при температуре до 500 °С корродируют со скоростью ~0,1 мм/год, при 600 °С — со скоростью до 1,1 мм/год [229] (по данным работы [45] — до 0,25 мм/год).

Стали 15Х11МФ, 18Х11МНФБ в водяном паре стойки до 500 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год), при температуре 600 °С — корродируют со скоростью 0,9 мм/год [229].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13 в водяном паре до 300 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [150, 229] (по данным рабо-

ты [2], скорость коррозии 0,5—1 мм/год), при 650 °С — корродируют со скоростью до 0,9 мм/год [229].

Стали типа X17 остаются стойкими до 300 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [150] (по данным работы [2], скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год), при температуре 600 °С — скорость коррозии до 0,4 мм/год [229].

Стали типа X25 в водяном паре сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год) при температуре до 300 °С [2].

Аустенитные хромоникелевые стали типа X18H10T, X17H13M2T в водяном паре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры 600—650 °С [45, 229].

Двухфазные стали 08X22H6T и 08X21H6M2T в водяном паре при температуре до 300 °С корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [229].

Сплавы на железоникелевой основе 03XH28MДТ, 06XH28MДТ в водяном паре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 300 °С [2], сплав ХН32Т и сплавы типа ХН40МДБ — до 600 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [229].

Никель и сплавы никеля применимы в водяном паре при температуре 350—450 °С, но могут подвергаться растрескиванию [10, 62].

Монель-металл в водяном паре при температуре 280 °С обладает высокой стойкостью (скорость коррозии <0,02 мм/год) [229].

Медь и медные сплавы удовлетворительно стойки в сухом и влажном паре при низкой скорости движения пара [5], но с увеличением скорости движения разрушение металлов усиливается. При температуре 260 °С скорость коррозии оловянистой бронзы возрастает от 0,003 до 0,9 мм/год [5, 234]. Кремнистые и марганцовистые бронзы при 270 °С стойки (скорость коррозии 0,15 мм/год) [68].

Мельхиор (70% Cu — 30% Ni) в перегретом паре корродирует со скоростью 1,2 мм/год [68]. В перегретом паре медь и сплавы Cu—Ni охрупчиваются.

38.6. Дымовые газы

Дымовые газы, образующиеся при сгорании топлива, имеют переменный состав, зависящий от используемого топлива и соотношения с воздухом. Обычно дымовые газы содержат CO₂, CO, O₂ (при избытке воздуха), N₂, H₂, пары воды, серосодержащие соединения. Дымовые газы, не содержащие кислород, образуют восстановительную атмосферу, а не содержащие H₂ и CO — окислительную атмосферу. С повышением температуры диоксид углерода становится более сильным окислителем.

В среде дымовых газов металлы могут подвергаться окислению, азотированию, науглероживанию, сульфурации (насыщению серой). Сульфурация особенно возможна при неполном сгорании топлива.

Коррозионная агрессивность продуктов сгорания топлива зависит от содержания в нем серы и возможности образования золы. Все виды топлива можно разделить на три группы [237]:

- практически не содержащие серу и не образующие при сгорании золу;
- содержащие серу и образующие после сгорания только газообразные продукты;
- содержащие серу и образующие при сжигании золу.

При неполном сгорании топлива первой группы газообразные продукты содержат CO_2 , CO , H_2O , H_2 , N_2 , при полном сгорании — CO_2 , H_2O , O_2 , N_2 . Продукты сгорания топлива второй группы при недостатке воздуха содержат CO_2 , CO , H_2O , H_2 , H_2S , S , COS , SO_2 , N_2 , при избытке воздуха — CO_2 , H_2O , O_2 , N_2 , SO_2 , SO_3 . Топливо третьей группы образует такие же газообразные продукты сгорания, как и топливо второй группы, но дополнительно еще и золу.

Коррозионное действие золы связано с образованием низкоплавких эвтектик, а также с возникновением сульфатов и хлоридов щелочных металлов, разрушающих защитную оксидную пленку. Коррозионные повреждения при сгорании углей вызываются в основном сульфатами, а при сгорании сланцев — хлоридами щелочных металлов. Кроме того, определенное участие в коррозионных процессах принимают дисульфаты $(\text{Na}, \text{K})_2\text{S}_2\text{O}_7$, имеющие температуру плавления около 400°C [213]. При сгорании нефтяного топлива (мазут и др.) отложения золы могут содержать соединения ванадия, что приводит к возникновению ванадиевой коррозии.

Наибольшее влияние на коррозионное поведение металлических материалов в дымовых газах оказывает содержание серы в топливе. Все дымовые газы содержат соединения серы в виде сернистого газа или сероводорода. Образующийся диоксид серы менее агрессивен, чем сероводород, и в окислительной атмосфере дымовых газов, содержащих серу в виде SO_2 , коррозия сплавов $\text{Ni}-\text{Cr}-\text{Fe}$ ($\geq 20\%$ Ni) протекает подобно окислению металла на воздухе. При этом увеличение содержания серы до 24 г/м^3 практически не влияет на коррозию. В восстановительной атмосфере количество серы очень важно для коррозии, особенно для сплавов, содержащих никель и менее 16% хрома. Так, для сплава 20% Ni—11% Cr—Fe повышение содержания серы в газе от 1,2 до 24 г/м^3 увеличивает скорость коррозии в 30 раз [45].

Наличие соединений серы в дымовых газах снижает температуру применения металлов и сплавов на $100-200^\circ\text{C}$ по сравнению с воздухом (табл. 38.7). При температуре выше 900°C все жаропрочные сплавы подвергаются сульфурации [150].

Таблица 38.7. Предельная температура применения сталей и сплавов в продуктах сгорания топлива

Стали и сплавы	Температура, $^\circ\text{C}$ (ориентировочно)	Источник
Сталь 10	400—450	[213, 237]
Сталь 20	450—500	[229, 237]
12ХМ, 12МХ, 15ХМ	530—550	[237]
2Х1МФ, 12Х2МФСР	540*—595	[213, 237]
12Х2МФБ	545*—605	[213, 237]
12Х11В2МФ, 12Х12В2МФ	560*—660	[213, 237]
Стали:		
8—10% Cr, 3—4% Si	900	[62]
40Х9С2	1000	[229]
45Х14Н14В2М	800—850	[229]
12Х18Н10Т, 12Х18Н12Т	585*—640	[213, 237]

зии кроме влажности и температуры большое влияние оказывает состав атмосферы. По коррозионной активности атмосферы можно разделить на следующие основные типы: морскую, промышленную, тропическую, арктическую, городскую и сельскую [232].

Для морской атмосферы характерна повышенная влажность и присутствие значительного количества солей. Промышленная атмосфера отличается высоким содержанием солей и газов (SO_2 , H_2S , NH_3 , NO_2 и др.), способствующих образованию на металлической поверхности высокоагрессивных электролитов. Это особенно характерно для атмосферы химических предприятий. Городская атмосфера, прежде всего, содержит выбросы промышленных предприятий и продукты сгорания топлива, используемого городским транспортом. Сельская атмосфера в наименьшей степени загрязнена агрессивными компонентами и оказывает слабое воздействие на металлические материалы.

В зависимости от состава атмосферы и условий скорость атмосферной коррозии может существенно различаться. Поэтому металл, обладающий достаточной коррозионной стойкостью в одной атмосфере, может оказаться менее стойким в другом месте. К сталям, наиболее стойким к атмосферной коррозии, можно отнести низколегированные стали 15ХГ2СФМР, 10ХНДЦ, 10ХГН, 10ХСНД, 10Г2СД и др.

Считается [233], что при скорости атмосферной коррозии, равной 3—5 мкм/год, металлические материалы можно использовать без дополнительной окраски. В табл. 38.4 приведены усредненные скорости атмосферной коррозии некоторых металлов и сплавов.

Таблица 38.4. Скорость атмосферной коррозии (мкм/год) металлов и сплавов [2, 5, 10, 131, 234]

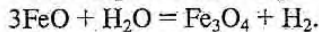
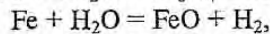
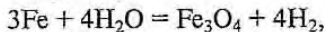
Металлы и сплавы	Атмосфера			
	морская	промышленная	городская	сельская
Алюминий	0,6—0,7	0,75—0,8 (>1000 ¹)	0,75—0,8	0,03—0,08
Бронза	1—2,1	1,4—1,5	1,6—6,2	0,15—0,8
Латунь	1,3—11,5	1,3—11,5	4,5—11,5	0,1—0,8
Медь	1,3—2,6	0,9—3,8 (100—1000 ¹)	0,9—3,8	0,05—1
Монель-металл	0,15—1,1	1—1,6 (<100 ¹)	0,3—1,6	0,05—0,35
Никель	0,1—0,15	3,3—4,1 (<100 ¹)	1—3,6	0,03—0,23
Олово	1,8—2,8	1,1—1,8	1,2—1,3	0,35—0,5
Свинец	0,4—0,8	0,4—0,7	0,4—0,45	0,35—0,5
Свинец сурьмянистый	0,13—0,6	≤0,53	≤0,3	—
Сплав 06ХН28МДГ ²	<1	<1	—	1—5
Сталь:				
медистая (0,2—0,4% Cu)	≤20	2,3—60	≤2,3	—
углеродистая	≤60	11—130 (>1000 ¹)	7,6—12,2	≤9,6
08Х13 ²	100—150	1000—5000	—	10—50
12Х17 ²	50—100	100—500	—	5—10
15Х25Т ²	10—50	5—10	—	1—5

Металлы и сплавы	Температура, °С (ориентировочно)	Примечание
Сталь:		
углеродистая	450—500	575—600 °С [1]
15Х5М	600—650	
08Х13	500—650	
12Х17	850—875	
15Х25Т, 15Х28	1050—1150	
12Х18Н10Т	600—800	
10Х17Н13М2Т	700—900	800—850 °С [237]
20Х23Н18	1050	
Тантал	250	[62, 131]
Титан ВТ1-0, ВТ1-1	350	450 °С [131]
Хром	900	
Цирконий	400	[83]
Чугун:		
серый	250—450	
хромистый ЧХ28, ЧХ34	1100—1150	

38.5. Водяной пар — H₂O

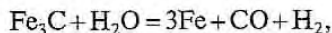
Обычно применяют водяной пар с температурой до 500—600 °С при давлении до 20—30 МПа. При высокой температуре пар может оказывать различное воздействие на металлические материалы.

С железом водяной пар вступает в реакции:



При температуре ниже 427 °С устойчив только оксид Fe₃O₄, при более высокой температуре — только FeO. Температура, при которой начинается реакция взаимодействия водяного пара с железом, зависит от материала и состояния его поверхности и находится в интервале температур 410 °С (для чистого железа) — 780 °С (для хромоникелевой стали) [68]. Со временем выделение водорода снижается, так как на поверхности металла образуется защитный слой оксидов. Этот слой создает возможность эксплуатировать стали в водяном паре при высокой температуре.

В результате взаимодействия водяного пара со сталями может происходить обезуглероживание металла, в основе которого лежит процесс восстановления цементита:



что приводит к снижению механической прочности металла.

ты [2], скорость коррозии 0,5—1 мм/год), при 650 °С — корродируют со скоростью до 0,9 мм/год [229].

Стали типа X17 остаются стойкими до 300 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [150] (по данным работы [2], скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год), при температуре 600 °С — скорость коррозии до 0,4 мм/год [229].

Стали типа X25 в водяном паре сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год) при температуре до 300 °С [2].

Аустенитные хромоникелевые стали типа X18H10T, X17H13M2T в водяном паре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры 600—650 °С [45, 229].

Двухфазные стали 08X22H6T и 08X21H6M2T в водяном паре при температуре до 300 °С корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [229].

Сплавы на железоникелевой основе 03XH28MДТ, 06XH28MДТ в водяном паре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 300 °С [2], сплав ХН32Т и сплавы типа ХН40МДБ — до 600 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [229].

Никель и сплавы никеля применимы в водяном паре при температуре 350—450 °С, но могут подвергаться растрескиванию [10, 62].

Монель-металл в водяном паре при температуре 280 °С обладает высокой стойкостью (скорость коррозии <0,02 мм/год) [229].

Медь и медные сплавы удовлетворительно стойки в сухом и влажном паре при низкой скорости движения пара [5], но с увеличением скорости движения разрушение металлов усиливается. При температуре 260 °С скорость коррозии оловянистой бронзы возрастает от 0,003 до 0,9 мм/год [5, 234]. Кремнистые и марганцовистые бронзы при 270 °С стойки (скорость коррозии 0,15 мм/год) [68].

Мельхиор (70% Cu — 30% Ni) в перегретом паре корродирует со скоростью 1,2 мм/год [68]. В перегретом паре медь и сплавы Cu—Ni охрупчиваются.

38.6. Дымовые газы

Дымовые газы, образующиеся при сгорании топлива, имеют переменный состав, зависящий от используемого топлива и соотношения с воздухом. Обычно дымовые газы содержат CO₂, CO, O₂ (при избытке воздуха), N₂, H₂, пары воды, серосодержащие соединения. Дымовые газы, не содержащие кислород, образуют восстановительную атмосферу, а не содержащие H₂ и CO — окислительную атмосферу. С повышением температуры диоксид углерода становится более сильным окислителем.

В среде дымовых газов металлы могут подвергаться окислению, азотированию, науглероживанию, сульфурации (насыщению серой). Сульфурация особенно возможна при неполном сгорании топлива.

Коррозионная агрессивность продуктов сгорания топлива зависит от содержания в нем серы и возможности образования золы. Все виды топлива можно разделить на три группы [237]:

- практически не содержащие серу и не образующие при сгорании золу;
- содержащие серу и образующие после сгорания только газообразные продукты;
- содержащие серу и образующие при сжигании золу.

зии кроме влажности и температуры большое влияние оказывает состав атмосферы. По коррозионной активности атмосферы можно разделить на следующие основные типы: морскую, промышленную, тропическую, арктическую, городскую и сельскую [232].

Для морской атмосферы характерна повышенная влажность и присутствие значительного количества солей. Промышленная атмосфера отличается высоким содержанием солей и газов (SO_2 , H_2S , NH_3 , NO_2 и др.), способствующих образованию на металлической поверхности высокоагрессивных электролитов. Это особенно характерно для атмосферы химических предприятий. Городская атмосфера, прежде всего, содержит выбросы промышленных предприятий и продукты сгорания топлива, используемого городским транспортом. Сельская атмосфера в наименьшей степени загрязнена агрессивными компонентами и оказывает слабое воздействие на металлические материалы.

В зависимости от состава атмосферы и условий скорость атмосферной коррозии может существенно различаться. Поэтому металл, обладающий достаточной коррозионной стойкостью в одной атмосфере, может оказаться менее стойким в другом месте. К сталям, наиболее стойким к атмосферной коррозии, можно отнести низколегированные стали 15ХГ2СФМР, 10ХНДЦ, 10ХГН, 10ХСНД, 10Г2СД и др.

Считается [233], что при скорости атмосферной коррозии, равной 3—5 мкм/год, металлические материалы можно использовать без дополнительной окраски. В табл. 38.4 приведены усредненные скорости атмосферной коррозии некоторых металлов и сплавов.

Таблица 38.4. Скорость атмосферной коррозии (мкм/год) металлов и сплавов [2, 5, 10, 131, 234]

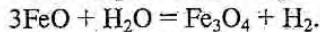
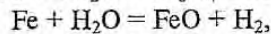
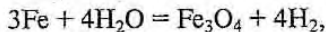
Металлы и сплавы	Атмосфера			
	морская	промышленная	городская	сельская
Алюминий	0,6—0,7	0,75—0,8 (>1000 ¹)	0,75—0,8	0,03—0,08
Бронза	1—2,1	1,4—1,5	1,6—6,2	0,15—0,8
Латунь	1,3—11,5	1,3—11,5	4,5—11,5	0,1—0,8
Медь	1,3—2,6	0,9—3,8 (100—1000 ¹)	0,9—3,8	0,05—1
Монель-металл	0,15—1,1	1—1,6 (<100 ¹)	0,3—1,6	0,05—0,35
Никель	0,1—0,15	3,3—4,1 (<100 ¹)	1—3,6	0,03—0,23
Олово	1,8—2,8	1,1—1,8	1,2—1,3	0,35—0,5
Свинец	0,4—0,8	0,4—0,7	0,4—0,45	0,35—0,5
Свинец сурьмянистый	0,13—0,6	≤0,53	≤0,3	—
Сплав 06ХН28МДТ ²	<1	<1	—	1—5
Сталь:				
медистая (0,2—0,4% Cu)	≤20	2,3—60	≤2,3	—
углеродистая	≤60	11—130 (>1000 ¹)	7,6—12,2	≤9,6
08Х13 ²	100—150	1000—5000	—	10—50
12Х17 ²	50—100	100—500	—	5—10
15Х25Т ²	10—50	5—10	—	1—5

Металлы и сплавы	Температура, °С (ориентировочно)	Примечание
Сталь:		
углеродистая	450—500	575—600 °С [1]
15X5M	600—650	
08X13	500—650	
12X17	850—875	
15X25T, 15X28	1050—1150	
12X18Н10Т	600—800	
10X17Н13М2Т	700—900	800—850 °С [237]
20X23Н18	1050	
Тантал	250	[62, 131]
Титан ВТ1-0, ВТ1-1	350	450 °С [131]
Хром	900	
Цирконий	400	[83]
Чугун:		
серый	250—450	
хромистый ЧХ28, ЧХ34	1100—1150	

38.5. Водяной пар — H₂O

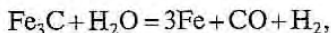
Обычно применяют водяной пар с температурой до 500—600 °С при давлении до 20—30 МПа. При высокой температуре пар может оказывать различное воздействие на металлические материалы.

С железом водяной пар вступает в реакции:



При температуре ниже 427 °С устойчив только оксид Fe₃O₄, при более высокой температуре — только FeO. Температура, при которой начинается реакция взаимодействия водяного пара с железом, зависит от материала и состояния его поверхности и находится в интервале температур 410 °С (для чистого железа) — 780 °С (для хромоникелевой стали) [68]. Со временем выделение водорода снижается, так как на поверхности металла образуется защитный слой оксидов. Этот слой создает возможность эксплуатировать стали в водяном паре при высокой температуре.

В результате взаимодействия водяного пара со сталями может происходить обезуглероживание металла, в основе которого лежит процесс восстановления цементита:



что приводит к снижению механической прочности металла.

ты [2], скорость коррозии 0,5—1 мм/год), при 650 °С — корродируют со скоростью до 0,9 мм/год [229].

Стали типа Х17 остаются стойкими до 300 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [150] (по данным работы [2], скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год), при температуре 600 °С — скорость коррозии до 0,4 мм/год [229].

Стали типа Х25 в водяном паре сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год) при температуре до 300 °С [2].

Аустенитные хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в водяном паре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры 600—650 °С [45, 229].

Двухфазные стали 08Х22Н6Т и 08Х21Н6М2Т в водяном паре при температуре до 300 °С корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [229].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в водяном паре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 300 °С [2], сплав ХН32Т и сплавы типа ХН40МДБ — до 600 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [229].

Никель и сплавы никеля применимы в водяном паре при температуре 350—450 °С, но могут подвергаться растрескиванию [10, 62].

Монель-металлы в водяном паре при температуре 280 °С обладает высокой стойкостью (скорость коррозии <0,02 мм/год) [229].

Медь и медные сплавы удовлетворительно стойки в сухом и влажном паре при низкой скорости движения пара [5], но с увеличением скорости движения разрушение металлов усиливается. При температуре 260 °С скорость коррозии оловянистой бронзы возрастает от 0,003 до 0,9 мм/год [5, 234]. Кремнистые и марганцовистые бронзы при 270 °С стойки (скорость коррозии 0,15 мм/год) [68].

Мельхиор (70% Cu — 30% Ni) в перегретом паре корродирует со скоростью 1,2 мм/год [68]. В перегретом паре медь и сплавы Cu—Ni охрупчиваются.

38.6. Дымовые газы

Дымовые газы, образующиеся при сгорании топлива, имеют переменный состав, зависящий от используемого топлива и соотношения с воздухом. Обычно дымовые газы содержат CO₂, CO, O₂ (при избытке воздуха), N₂, H₂, пары воды, серосодержащие соединения. Дымовые газы, не содержащие кислород, образуют восстановительную атмосферу, а не содержащие H₂ и CO — окислительную атмосферу. С повышением температуры диоксид углерода становится более сильным окислителем.

В среде дымовых газов металлы могут подвергаться окислению, азотированию, науглероживанию, сульфурации (насыщению серой). Сульфурация особенно возможна при неполном сгорании топлива.

Коррозионная агрессивность продуктов сгорания топлива зависит от содержания в нем серы и возможности образования золы. Все виды топлива можно разделить на три группы [237]:

- практически не содержащие серу и не образующие при сгорании золу;
- содержащие серу и образующие после сгорания только газообразные продукты;
- содержащие серу и образующие при сжигании золу.

зии кроме влажности и температуры большое влияние оказывает состав атмосферы. По коррозионной активности атмосферы можно разделить на следующие основные типы: морскую, промышленную, тропическую, арктическую, городскую и сельскую [232].

Для морской атмосферы характерна повышенная влажность и присутствие значительного количества солей. Промышленная атмосфера отличается высоким содержанием солей и газов (SO_2 , H_2S , NH_3 , NO_2 и др.), способствующих образованию на металлической поверхности высокоагрессивных электролитов. Это особенно характерно для атмосферы химических предприятий. Городская атмосфера, прежде всего, содержит выбросы промышленных предприятий и продукты сгорания топлива, используемого городским транспортом. Сельская атмосфера в наименьшей степени загрязнена агрессивными компонентами и оказывает слабое воздействие на металлические материалы.

В зависимости от состава атмосферы и условий скорость атмосферной коррозии может существенно различаться. Поэтому металл, обладающий достаточной коррозионной стойкостью в одной атмосфере, может оказаться менее стойким в другом месте. К сталям, наиболее стойким к атмосферной коррозии, можно отнести низколегированные стали 15ХГ2СФМР, 10ХНДЦ, 10ХГН, 10ХСНД, 10Г2СД и др.

Считается [233], что при скорости атмосферной коррозии, равной 3—5 мкм/год, металлические материалы можно использовать без дополнительной окраски. В табл. 38.4 приведены усредненные скорости атмосферной коррозии некоторых металлов и сплавов.

Таблица 38.4. Скорость атмосферной коррозии (мкм/год) металлов и сплавов [2, 5, 10, 131, 234]

Металлы и сплавы	Атмосфера			
	морская	промышленная	городская	сельская
Алюминий	0,6—0,7	0,75—0,8 (>1000 ¹)	0,75—0,8	0,03—0,08
Бронза	1—2,1	1,4—1,5	1,6—6,2	0,15—0,8
Латунь	1,3—11,5	1,3—11,5	4,5—11,5	0,1—0,8
Медь	1,3—2,6	0,9—3,8 (100—1000 ¹)	0,9—3,8	0,05—1
Монель-металл	0,15—1,1	1—1,6 (<100 ¹)	0,3—1,6	0,05—0,35
Никель	0,1—0,15	3,3—4,1 (<100 ¹)	1—3,6	0,03—0,23
Олово	1,8—2,8	1,1—1,8	1,2—1,3	0,35—0,5
Свинец	0,4—0,8	0,4—0,7	0,4—0,45	0,35—0,5
Свинец сурьмянистый	0,13—0,6	≤0,53	≤0,3	—
Сплав 06ХН28МДТ ²	<1	<1	—	1—5
Сталь:				
медистая (0,2—0,4% Cu)	≤20	2,3—60	≤2,3	—
углеродистая	≤60	11—130 (>1000 ¹)	7,6—12,2	≤9,6
08Х13 ²	100—150	1000—5000	—	10—50
12Х17 ²	50—100	100—500	—	5—10
15Х25Т ²	10—50	5—10	—	1—5

ты [2], скорость коррозии 0,5—1 мм/год), при 650 °С — корродируют со скоростью до 0,9 мм/год [229].

Стали типа Х17 остаются стойкими до 300 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [150] (по данным работы [2], скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год), при температуре 600 °С — скорость коррозии до 0,4 мм/год [229].

Стали типа Х25 в водяном паре сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год) при температуре до 300 °С [2].

Аустенитные хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в водяном паре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры 600—650 °С [45, 229].

Двухфазные стали 08Х22Н6Т и 08Х21Н6М2Т в водяном паре при температуре до 300 °С корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [229].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в водяном паре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 300 °С [2], сплав ХН32Т и сплавы типа ХН40МДБ — до 600 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [229].

Никель и сплавы никеля применимы в водяном паре при температуре 350—450 °С, но могут подвергаться растрескиванию [10, 62].

Монель-металлы в водяном паре при температуре 280 °С обладает высокой стойкостью (скорость коррозии <0,02 мм/год) [229].

Медь и медные сплавы удовлетворительно стойки в сухом и влажном паре при низкой скорости движения пара [5], но с увеличением скорости движения разрушение металлов усиливается. При температуре 260 °С скорость коррозии оловянистой бронзы возрастает от 0,003 до 0,9 мм/год [5, 234]. Кремнистые и марганцовистые бронзы при 270 °С стойки (скорость коррозии 0,15 мм/год) [68].

Мельхиор (70% Cu — 30% Ni) в перегретом паре корродирует со скоростью 1,2 мм/год [68]. В перегретом паре медь и сплавы Cu—Ni охрупчиваются.

38.6. Дымовые газы

Дымовые газы, образующиеся при сгорании топлива, имеют переменный состав, зависящий от используемого топлива и соотношения с воздухом. Обычно дымовые газы содержат CO₂, CO, O₂ (при избытке воздуха), N₂, H₂, пары воды, серосодержащие соединения. Дымовые газы, не содержащие кислород, образуют восстановительную атмосферу, а не содержащие H₂ и CO — окислительную атмосферу. С повышением температуры диоксид углерода становится более сильным окислителем.

В среде дымовых газов металлы могут подвергаться окислению, азотированию, науглероживанию, сульфурации (насыщению серой). Сульфурация особенно возможна при неполном сгорании топлива.

Коррозионная агрессивность продуктов сгорания топлива зависит от содержания в нем серы и возможности образования золы. Все виды топлива можно разделить на три группы [237]:

- практически не содержащие серу и не образующие при сгорании золу;
- содержащие серу и образующие после сгорания только газообразные продукты;
- содержащие серу и образующие при сжигании золу.

Стали и сплавы	Температура, °С (ориентировочно)	Источник
08Х20Н14С2, 20Х20Н14С2	1000	[206]
15Х25Т, 15Х28	600—700	[62]
20Х25Н20С2	1000	[206]
03Х25Н23Ю5Т, 03Х25Ю5Г2ФТЛ	1300	[213]
05Х27Ю5Т	1000	[206]
Сплавы:		
Х15Н60	1000	[228]
ХН60ВТ	1000—1100	[27]
ХН70Ю	1100—1200	[27]
ХН78Г	1000—1100	[27]

* При сгорании сланцев.

38.7. Иодоводород — HI

Иодоводород при обычных условиях — газ, сильно дымящий на воздухе. Это самый тяжелый газ среди галогеноводородов (плотность иодоводорода $\rho = 5,66$ г/л при 0 °С и 760 мм рт. ст.). Температура кипения иодоводорода при давлении 760 мм рт. ст. $t_{\text{кип}} = -35,7$ °С. Повышение температуры способствует термической диссоциации газа (степень диссоциации при 300 °С — 19%, при 1000 °С — 33%).

По химическим свойствам иодоводород подобен HBr и HCl, но проявляет более сильные восстановительные свойства. На воздухе под действием света иодоводород окисляется кислородом с образованием иода.

Во влажном иодоводороде при небольшой температуре на металлической поверхности образуется пленка иодоводородной кислоты, что вызывает сильную коррозию большинства металлов и сплавов. Сухой газообразный иодоводород оказывает сравнительно меньшее разрушающее действие на металлические материалы.

Металлы и сплавы в иодоводороде обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в сухом иодоводороде стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 при обычной температуре в сухом иодоводороде стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13, Х17 и хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в сухом иодоводороде стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в сухом иодоводороде стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 100 °С [40], при температуре 200—230 °С скорость коррозии возрастает до 0,55 мм/год, при 370—400 °С — до 2,1 мм/год [1].

зии кроме влажности и температуры большое влияние оказывает состав атмосферы. По коррозионной активности атмосферы можно разделить на следующие основные типы: морскую, промышленную, тропическую, арктическую, городскую и сельскую [232].

Для морской атмосферы характерна повышенная влажность и присутствие значительного количества солей. Промышленная атмосфера отличается высоким содержанием солей и газов (SO_2 , H_2S , NH_3 , NO_2 и др.), способствующих образованию на металлической поверхности высокоагрессивных электролитов. Это особенно характерно для атмосферы химических предприятий. Городская атмосфера, прежде всего, содержит выбросы промышленных предприятий и продукты сгорания топлива, используемого городским транспортом. Сельская атмосфера в наименьшей степени загрязнена агрессивными компонентами и оказывает слабое воздействие на металлические материалы.

В зависимости от состава атмосферы и условий скорость атмосферной коррозии может существенно различаться. Поэтому металл, обладающий достаточной коррозионной стойкостью в одной атмосфере, может оказаться менее стойким в другом месте. К сталям, наиболее стойким к атмосферной коррозии, можно отнести низколегированные стали 15ХГ2СФМР, 10ХНДЦ, 10ХГН, 10ХСНД, 10Г2СД и др.

Считается [233], что при скорости атмосферной коррозии, равной 3—5 мкм/год, металлические материалы можно использовать без дополнительной окраски. В табл. 38.4 приведены усредненные скорости атмосферной коррозии некоторых металлов и сплавов.

Таблица 38.4. Скорость атмосферной коррозии (мкм/год) металлов и сплавов [2, 5, 10, 131, 234]

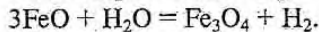
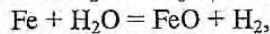
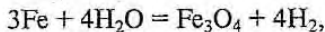
Металлы и сплавы	Атмосфера			
	морская	промышленная	городская	сельская
Алюминий	0,6—0,7	0,75—0,8 (>1000 ¹)	0,75—0,8	0,03—0,08
Бронза	1—2,1	1,4—1,5	1,6—6,2	0,15—0,8
Латунь	1,3—11,5	1,3—11,5	4,5—11,5	0,1—0,8
Медь	1,3—2,6	0,9—3,8 (100—1000 ¹)	0,9—3,8	0,05—1
Монель-металл	0,15—1,1	1—1,6 (<100 ¹)	0,3—1,6	0,05—0,35
Никель	0,1—0,15	3,3—4,1 (<100 ¹)	1—3,6	0,03—0,23
Олово	1,8—2,8	1,1—1,8	1,2—1,3	0,35—0,5
Свинец	0,4—0,8	0,4—0,7	0,4—0,45	0,35—0,5
Свинец сурьмянистый	0,13—0,6	≤0,53	≤0,3	—
Сплав 06ХН28МДТ ²	<1	<1	—	1—5
Сталь:				
медистая (0,2—0,4% Cu)	≤20	2,3—60	≤2,3	—
углеродистая	≤60	11—130 (>1000 ¹)	7,6—12,2	≤9,6
08Х13 ²	100—150	1000—5000	—	10—50
12Х17 ²	50—100	100—500	—	5—10
15Х25Т ²	10—50	5—10	—	1—5

Металлы и сплавы	Температура, °С (ориентировочно)	Примечание
Сталь:		
углеродистая	450—500	575—600 °С [1]
15Х5М	600—650	
08Х13	500—650	
12Х17	850—875	
15Х25Т, 15Х28	1050—1150	
12Х18Н10Т	600—800	
10Х17Н13М2Т	700—900	800—850 °С [237]
20Х23Н18	1050	
Тантал	250	[62, 131]
Титан ВТ1-0, ВТ1-1	350	450 °С [131]
Хром	900	
Цирконий	400	[83]
Чугун:		
серый	250—450	
хромистый ЧХ28, ЧХ34	1100—1150	

38.5. Водяной пар — H₂O

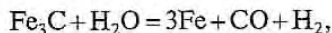
Обычно применяют водяной пар с температурой до 500—600 °С при давлении до 20—30 МПа. При высокой температуре пар может оказывать различное воздействие на металлические материалы.

С железом водяной пар вступает в реакции:



При температуре ниже 427 °С устойчив только оксид Fe₃O₄, при более высокой температуре — только FeO. Температура, при которой начинается реакция взаимодействия водяного пара с железом, зависит от материала и состояния его поверхности и находится в интервале температур 410 °С (для чистого железа) — 780 °С (для хромоникелевой стали) [68]. Со временем выделение водорода снижается, так как на поверхности металла образуется защитный слой оксидов. Этот слой создает возможность эксплуатировать стали в водяном паре при высокой температуре.

В результате взаимодействия водяного пара со сталями может происходить обезуглероживание металла, в основе которого лежит процесс восстановления цементита:



что приводит к снижению механической прочности металла.

ты [2], скорость коррозии 0,5—1 мм/год), при 650 °С — корродируют со скоростью до 0,9 мм/год [229].

Стали типа Х17 остаются стойкими до 300 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [150] (по данным работы [2], скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год), при температуре 600 °С — скорость коррозии до 0,4 мм/год [229].

Стали типа Х25 в водяном паре сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год) при температуре до 300 °С [2].

Аустенитные хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в водяном паре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры 600—650 °С [45, 229].

Двухфазные стали 08Х22Н6Т и 08Х21Н6М2Т в водяном паре при температуре до 300 °С корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [229].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в водяном паре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 300 °С [2], сплав ХН32Т и сплавы типа ХН40МДБ — до 600 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [229].

Никель и сплавы никеля применимы в водяном паре при температуре 350—450 °С, но могут подвергаться растрескиванию [10, 62].

Монель-металлы в водяном паре при температуре 280 °С обладает высокой стойкостью (скорость коррозии <0,02 мм/год) [229].

Медь и медные сплавы удовлетворительно стойки в сухом и влажном паре при низкой скорости движения пара [5], но с увеличением скорости движения разрушение металлов усиливается. При температуре 260 °С скорость коррозии оловянистой бронзы возрастает от 0,003 до 0,9 мм/год [5, 234]. Кремнистые и марганцовистые бронзы при 270 °С стойки (скорость коррозии 0,15 мм/год) [68].

Мельхиор (70% Cu — 30% Ni) в перегретом паре корродирует со скоростью 1,2 мм/год [68]. В перегретом паре медь и сплавы Cu—Ni охрупчиваются.

38.6. Дымовые газы

Дымовые газы, образующиеся при сгорании топлива, имеют переменный состав, зависящий от используемого топлива и соотношения с воздухом. Обычно дымовые газы содержат CO₂, CO, O₂ (при избытке воздуха), N₂, H₂, пары воды, серосодержащие соединения. Дымовые газы, не содержащие кислород, образуют восстановительную атмосферу, а не содержащие H₂ и CO — окислительную атмосферу. С повышением температуры диоксид углерода становится более сильным окислителем.

В среде дымовых газов металлы могут подвергаться окислению, азотированию, науглероживанию, сульфурации (насыщению серой). Сульфурация особенно возможна при неполном сгорании топлива.

Коррозионная агрессивность продуктов сгорания топлива зависит от содержания в нем серы и возможности образования золы. Все виды топлива можно разделить на три группы [237]:

- практически не содержащие серу и не образующие при сгорании золу;
- содержащие серу и образующие после сгорания только газообразные продукты;
- содержащие серу и образующие при сжигании золу.

зии кроме влажности и температуры большое влияние оказывает состав атмосферы. По коррозионной активности атмосферы можно разделить на следующие основные типы: морскую, промышленную, тропическую, арктическую, городскую и сельскую [232].

Для морской атмосферы характерна повышенная влажность и присутствие значительного количества солей. Промышленная атмосфера отличается высоким содержанием солей и газов (SO_2 , H_2S , NH_3 , NO_2 и др.), способствующих образованию на металлической поверхности высокоагрессивных электролитов. Это особенно характерно для атмосферы химических предприятий. Городская атмосфера, прежде всего, содержит выбросы промышленных предприятий и продукты сгорания топлива, используемого городским транспортом. Сельская атмосфера в наименьшей степени загрязнена агрессивными компонентами и оказывает слабое воздействие на металлические материалы.

В зависимости от состава атмосферы и условий скорость атмосферной коррозии может существенно различаться. Поэтому металл, обладающий достаточной коррозионной стойкостью в одной атмосфере, может оказаться менее стойким в другом месте. К сталям, наиболее стойким к атмосферной коррозии, можно отнести низколегированные стали 15ХГ2СФМР, 10ХНДЦ, 10ХГН, 10ХСНД, 10Г2СД и др.

Считается [233], что при скорости атмосферной коррозии, равной 3—5 мкм/год, металлические материалы можно использовать без дополнительной окраски. В табл. 38.4 приведены усредненные скорости атмосферной коррозии некоторых металлов и сплавов.

Таблица 38.4. Скорость атмосферной коррозии (мкм/год) металлов и сплавов [2, 5, 10, 131, 234]

Металлы и сплавы	Атмосфера			
	морская	промышленная	городская	сельская
Алюминий	0,6—0,7	0,75—0,8 (>1000 ¹)	0,75—0,8	0,03—0,08
Бронза	1—2,1	1,4—1,5	1,6—6,2	0,15—0,8
Латунь	1,3—11,5	1,3—11,5	4,5—11,5	0,1—0,8
Медь	1,3—2,6	0,9—3,8 (100—1000 ¹)	0,9—3,8	0,05—1
Монель-металл	0,15—1,1	1—1,6 (<100 ¹)	0,3—1,6	0,05—0,35
Никель	0,1—0,15	3,3—4,1 (<100 ¹)	1—3,6	0,03—0,23
Олово	1,8—2,8	1,1—1,8	1,2—1,3	0,35—0,5
Свинец	0,4—0,8	0,4—0,7	0,4—0,45	0,35—0,5
Свинец сурьмянистый	0,13—0,6	≤0,53	≤0,3	—
Сплав 06ХН28МДТ ²	<1	<1	—	1—5
Сталь:				
медистая (0,2—0,4% Cu)	≤20	2,3—60	≤2,3	—
углеродистая	≤60	11—130 (>1000 ¹)	7,6—12,2	≤9,6
08Х13 ²	100—150	1000—5000	—	10—50
12Х17 ²	50—100	100—500	—	5—10
15Х25Т ²	10—50	5—10	—	1—5

ты [2], скорость коррозии 0,5—1 мм/год), при 650 °С — корродируют со скоростью до 0,9 мм/год [229].

Стали типа Х17 остаются стойкими до 300 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [150] (по данным работы [2], скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год), при температуре 600 °С — скорость коррозии до 0,4 мм/год [229].

Стали типа Х25 в водяном паре сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год) при температуре до 300 °С [2].

Аустенитные хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в водяном паре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры 600—650 °С [45, 229].

Двухфазные стали 08Х22Н6Т и 08Х21Н6М2Т в водяном паре при температуре до 300 °С корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [229].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в водяном паре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 300 °С [2], сплав ХН32Т и сплавы типа ХН40МДБ — до 600 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [229].

Никель и сплавы никеля применимы в водяном паре при температуре 350—450 °С, но могут подвергаться растрескиванию [10, 62].

Монель-металлы в водяном паре при температуре 280 °С обладает высокой стойкостью (скорость коррозии <0,02 мм/год) [229].

Медь и медные сплавы удовлетворительно стойки в сухом и влажном паре при низкой скорости движения пара [5], но с увеличением скорости движения разрушение металлов усиливается. При температуре 260 °С скорость коррозии оловянистой бронзы возрастает от 0,003 до 0,9 мм/год [5, 234]. Кремнистые и марганцовистые бронзы при 270 °С стойки (скорость коррозии 0,15 мм/год) [68].

Мельхиор (70% Cu — 30% Ni) в перегретом паре корродирует со скоростью 1,2 мм/год [68]. В перегретом паре медь и сплавы Cu—Ni охрупчиваются.

38.6. Дымовые газы

Дымовые газы, образующиеся при сгорании топлива, имеют переменный состав, зависящий от используемого топлива и соотношения с воздухом. Обычно дымовые газы содержат CO₂, CO, O₂ (при избытке воздуха), N₂, H₂, пары воды, серосодержащие соединения. Дымовые газы, не содержащие кислород, образуют восстановительную атмосферу, а не содержащие H₂ и CO — окислительную атмосферу. С повышением температуры диоксид углерода становится более сильным окислителем.

В среде дымовых газов металлы могут подвергаться окислению, азотированию, науглероживанию, сульфурации (насыщению серой). Сульфурация особенно возможна при неполном сгорании топлива.

Коррозионная агрессивность продуктов сгорания топлива зависит от содержания в нем серы и возможности образования золы. Все виды топлива можно разделить на три группы [237]:

- практически не содержащие серу и не образующие при сгорании золу;
- содержащие серу и образующие после сгорания только газообразные продукты;
- содержащие серу и образующие при сжигании золу.

Стали и сплавы	Температура, °С (ориентировочно)	Источник
08Х20Н14С2, 20Х20Н14С2	1000	[206]
15Х25Т, 15Х28	600—700	[62]
20Х25Н20С2	1000	[206]
03Х25Н23Ю5Т, 03Х25Ю5Г2ФТЛ	1300	[213]
05Х27Ю5Т	1000	[206]
Сплавы:		
Х15Н60	1000	[228]
ХН60ВТ	1000—1100	[27]
ХН70Ю	1100—1200	[27]
ХН78Т	1000—1100	[27]

* При сгорании сланцев.

38.7. Иодоводород — HI

Иодоводород при обычных условиях — газ, сильно дымящий на воздухе. Это самый тяжелый газ среди галогеноводородов (плотность иодоводорода $\rho = 5,66$ г/л при 0 °С и 760 мм рт. ст.). Температура кипения иодоводорода при давлении 760 мм рт. ст. $t_{\text{кип}} = -35,7$ °С. Повышение температуры способствует термической диссоциации газа (степень диссоциации при 300 °С — 19%, при 1000 °С — 33%).

По химическим свойствам иодоводород подобен HBr и HCl, но проявляет более сильные восстановительные свойства. На воздухе под действием света иодоводород окисляется кислородом с образованием иода.

Во влажном иодоводороде при небольшой температуре на металлической поверхности образуется пленка иодоводородной кислоты, что вызывает сильную коррозию большинства металлов и сплавов. Сухой газообразный иодоводород оказывает сравнительно меньшее разрушающее действие на металлические материалы.

Металлы и сплавы в иодоводороде обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в сухом иодоводороде стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 при обычной температуре в сухом иодоводороде стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13, Х17 и хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в сухом иодоводороде стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в сухом иодоводороде стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 100 °С [40], при температуре 200—230 °С скорость коррозии возрастает до 0,55 мм/год, при 370—400 °С — до 2,1 мм/год [1].

Стали и сплавы	Температура, °С (ориентировочно)	Источник
08Х20Н14С2, 20Х20Н14С2	1000	[206]
15Х25Т, 15Х28	600—700	[62]
20Х25Н20С2	1000	[206]
03Х25Н23Ю5Т, 03Х25Ю5Г2ФТЛ	1300	[213]
05Х27Ю5Т	1000	[206]
Сплавы:		
Х15Н60	1000	[228]
ХН60ВТ	1000—1100	[27]
ХН70Ю	1100—1200	[27]
ХН78Г	1000—1100	[27]

* При сгорании сланцев.

38.7. Иодоводород — HI

Иодоводород при обычных условиях — газ, сильно дымящий на воздухе. Это самый тяжелый газ среди галогеноводородов (плотность иодоводорода $\rho = 5,66$ г/л при 0 °С и 760 мм рт. ст.). Температура кипения иодоводорода при давлении 760 мм рт. ст. $t_{\text{кип}} = -35,7$ °С. Повышение температуры способствует термической диссоциации газа (степень диссоциации при 300 °С — 19%, при 1000 °С — 33%).

По химическим свойствам иодоводород подобен HBr и HCl, но проявляет более сильные восстановительные свойства. На воздухе под действием света иодоводород окисляется кислородом с образованием иода.

Во влажном иодоводороде при небольшой температуре на металлической поверхности образуется пленка иодоводородной кислоты, что вызывает сильную коррозию большинства металлов и сплавов. Сухой газообразный иодоводород оказывает сравнительно меньшее разрушающее действие на металлические материалы.

Металлы и сплавы в иодоводороде обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в сухом иодоводороде стойки до 100 °С (скорость коррозии < 0,1 мм/год) [40].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 при обычной температуре в сухом иодоводороде стойки (скорость коррозии < 0,1 мм/год) [1].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13, Х17 и хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в сухом иодоводороде стойки до 100 °С (скорость коррозии < 0,1 мм/год) [40].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в сухом иодоводороде стойки (скорость коррозии < 0,1 мм/год) до 100 °С [40], при температуре 200—230 °С скорость коррозии возрастает до 0,55 мм/год, при 370—400 °С — до 2,1 мм/год [1].

Никель и сплавы никеля. Никель в сухом иодоводороде сохраняет стойкость (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до температуры $200\text{--}230$ °С, при $370\text{--}400$ °С скорость коррозии увеличивается до 1 мм/год [1].

Монель-металлы при температуре до 100 °С в сухом иодоводороде стоек (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [40].

Никельмолибденовый сплав Н70МФВ стоек (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) в сухом иодоводороде до температуры $370\text{--}400$ °С [1].

Медь и медные сплавы. Медь, бронза, мельхиор стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) в сухом иодоводороде до 100 °С [1, 40, 48].

Алюминий в сухом иодоводороде стоек (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) при нормальной температуре [1, 40].

Титан при обычной температуре в сухом иодоводороде стоек (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [40].

Тантал в сухом иодоводороде стоек (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до 150 °С [40]. При температуре $370\text{--}400$ °С происходит охрупчивание металла [1].

Серебро можно использовать в сухом иодоводороде только при комнатной температуре (скорость коррозии $0,1$ мм/год) [1]. При большей температуре серебро непригодно [61, 62] (скорость коррозии до $0,8\text{--}1$ мм/год [40, 48]).

Золото в сухом иодоводороде сохраняет стойкость (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) до температуры 300 °С [40, 62].

38.8. Оксиды азота — NO_x

Азот образует ряд оксидов с различной степенью его окисления (от 1 до 5), отвечающих составам N_2O , NO , N_2O_3 , NO_2 и N_2O_5 . Все оксиды азота даже при низких температурах термодинамически неустойчивы, но из-за большой энергии активации (за исключением NO) они мало реакционноспособны при обычных условиях.

Оксид азота(I) — N_2O (оксид диазота) при обычных условиях бесцветный газ, малорастворимый в воде. Жидкий оксид N_2O кипит при температуре $-89,5$ °С. При комнатной температуре N_2O вполне устойчив, а при 500 °С начинает заметно диссоциировать и при 900 °С полностью распадается на азот и кислород. На температуру термической диссоциации большое влияние оказывает присутствие оксидов металлов. Минимальная температура термической диссоциации N_2O при наличии NiO составляет 250 °С, Al_2O_3 — 590 °С, Fe_2O_3 — 700 °С. При повышенной температуре оксид азота(I) проявляет сильные окислительные свойства.

Оксид азота(II) — NO (монооксид азота) при обычных условиях бесцветный газ, $t_{\text{кип}} = -151,8$ °С. Оксид азота(II) при комнатной температуре устойчив и практически не разлагается до 1000 °С, при очень высокой температуре незначительно разлагается на азот и кислород (при 2000 °С степень термической диссоциации $0,61\%$). Этот оксид азота проявляет как окислительные, так и восстановительные свойства. На воздухе даже при обычной температуре NO окисляется кислородом и превращается в NO_2 .

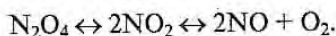
Оксид азота(III) — N_2O_3 (триоксид диазота) при обычных условиях представляет собой красно-бурый газ, при охлаждении конденсирующийся в тем-

но-синюю жидкость с температурой кипения $\sim 3,5^\circ\text{C}$. Оксид азота(III) даже при обычной температуре неустойчив и легко распадается на NO и NO_2 (степень термической диссоциации при 25°C составляет 89,5%, при 100°C — 98,8%).

Оксид азота(IV) — NO_2 (диоксид азота) при обычных условиях — бурый газ, сжижающийся в светло-желтую жидкость, кипящую при температуре $21,15^\circ\text{C}$. Диоксид азота при обычной температуре легко переходит в свой димер N_2O_4 (тетраоксид диазота). Поэтому газообразный оксид азота(IV) практически представляет собой смесь, состоящую из NO_2 и N_2O_4 . При давлении 0,1 МПа содержание NO_2 в смеси при 40°C составляет 31%, при 100°C — 88%. При температуре около 140°C димер N_2O_4 целиком превращается в NO_2 . С увеличением давления температура перехода N_2O_4 в NO_2 возрастает.

Диоксид азота NO_2 при повышении температуры распадается на NO и O_2 . При давлении 0,1 МПа степень термической диссоциации диоксида азота при 300°C составляет 15%, при 500°C — 55% и при 620°C происходит полный распад NO_2 .

Таким образом, при повышенной температуре могут происходить обратимые химические реакции:

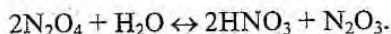


При давлении 0,1 МПа температурный интервал этих реакций $21\text{—}700^\circ\text{C}$, при давлении 10 МПа — $158\text{—}900^\circ\text{C}$ [213]. Поэтому в зависимости от давления при температуре ниже 160°C в системе может присутствовать жидкая фаза (условия кипения-конденсации), а при температуре выше 200°C все компоненты находятся в газообразном состоянии.

В химическом отношении NO_2 и N_2O_4 обладают сильными окислительными свойствами.

Оксид азота(V) — N_2O_5 (пентаоксид диазота) при обычной температуре находится в твердом состоянии в виде бесцветных кристаллов с температурой плавления 30°C ($t_{\text{крит}} = 45\text{—}50^\circ\text{C}$). Уже при комнатной температуре N_2O_5 разлагается на NO_2 и O_2 . Пентаоксид диазота является очень сильным окислителем.

С учетом их свойств оксиды азота при повышенной температуре и давлении в основном состоят из N_2O_4 и продуктов его термического распада. Технический тетраоксид диазота содержит примеси N_2O , N_2 , O_2 , H_2O , HNO_3 . Присутствие N_2O , N_2 , O_2 обусловлено необратимым процессом термического разложения оксидов азота. Из-за высокой гигроскопичности N_2O_4 наличие влаги в нем в определенных условиях способствует образованию высококонцентрированной HNO_3 , содержание которой может достигать 0,8—3% [213]. Количество образующейся кислоты зависит от температуры и давления и определяется равновесием реакции:



Коррозионное воздействие примесей воды и HNO_3 особенно сильно проявляется при температурах возможного кипения или конденсации N_2O_4 . Увеличение количества HNO_3 приводит к значительному возрастанию скорости коррозии сталей. К тому же наряду с общей коррозией возникает межкристаллитная коррозия и коррозионное растрескивание.

Высокотемпературная газовая коррозия в оксидах азота зависит от условий, определяющих степень термической диссоциации N_2O_4 и продуктов его распада. Наиболее агрессивным компонентом газовой смеси является диоксид азота, содержание которого зависит от давления и температуры в системе. Поэтому с увеличением давления при постоянной температуре скорость коррозии возрастает, а с повышением температуры при постоянном давлении — уменьшается. На коррозионное поведение металлических материалов также оказывает влияние скорость движения газовой среды. Коррозионные потери конструкционных материалов в потоке газов в 3—5 раз больше, чем в статических условиях при неизменных температуре и давлении [213]. В работе [204] даны рекомендации по применимости конструкционных материалов в оксидах азота.

Ниже приведены сведения о коррозионном поведении металлов и сплавов в оксидах азота при различных условиях.

*Температура до 100 °С, давление 2 МПа, условия кипения-конденсации N_2O_4
($t = 100-130$ °С; $p = 2,5-3$ МПа; $v = 10-20$ м/с)*

Углеродистые и низколегированные стали, серые чугуны не обладают достаточной стойкостью в оксидах азота при температуре до 100 °С. В сухом газе при 20 °С скорость коррозии углеродистой стали около 0,1 мм/год, при 100 °С — 0,2—0,7 мм/год. Серые чугуны при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,1—1,2 мм/год, низколегированные стали (20СГЛ, 17ГС, 17Г1С, 18ХНВЛ и т.п.) — со скоростью до 0,8 мм/год [204, 229]. Во влажном газе углеродистые стали и серые чугуны нестойки [1, 44, 61, 204].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в сухих и влажных оксидах азота при температуре до 100 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 44, 88].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х28 в оксидах азота при температуре до 100 °С стойки (скорость коррозии 0,01—0,12 мм/год) [1, 204, 213].

Аустенитные хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в оксидах азота при температуре до 100 °С сохраняют высокую стойкость (скорость коррозии <0,002 мм/год) [229]. В условиях кипения-конденсации N_2O_4 скорость коррозии сталей может возрастать до 0,25 мм/год, причем стали типа Х18Н10Т в той или иной степени подвергаются межкристаллитной коррозии. Сталь 20Х23Н18 в этих условиях корродирует со скоростью 0,16 мм/год [204, 213]. Высокой стойкостью в условиях кипения-конденсации N_2O_4 обладают стали 10Х15Н9СЗБ и 15Х18Н12С4ТЮ (скорость коррозии <0,07 мм/год) [213].

Двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т в условиях кипения-конденсации N_2O_4 корродируют со скоростью 0,1—0,3 мм/год [213].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ, ХН35ВТ в оксидах азота при температуре до 100 °С обладают высокой стойкостью (скорость коррозии <0,005 мм/год) [204, 229]. В условиях кипения-конденсации N_2O_4 сплав ХН35ВТ корродирует со скоростью до 0,12 мм/год, сплав ХН36МБТЮР — со скоростью до 0,04 мм/год [213].

Никель и сплавы никеля. Никель в оксидах азота при температуре до 100 °С обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,16 мм/год)

[204, 213]. При повышении температуры до 200 °С никель во влажных газах нестойк [46, 61].

Сплавы на никелевой основе с высоким содержанием хрома в оксидах азота более стойки, чем хромоникелевые стали, но подвержены межкристаллитной коррозии и коррозионному растрескиванию [213]. Сплав ХН78Т в оксидах азота при температуре до 100 °С корродирует со скоростью 0,006 мм/год [204], сплав ХН88ТЮБР при кипении N_2O_4 — со скоростью менее 0,15 мм/год [213].

Алюминий в сухих оксидах азота стоек до 200 °С (скорость коррозии 0,002 мм/год) [213], во влажном газе — нестойк при комнатной температуре [1, 46, 61]. В условиях кипения N_2O_4 алюминий корродирует со скоростью 0,7—6,5 мм/год [213].

Алюминиевые сплавы (АМг3, АМг6, АВ, АК8, Д16Т и др.) в сухих оксидах азота при температуре до 200 °С обладают высокой стойкостью (скорость коррозии 0,002 мм/год), но очень чувствительны к содержанию влаги в среде. При содержании воды более 0,2% (масс.) скорость коррозии сплавов в N_2O_4 резко увеличивается. В условиях кипения N_2O_4 алюминиевые сплавы нестойки [213].

Свинец и его сплав с сурьмой при обычной температуре стойки в сухих и влажных оксидах азота [2, 44, 62].

Титан ВТ1-1 и титановые сплавы ВТ5-1, АТ6, ОТ4, ТС3, ТС4, ТС5 в оксидах азота при температуре до 200 °С отличаются очень высокой стойкостью (скорость коррозии <0,001 мм/год; скорость коррозии сплава ОТ4 до 0,008 мм/год). К тому же титановые сплавы нечувствительны к содержанию воды (до 30%) в N_2O_4 [204]. Однако при действии напряжений титановые сплавы подвержены растрескиванию [213].

Другие металлы. Медь, цинк нестойки в оксидах азота при комнатной температуре. Серебро в этих условиях отличается очень высокой стойкостью в моноксиде азота и совершенно нестойко в N_2O_4 [1, 2, 46].

Цирконий в оксидах азота при температуре до 100 °С обладает высокой стойкостью (скорость коррозии <0,001 мм/год) [43].

Температура от 200 до 500—700 °С, давление 2—15 МПа

Углеродистые и низколегированные стали. Углеродистые стали в оксидах азота при температуре до 700 °С и давлении 2 МПа корродируют со скоростью менее 0,18 мм/год [229], в сухом газе при 500 °С — со скоростью 0,06 мм/год [1].

Низколегированные стали (20СГЛ, 17ГС, 17Г1С, 18ХНВЛ и т.п.) при температуре 350—550 °С и давлении 2—5 МПа корродируют со скоростью до 0,07 мм/год. Стали 20ХЗМФ, 30ХЗМФ при температуре 350—600 и давлении 2—15 МПа разрушаются со скоростью менее 0,2 мм/год [213, 229].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в сухих и влажных оксидах азота применимы при высокой температуре [88, 62].

Хромоникелевые чугуны при температуре 350 °С и давлении 2 МПа корродируют со скоростью около 0,6 мм/год, хромистые чугуны при 200—550 °С и 5 МПа — со скоростью 0,08 мм/год [213].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13 в оксидах азота при температуре 350—700 °С и давлении 2—15 МПа корродируют со скоростью

менее 0,01 мм/год [229], стали типа X25, X28 и хромоникелевые стали типа X18H10T, X17H13M2T — со скоростью менее 0,006 мм/год [213, 229].

Сталь 20X23H18 при температуре 350—500 °С и давлении 2—15 МПа обладает высокой стойкостью (скорость коррозии <0,003 мм/год) [213, 229].

Двухфазные стали 08X22H6T, 08X21H6M2T при температуре 350 °С и давлении 2 МПа корродируют со скоростью 0,001 мм/год [213, 229].

Сплавы на железоникелевой основе 03XH28MДТ, 06XH28MДТ в оксидах азота остаются стойкими (скорость коррозии <0,005 мм/год) при температуре 350—700 °С и давлении 2—15 МПа [213, 229], сплав ХН35ВТ — при температуре 350—600 °С и давлении 5—15 МПа (скорость коррозии <0,007 мм/год) [229].

Никель и сплавы никеля. Никель в оксидах азота при температуре 350—700 °С и давлении 2—5 МПа корродирует со скоростью менее 0,01 мм/год [204, 229].

Сплав ХН60ВТ остается стойким при температуре 350—500 °С и давлении 2—15 МПа, сплав ХН78Т — при 200—500 °С и 2—5 МПа (скорость коррозии <0,004 мм/год) [213, 229].

Сплавы ХН70Ю при 500 °С, 2 МПа, ХН77ТЮР при 350—700 °С, 5 МПа, ХН88ТЮБР при 200—600 °С, 5 МПа корродируют со скоростью менее 0,002 мм/год [43, 213, 229].

Скорость коррозии сплава ХН56ВМТЮ при температуре 350—700 °С и давлении 2—15 МПа менее 0,008 мм/год [213, 229].

Алюминий в оксидах азота при температуре 200 °С и давлении 2 МПа корродирует со скоростью 0,013 мм/год, сплавы АК6, Д16Т — соответственно со скоростью 0,005 и 0,04 мм/год [213].

Другие металлы. Хром при температуре 500—600 °С и давлении 5—15 МПа в оксидах азота корродирует со скоростью до 0,03 мм/год, при повышении температуры до 800 °С — со скоростью до 0,2 мм/год [213].

Цирконий при температуре 500 °С и давлении 5 МПа в оксидах азота корродирует со скоростью до 0,02 мм/год, сплав 110 (1% Nb) — со скоростью менее 0,09 мм/год (при 600 °С — более 0,4 мм/год), сплав 125 (2,5% Nb) — со скоростью менее 0,3 мм/год [213].

Молибден при температуре 500 °С и давлении 5 МПа корродирует со скоростью 0,15 мм/год, при 600 °С — со скоростью 0,018 мм/год [213]. По данным справочника [10], в оксиде азота(II) молибден стоек до температуры 1125 °С.

При температуре 500 °С и давлении 5 МПа вольфрам корродирует со скоростью 0,014 мм/год, ниобий — со скоростью 0,05 мм/год [213], тантал — нестойк [1].

Олово при температуре 200 °С и давлении 5 МПа корродирует со скоростью 0,006 мм/год [213].

38.9. Оксиды серы — SO_x

Серя образует два главных оксида: диоксид серы SO₂, соответствующий степени окисления серы IV, и триоксид серы SO₃, соответствующий степени окисления VI.

Диоксид серы (сернистый газ) при нормальных условиях находится в газообразном состоянии, поскольку температура кипения его равна -10,1 °С. Сернистый газ термически устойчив до 2500 °С, затем начинает распадаться

на серу и кислород. Диоксид серы химически активен и вступает в реакции с окислением, восстановлением или без изменения степени окисления. Более характерна для SO_2 роль восстановителя. При повышенных температурах и в присутствии катализаторов сернистый газ окисляется в SO_3 .

Триоксид серы, при обычных условиях представляет собой жидкость с температурой кипения $44,8^\circ\text{C}$ и температурой кристаллизации $16,8^\circ\text{C}$. В присутствии следов влаги жидкий триоксид полимеризуется с образованием модификаций, имеющих температуру плавления $32,5$; $62,3$ и 95°C . В газовой фазе триоксид мономолекулярен. Термическая диссоциация SO_3 начинается около 450°C , и при 1200°C он полностью распадается на SO_2 и O_2 . В химическом отношении триоксид серы — сильный окислитель.

Оксиды серы весьма агрессивны. При большой температуре как в сухих, так и во влажных оксидах серы газовая коррозия идет по химическому механизму. В условиях возможной конденсации электролита на корродирующей поверхности агрессивность влажных оксидов связана не только с воздействием газов, но и с образованием пленки сернистой и серной кислот. В этом случае процесс коррозии протекает по электрохимическому механизму. В присутствии влаги коррозия в среде SO_2 резко увеличивается, но с повышением температуры роль влаги снижается, что связано с уменьшением вероятности образования конденсата на металлической поверхности.

Принято считать, что диоксид серы, окисляясь на воздухе до SO_3 , растворяется в сконденсировавшейся влаге и образует раствор серной кислоты, приводящий к разрушению защитных пленок и коррозии металлов. В работе [234] показано, что в определенных условиях диоксид серы проявляет окислительные свойства и способность восстанавливаться на различных металлах. Поэтому более обоснованным является рассмотрение SO_2 как эффективного катодного деполяризатора, ускоряющего процесс коррозии. Коррозионная активность SO_3 существенно больше, чем у диоксида серы.

Ниже приведены сведения о коррозионном поведении металлов и сплавов в сухих и влажных оксидах серы при различных температурных условиях, а в табл. 38.8 — максимальные температуры их применения в диоксиде серы.

Диоксид серы — SO_2

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали в сухом диоксиде серы при температуре до 70°C корродируют со скоростью менее $0,05$ мм/год [1, 60], до 200°C — со скоростью $0,1$ — $0,25$ мм/год [1, 40], при 300°C — со скоростью до 1 мм/год [61]. При температуре 500 — 700°C углеродистые стали нестойки [1, 40, 60].

Во влажном диоксиде серы при температуре 20 — 60°C углеродистые стали нестойки [2, 44]. Уменьшение содержания диоксида в газе снижает коррозию сталей. При содержании в газе 50% SO_2 и температуре 150°C стали корродируют со скоростью $0,25$ мм/год, при температуре 450°C — со скоростью $0,9$ мм/год. При содержании в газе около 7% SO_2 и температуре 440°C скорость коррозии сталей менее $0,05$ мм/год [60].

Серые чугуны в сухом газе при температуре до 200°C стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1, 40, 61]. При температуре выше 400°C наблюдается

«рост» чугуна до 10% и резкое падение прочности. Это явление связано с внутренним окислением металла. Повышение температуры до 700 °С приводит к максимальному «росту» чугуна, и скорость коррозии превышает 3 мм/год [1, 40, 60].

Во влажном диоксиде серы при обычной температуре серые чугуны нестойки [44].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3 в сухом диоксиде серы стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) при температуре 250—750 °С [1, 61, 62]. Во влажном газе при обычной температуре такие чугуны удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) [1, 46] (согласно справочнику [61], до 3 мм/год). Влажный газ, содержащий 3% SO₂, при температуре 90 °С разрушает чугун ЧС15 со скоростью 1,2 мм/год [238]. При повышении температуры до 250—270 °С скорость коррозии кремнистых чугунов становится менее 0,1 мм/год [61].

Никелевый чугун (нирезист), легированный 14% Ni, 6% Cr, 5% Cu, в диоксиде серы при температуре 200 °С корродирует со скоростью 0,1—1 мм/год [40]. Кремнистые чугуны и нирезисты не подвержены явлению «роста» чугуна.

Хромистые чугуны ЧХ32, ЧХ34 в сухом диоксиде серы при температуре 75—140 °С корродируют со скоростью до 2 мм/год [61], при 250—700 °С — со скоростью менее 0,1 мм/год [46], при 600—1000 °С со скоростью до 0,1—1 мм/год [40]. Во влажном газе при температуре до 140 °С эти чугуны нестойки [46, 61]. Во влажном газе, содержащем 3—25% SO₂, при 90 °С скорость коррозии высокохромистых чугунов 0,8—1,5 мм/год [238].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13 в сухом диоксиде серы при температуре 700—800 °С обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,2—0,5 мм/год), при 900 °С — нестойки [60]. Стали типа Х17 при температуре до 400 °С корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [40], при 700—900 °С — со скоростью 0,2—0,4 мм/год [60]. Сталь 15Х28 в сухом газе применима до 900—1000 °С [44]. Во влажном газе при температуре 60 °С хромистые стали типа Х13—Х25 корродируют со скоростью 0,1—0,5 мм/год [2]. При содержании в газе ~8% SO₂ и температуре 60 °С эти стали корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год, при 240—400 °С — со скоростью до 0,1—1 мм/год [61], при 500 °С — со скоростью до 0,1—0,5 мм/год [60].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т в сухом диоксиде серы при температуре 40—150 °С корродируют со скоростью до 0,1—0,25 мм/год [1, 40], при 300 °С — со скоростью менее 0,1 мм/год [5, 61, 62], при 400—500 °С — со скоростью 0,1—0,2 мм/год [46], при 600—800 °С — со скоростью 0,5—1 мм/год, при 900—1000 °С — нестойки [1, 60]. Во влажном газе при температуре до 150 °С стали типа Х18Н10Т корродируют со скоростью 0,1—1 мм/год [1, 40, 61, 88], при 300 °С — со скоростью менее 0,1 мм/год [61, 88, 238], при 500 °С — со скоростью 0,1—1 мм/год, при 900 °С — нестойки [61, 88].

Хромоникелевые стали типа Х17Н13М2Т в сухом диоксиде серы стойки до 300 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [5, 61, 62, 88] (по данным справочника [40] — 0,1—1 мм/год). Во влажном газе такие стали стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [2, 40] и при температуре 300—500 °С [46], при 900 °С — нестойки [46, 88].

При содержании SO_2 в газовой фазе 7—55% и температуре 240—500 °С скорость коррозии сталей типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т до 0,1—0,15 мм/год [40, 60, 61].

Стали 20Х23Н13, 20Х23Н18 в сухом диоксиде серы стойки при температуре до 300 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [5]. Стали, содержащие более 15% никеля, очень чувствительны к воздействию SO_2 . В этом случае по границам зерен образуются сульфиды никеля и резко снижается прочность сталей.

Двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т во влажном диоксиде серы при температуре 55 °С корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год [2]. При содержании в газе ~7% SO_2 и температуре 400—500 °С скорость коррозии этих сталей менее 0,05 мм/год [60].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в сухом и влажном диоксиде серы при температуре до 420 °С остаются стойкими (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40]. При обычной температуре во влажном газе, содержащем 8—72% SO_2 , скорость коррозии сплавов менее 0,01 мм/год [43, 44].

Сплав типа ХН40МДБ в газе, содержащем 5—18% SO_2 , стоек при температуре 200—370 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл в сухом диоксиде серы стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 320 °С [10, 40, 61]. При температуре 400—700 °С никель нестойк [1, 40, 61], в том числе в восстановительных серо-содержащих средах [131]. Во влажном газе никель, монель-металл при любой температуре нестойки [5, 68]. Согласно справочным данным [61], монель-металл сохраняет стойкость до 315 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год)

Никельмолибденовый сплав Н70МФВ в сухом диоксиде серы стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры 750 °С, сплав ХН65МВУ — до 1100 °С [1]. Во влажном диоксиде серы сплав Н70МФВ стоек до 100 °С [10], сплав ХН65МВУ — до 70 °С [27].

Медь и медные сплавы. Медь в сухом диоксиде серы сохраняет стойкость до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40]. Согласно справочнику [1], при повышении температуры до 60—100 °С скорость коррозии возрастает до 1 мм/год.

Латуни в сухом диоксиде серы стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры 300 °С [40] (по другим данным [1, 46], латуни в этих условиях нестойки). Во влажном газе при обычной температуре латуни нестойки [5].

Бронзы в сухом диоксиде при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [5, 234], при 100 °С — корродируют со скоростью до 1 мм/год [40, 46]. Во влажном газе при обычной температуре бронзы нестойки [5, 234]. Согласно работе [62], бронзы применимы до 100 °С, но скорость коррозии превышает 1 мм/год [40, 238].

Мельхиор (10—30% Ni) в сухом и влажном диоксиде серы стоек до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40]. По данным работы [68], при влажности газа более 70% медноникелевые сплавы нестойки.

Алюминий в сухом и влажном диоксиде серы стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры 400 °С [40, 46, 61, 62]. Сплавы типа АМц, АМг и силумины во влажном газе стойки до 200 °С [45].

Свинец в сухом диоксиде серы при температуре до 100 °С стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 62], во влажном газе — стоек при обычной температуре [5, 46, 61].

Сурьмянистый свинец, содержащий не менее 8% Sb, во влажном газе стоек при температуре 30—90 °С [45, 238].

Титан в сухом диоксиде серы при температуре до 60—100 °С корродирует со скоростью менее 0,1 мм/год [1, 10, 46, 83], при температуре ниже 300 °С — со скоростью до 0,1—1 мм/год [1], во влажном газе при 60—70 °С — со скоростью менее 0,1 мм/год [10, 46, 83].

Серебро в сухом диоксиде серы при обычной температуре стойко (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1], при 100 °С — нестойко [1, 46]. При более высокой температуре (до 300 °С) серебро сохраняет стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40]. Во влажном газе при любой температуре серебро нестойко [61].

Другие металлы. Ниобий в сухом и влажном диоксиде серы стоек до 100 °С [10], магний — при обычной температуре [5, 40].

Олово в сухом диоксиде серы стойко при обычной температуре [5, 40, 46].

Таблица 38.8. Предельная температура применения металлов и сплавов в диоксиде серы

Металлы и сплавы	Температура, °С (ориентировочно)	Источник
Золото	<600*	[40]
Медь	100	[40]
Мельхиор (МН19, МНЖМц 30-1-1)	100	[40]
Молибден	600—650	[10, 40, 44]
Монель-металлы (НМЖМц 28-2,5-1,5)	300—320	[10, 40, 44, 61]
Никель	320	[10, 40, 61]
Ниобий	100	[10]
Платина	1000—1200	[2, 40, 46]
Сплав:		
03ХН28МДТ, 03ХН28МДТ	420	[40]
Н70МВФ	500	[1]
ХН65МВУ	350—500	[1, 44]
Сталь:		
углеродистая	400	[60]
15Х5М	550—600	[60]
Х6СМ	650	[60]
08Х13, 12Х13, 08Х17Т, 12Х17	500—700	[60]
15Х25Т, 15Х28	800—900	[44, 60]
12Х18Н9Т, 08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т	450—500	[1, 44, 46, 60]
12Х18Н12Т	600	[60]
10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т	550	[60, 88]

Металлы и сплавы	Температура, °С (ориентировочно)	Источник
08X22H6T, 08X21H6M2T	350	[60]
20X23H18	1000	[60]
Тантал	300—350	[1, 40, 62]
Хром	700	[43]
Цирконий	400—450	[83]
Чугун:		
серый	200	[60]
ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3	750—900	[46, 61, 62]
ЧХ32, ЧХ34	750—1000	[40, 46]

* По данным справочника [46], до 100 °С; при высокой температуре золото способствует разложению SO_2 на S и SO_3 .

Триоксид серы — SO_3

Углеродистые стали в сухом триоксиде серы удовлетворительно стойки до 100 °С (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) [1] (по другим данным [61, 62], применимы до 400 °С). При снижении содержания триоксида в газе до 5—7% углеродистые стали стойки (скорость коррозии <0,2 мм/год) до температуры 450—550 °С [60, 61]. Во влажном триоксиде серы углеродистые стали удовлетворительно стойки (скорость коррозии <0,5 мм/год) до температуры 300 °С. При содержании в газе 7% триоксида серы стали удовлетворительно стойки до 260 °С (скорость коррозии 0,1—0,3 мм/год), при 450 °С — нестойки [61].

Среднелегированная сталь 15X5M при концентрации в газе 5% SO_3 и температуре до 550 °С корродирует со скоростью менее 0,1 мм/год [60].

Высоколегированные чугуны. Кремнистый чугун ЧС17 во влажном триоксиде серы при обычной температуре корродирует со скоростью 0,1—1 мм/год, чугун ЧС15 — нестойк, при температуре 250—750 °С чугуны ЧС15, ЧС17 — стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [88]. При концентрации в газе ~7% SO_3 и температуре 75 °С чугуны ЧС15, ЧС15М4 стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год), при температуре 90 °С чугун ЧС15 корродирует со скоростью до 1 мм/год, ЧС15М4 — со скоростью менее 0,1 мм/год [61].

Хромистый чугун ЧХ34 в сухом и влажном газе, содержащем ~7% триоксида серы, при температуре до 90 °С стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) [61].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X13 в сухом триоксиде серы при температуре до 100 °С обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) [1]. В сухом и влажном газе, содержащем ~7% SO_3 , стали типа X13, X17 стойки до 250 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год). При температуре 400—450 °С скорость коррозии сталей типа X13 достигает 0,3—3 мм/год, сталей типа X17 — менее 0,3 мм/год. Хромистые стали типа X25 в сухом и влажном газе, содержащем ~7% SO_3 , при температуре 75—90 °С корродируют со скоростью до 0,3—1 мм/год, при температуре до 450 °С — со скоростью менее 0,3 мм/год [5, 61].

Хромоникелевые стали типа X18H10T стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) в сухом триоксиде до 400°C , во влажном — до 250°C (при 400°C скорость коррозии $<0,3$ мм/год) [61]. В сухом газе, содержащем $\sim 7\%$ SO_3 , при температуре до 450°C скорость коррозии таких сталей менее $0,1$ мм/год, во влажном газе — менее $0,3$ мм/год [5, 60].

Хромоникелевые стали типа X17H13M2T в сухом и влажном триоксиде серы стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до 250°C (при температуре 400 — 450°C скорость коррозии до 1 мм/год) [61]. В газе, содержащем $\sim 5\%$ SO_3 , такие стали стойки до 550°C (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [60].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в сухом триоксиде серы при температуре до 100°C обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии $0,1$ — 1 мм/год) [1].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл в сухом триоксиде серы при температуре до 100°C удовлетворительно стойки (скорость коррозии $0,1$ — 1 мм/год), никельмолибденовый сплав Н70МФВ — стоек (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1].

Медь и медные сплавы. При обычной температуре в сухом триоксиде серы медь корродирует со скоростью менее $0,1$ мм/год, бронзы — со скоростью $0,1$ — 1 мм/год [1].

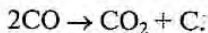
Другие металлы. Алюминий, свинец в сухом триоксиде серы при обычной температуре стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1].

38.10. Оксиды углерода — CO_x

Углерод образует два главных оксида: оксид углерода CO , соответствующий степени окисления углерода II, и диоксид углерода CO_2 , соответствующий степени окисления IV.

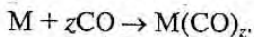
Оксид углерода (угарный газ) при нормальных условиях — бесцветный газ с температурой кипения $-191,5^\circ\text{C}$. На воздухе оксид углерода горит при температуре около 700°C с образованием CO_2 . При небольшой температуре оксид углерода достаточно инертен, а при высокой температуре и в присутствии катализаторов легко вступает в химические реакции, особенно реакции присоединения. Оксид углерода обладает восстановительными свойствами, в том числе при повышенной температуре.

В коррозионном отношении оксид углерода при атмосферном давлении даже при высокой температуре инертен по отношению к большинству металлов. Однако при температуре выше 250°C на металлической поверхности оксид углерода может разлагаться с образованием свободного углерода:



При температуре выше 500 — 600°C это ведет к науглероживанию (карбюризации) нелегированных сталей, и выше 700°C они становятся хрупкими.

Кроме того, при небольшой температуре, особенно при повышенном давлении, оксид углерода с некоторыми металлами образует карбонилы:



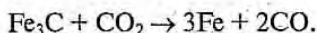
С увеличением температуры карбонилы распадаются на мелкодисперсные частицы металла и оксид углерода. Так, при температуре выше 100 — 120°C и дав-

лении 5—20 МПа образуется пентакарбонил железа, а при температуре выше 200—220 °С он распадается; тетракарбонил никеля образуется при 50—100 °С и атмосферном давлении, а полностью распадается при 200 °С. Скорость карбонильной коррозии зависит от давления и температуры, причем температурная зависимость носит экстремальный характер. Ниже 90 °С и выше 300 °С оксид углерода практически не взаимодействует с большинством металлов [206].

Диоксид углерода (углекислый газ) при обычных условиях — бесцветный газ. Диоксид углерода термически устойчив, но при очень высокой температуре диссоциирует на оксид углерода и кислород. Степень распада при 2000 °С составляет 2%, при 2900 °С — 50% и при 5000 °С — 99%. Диссоциация диоксида углерода усиливается при высоком давлении, действии ультрафиолетового света и электрических разрядов.

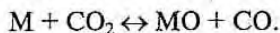
В химическом отношении диоксид углерода довольно инертен, но при высокой температуре может окислять металлы (например, железо). Влажный диоксид углерода становится более агрессивным в условиях возможной конденсации влаги и образования угольной кислоты, что особенно опасно для не легированных сталей и чугунов.

В смеси газов СО и СО₂ в зависимости от условий и состава смеси металлы и сплавы могут подвергаться науглероживанию (карбюризации) или обезуглероживанию (декарбюризации). В первом случае образующийся углерод способствует увеличению карбидной составляющей сплавов и, как результат, повышению их твердости и хрупкости. Во втором случае идет окисление углерода карбидов, например, для углеродистых сталей:



В результате в обезуглероженном поверхностном слое сплава снижается твердость и прочность. Повышение содержания СО₂ в газовой среде способствует обезуглероживанию сплавов, а увеличение содержания СО — наоборот, науглероживанию сплавов.

Кроме того, в смеси оксидов углерода может происходить прямое окисление металлов или восстановление их оксидов:



В табл. 38.9 приведена предельная температура применения металлов и сплавов в оксиде углерода, в табл. 38.10 — в диоксиде углерода.

Таблица 38.9. Предельная температура применения металлов и сплавов в оксиде углерода

Металлы и сплавы	Температура, °С (ориентировочно)	Источник
Алюминий	250	[1, 59]
Бронза	При 300—600	[1, 5]
Медь	400	[62]
Монель-металл (НМЖМц 28-2,5-1,5)	<100; при 300—800	[45, 68]
Никель	При 250—550	[45, 68]

Металлы и сплавы	Температура, °С (ориентировочно)	Источник
Ниобий	При 300—1200	[10]
Сплав Н70МВФ	От 250 до 500	[1, 3]
Сталь:		
углеродистая	200	[1]
типа: X13	500—600	[1, 2, 59]
X17—X28	700—870	[1, 2, 59]
X18Н10Т, X17Н13М2Т	800—870	[1, 2, 59]
Цирконий	400	[83]
Чугун серый	100	[1]

Таблица 38.10. Предельная температура применения металлов и сплавов в диоксиде углерода

Металлы и сплавы	Температура, °С (ориентировочно)	Источник
Алюминий	250	[40, 62]
Латунь	250—300	[61]
Медь	500*	[61]
Молибден	1150	[83]
Ниобий	1200	[10]
Нихром (15% Cr)	800	[10]
Платина	1400	[40, 229]
Серебро	600	[1, 2]
Сплав:		
Н70МВФ	500	[1, 27]
типа ХН28МДТ	700—800	[1]
Сталь:		
углеродистая	350—450	[1, 40, 61]
типа: X13—X17	650—750	[17, 40, 61]
X25—X28	1000—1100	[17, 40]
X18Н10Т, X17Н13М2Т	700—800	[1]
Цирконий	350	[83]
Чугун:		
серый	350—450	[1, 40, 61]
ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17М3	700—800	[1, 40]

* По данным справочника [46], выше 100 °С нестойка.

Металлы и сплавы в оксидах углерода имеют следующие коррозионные свойства.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали в сухом оксиде углерода стойки до 200 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год); выше этой температуры скорость коррозии возрастает до 1 мм/год [1].

В смеси газов CO + H₂ коррозия зависит от концентрации оксида углерода, температуры и давления. При содержании оксида углерода 15—75% и давлении 32 МПа для наиболее опасного интервала температуры (100—300 °С) максимальная скорость карбонильной коррозии стали 20 достигает 2,7 мм/год; 30ХМА — 2,3 мм/год; 20ХЗВМФ, 15Х5М — 0,6 мм/год; 12Х8ВФ — 0,22 мм/год [43]. Углеродистые и легированные стали в подобных газовых смесях мало пригодны, и при высокой температуре и давлении используют медь и медные сплавы [5, 68, 234].

Серые чугуны сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 100 °С, при температуре 500—700 °С — нестойки [1].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17МЗ при обычной температуре в оксиде углерода стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13 при отсутствии карбонильной коррозии в оксиде углерода сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры 760 °С, стали типа Х17—Х28 — до 870—900 °С [1, 2]. Согласно работам [46, 62, 88], хромистые стали типа Х13—Х28 можно применять до температуры 1150 °С.

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) в оксиде углерода до 870—900 °С [1, 2].

При высокой температуре в среде оксида углерода применимы стали 09Х15Н8Ю, 08Х22Н6Т, 20Х23Н18, 20Х25Н20С2 и др. В газовых средах, содержащих СО, наибольшей стойкостью обладают стали 12Х18Н10Т, 08Х22Н6Т, 15Х25 [206].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в оксиде углерода при температуре до 100 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1].

Никель и сплавы никеля. Никель при обычной температуре в оксиде углерода стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год), повышение температуры вызывает карбонильную коррозию никеля, и при 80—100 °С никель нестойк [1]. При 200 °С происходит каталитическое разложение карбониллов с образованием СО₂, поэтому никель применим в интервале температур 300—1250 °С [45, 68].

Монель-металлы в оксиде углерода стоек до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1] и сохраняет стойкость при температуре 300—815 °С [45, 68].

Никельмолибденовые сплавы Н70МФВ, ХН65МВУ в оксиде углерода стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 100 °С и сохраняют стойкость до 800—900 °С [1].

Медь и медные сплавы. Медь, бронзы, латуни достаточно стойки в средах, содержащих СО, при температуре ниже 600 °С [1, 5]. При 600 °С медь становится хрупкой и неприменима [62].

Алюминий в оксиде углерода стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 550 °С [1, 2, 46] и практически не подвержен карбонильной коррозии [206].

Свинец в оксиде углерода до 100 °С стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1].

Тантал в сухом оксиде углерода стоек (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до 350°C [1, 2, 62], при температуре выше 1100°C скорость коррозии тантала более $1,3$ мм/год [10].

Другие металлы. Цирконий в оксиде углерода стоек при высокой температуре (при 700°C скорость коррозии $<0,003$ мм/год [83]).

Платина при высокой температуре (500 — 700°C) в оксиде углерода нестойка [46]. Металлы платиновой группы не взаимодействуют с оксидом углерода, кроме рутения, который при температуре 180°C и давлении 20 МПа образует карбонилы [45].

Молибден при температуре 1400°C подвергается цементации [83].

Диоксид углерода — CO_2

Углеродистые стали и серые чугуны в сухом диоксиде углерода стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до температуры 350 — 500°C [1, 40, 61]. Влажный диоксид углерода при обычной температуре разрушает углеродистые стали и чугуны со скоростью до $0,5$ — 1 мм/год [44, 61].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в сухом и влажном диоксиде углерода стойки до 700 — 800°C (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1, 40].

Хромистый чугун ЧХ28 и никелевый чугун (ниррезист), содержащий 14% Ni, 6% Cr, 5% Cu, в сухом и влажном диоксиде углерода стойки до 100°C (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [40].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13, Х17 в сухом и влажном диоксиде углерода до 100°C стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1, 45, 61] (по другим данным [1, 46], скорость коррозии стали Х13 до 1 мм/год). Стали типа Х17 в сухом газе стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до 700°C и удовлетворительно стойки — до 900°C (скорость коррозии $0,25$ — $0,8$ мм/год) [40]. Согласно справочнику [61], хромистые стали типа Х13—Х28 сохраняют достаточную стойкость до температуры 1150°C .

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в сухом и влажном диоксиде углерода стойки до 100°C (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [2, 40, 45, 46] и сохраняют такую же стойкость в сухом газе до 700 — 800°C [1] (по данным справочника [40], скорость коррозии сталей типа Х18Н10Т до $0,5$ мм/год).

Стали 20Х23Н13, 20Х23Н18 во влажном диоксиде углерода стойки до 100°C (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [45].

Двухфазная сталь 08Х22Н6Т в диоксиде углерода при температуре ниже 100°C корродирует со скоростью менее $0,05$ мм/год [2].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в сухом и влажном диоксиде углерода стойки при температуре до 100°C (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [40, 45] и сохраняют такую же стойкость в сухом газе до 700 — 800°C [1].

Сплав типа ХН40МДБ при температуре 155°C в диоксиде углерода обладает очень высокой стойкостью (скорость коррозии $<0,003$ мм/год) [40].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл и сплавы Н70МФВ, ХН65МВУ в сухом и влажном диоксиде углерода при температуре до 100°C стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1, 40, 45].

Сплав Н70МФВ в сухом диоксиде углерода стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры 800—900 °С [1], нихром, содержащий 15% Cr, — до 800 °С [10].

Медь и медные сплавы. Медь в сухом диоксиде углерода стойка (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 100 °С [1, 2] (по данным справочника [61], до 500 °С), во влажном газе — нестойка [61].

Латунь в сухом газе стойка (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 100 °С [1, 62, 229] (по данным справочника [61] — до 500 °С), во влажном диоксиде углерода при обычной температуре подвергается слабой коррозии [5, 68].

Бронза в сухом газе при температуре до 100 °С стойка (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1], во влажном диоксиде углерода — стойка при обычной температуре [68].

Медноникелевые сплавы при обычной температуре в сухом диоксиде углерода корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [61].

Алюминий и сплавы типа АМц, АМг, силумины в сухом и влажном диоксиде углерода стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 100 °С [1, 2, 45]. В сухом газе алюминий сохраняет удовлетворительную стойкость (скорость коррозии <0,3 мм/год) до 500 °С [40, 62].

Свинец в сухом и влажном диоксиде углерода стоек до 200 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 40]. Согласно справочнику [61], при повышенной температуре скорость коррозии может достигать 1 мм/год.

Титан в диоксиде углерода при температуре ниже 100 °С корродирует со скоростью до 0,2 мм/год [40] (по данным справочника [1], при 100 °С титан нестойк).

Тантал во влажном диоксиде углерода стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 100 °С [45]. В сухом газе при температуре ниже 150 °С скорость коррозии до 0,15 мм/год [1, 40], выше 500 °С — скорость коррозии более 1,3 мм/год [10].

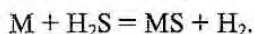
Другие металлы. Олово, ниобий, серебро, платина, золото в диоксиде углерода при температуре ниже 100 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [10, 40, 45].

38.11. Сероводород — H₂S

При обычных условиях сероводород — бесцветный газ, легко сжижающийся в жидкость, кипящую при температуре —60,4 °С. На воздухе при 250 °С сероводород воспламеняется и горит с образованием паров воды и диоксида серы (при недостатке кислорода образуется сера). В нормальных условиях сероводород устойчив, термическая диссоциация начинается выше 350—400 °С, и при температуре 1690 °С газ полностью распадается на водород и серу.

В химическом отношении сероводород — сильный восстановитель и на воздухе постепенно окисляется до свободной серы.

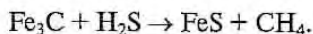
Сероводород более агрессивен, чем оксиды серы. Он действует на большинство металлов (особенно в присутствии влаги или при повышенной температуре), образуя сульфиды:



Выделяющийся водород может способствовать возникновению водородной коррозии.

В условиях высокотемпературной коррозии пленки сульфидов чаще всего пористые и имеют низкие защитные свойства, хотя сульфид хрома Cr_2S_3 образует высокозащитную пленку, обеспечивающую хромистым сталям, содержащим более 12% хрома, достаточную коррозионную стойкость до температуры 700—800 °С. Еще большей стойкостью обладают стали, содержащие 25—30% хрома и 3—5% алюминия [60].

Высокотемпературная сероводородная коррозия может сопровождаться обезуглероживанием карбидов и выпадением блоков зерен металла:



Сухие газообразные смеси с любым содержанием сероводорода малоагрессивны при температуре ниже 260—270 °С. Дальнейшее повышение температуры до 550—650 °С приводит к быстрому увеличению коррозионного разрушения, которое затем снижается из-за термического разложения газа. Температура применения сталей и сплавов в газообразном сероводороде примерно на 400—700 °С ниже, чем на воздухе. Так, сталь 20Х23Н18 в среде сероводорода при температуре 550 °С ведет себя так же, как на воздухе при ~1100 °С [150].

Присутствие влаги в сероводороде по-разному влияет на коррозионное поведение металлов. Во влажном сероводороде могут образовываться пленки оксидов и сульфидов, пористость и низкие защитные свойства которых способствуют быстрой коррозии металлов (например, меди). При температуре ниже 200 °С влага усиливает коррозию серого чугуна, углеродистой стали, нержавеющей стали 12Х18Н10Т из-за образования сероводородной кислоты. В интервале температур 200—400 °С влажность сероводорода не влияет на коррозию алюминия, серого чугуна, углеродистой стали, а также стали 12Х18Н10Т выше 500 °С. При температуре 200—500 °С (для чугуна выше 420 °С) наличие влаги в сероводороде тормозит коррозионное разрушение серого чугуна, стали 12Х18Н10Т, меди и ее сплавов [239].

В табл. 38.11 приведена предельная температура применения металлов и сплавов в сероводороде.

Таблица 38.11. Предельная температура применения металлов и сплавов в сероводороде

Металлы и сплавы	Температура, °С (ориентировочно)	Источник
Алюминий	250—350	[1, 62, 239]
Молибден	850	[44]
	1100	[83]
Монель-металл	250—275	[44, 45, 68]
Никель	250—320	[1, 44, 45, 68]
Платина	1000	[46, 139, 229]
	500—700	[62]
Сплав ХН65МВУ	100	[44]

Металлы и сплавы	Температура, °С (ориентировочно)	Источник
Сталь:		
углеродистая	150—200	[1, 229, 239]
типа: X13—X25	500—700*	[1, 150, 229]
X28	1000	[60, 150]
X18H10T	300—400	[2, 44, 239]
	700	[150]
08X22H6T, 08X21H6M2T	300—350*	[2]
20X23H13, 20X23H18	550—700	[150]
05X27Ю5T	550*—650	[239]
Тантал		
	600	[62]
	900	[44]
Чугун серый		
	200—250	[239]

* В сухом газе.

Металлы и сплавы в сероводороде обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали во влажном сероводороде при температуре до 170 °С корродируют со скоростью до 1,3 мм/год [239], при 200—300 °С — нестойки; в сухом сероводороде при температуре ниже 200 °С корродируют со скоростью 0,1—1 мм/год [1, 229, 239], при 300—350 °С — нестойки [2, 239].

Серые чугуны во влажном сероводороде при температуре ниже 170—200 °С разрушаются со скоростью 0,1—1 мм/год, при 300 °С — нестойки. В сухом газе при температуре ниже 200 °С серые чугуны обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии <0,5 мм/год), при 300 °С — нестойки [1, 239].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в сухом и влажном сероводороде при температуре до 100 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1].

Хромистый чугун (18% Cr, 9% Ni) при температуре 90 °С корродирует со скоростью 0,5 мм/год [46, 228].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X13—X28 во влажном сероводороде при температуре ниже 100 °С корродируют со скоростью 0,1—1 мм/год, при 200 °С — нестойки [1, 2, 43, 229]. В сухом газе такие стали стойки до 500—700 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 150, 229].

Хромоникелевые стали типа X18H10T во влажном сероводороде при температуре до 170 °С корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год, при 200—400 °С — со скоростью до 0,2—0,5 мм/год, при 500 °С — со скоростью 1,8 мм/год [2, 239]. Согласно работам [43, 139, 229], при температуре выше 200 °С такие стали нестойки. В сухом газе при температуре ниже 200 °С скорость коррозии сталей менее 0,1 мм/год, при 300—350 °С — до 0,5—1 мм/год, при 420 °С — более 2 мм/год [2, 239].

Стали типа Х17Н13М2Т в сухом и влажном сероводороде ниже 100 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год), во влажном газе при 200 °С — нестойки [1, 43, 229].

Сталь 08Х18Г18Н2Т при температуре до 100 °С во влажном сероводороде стойка (скорость коррозии <0,1 мм/год); при 200 °С — нестойка [2, 46, 229].

Стали 20Х23Н13, 20Х23Н18 в сероводороде стойки до 500—900 °С [150].

Двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т в сухом сероводороде стойки до 360 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [2].

Сталь 05Х27Ю5Т во влажном сероводороде стойка до 650 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год), в сухом газе — до 550 °С (скорость коррозии <0,5 мм/год) [239].

Сталь 02Х25Н22АМ2 рекомендуют применять при температуре ниже 150 °С в сероводородсодержащих средах с парциальным давлением сероводорода до 3 МПа и диоксида углерода до 30 МПа [27].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) во влажном сероводороде при обычной температуре [1, 43, 229], в сухом газе — до 100 °С [1, 2].

Сплав ХН30МДБ обладает высокой стойкостью в сероводородсодержащих средах, и его рекомендуют применять при температуре ниже 150 °С при парциальном давлении сероводорода до 3 МПа и диоксида углерода до 30 МПа [27].

Сплавы ХН40МДБ, ХН40МДТЮ обладают высокой стойкостью в средах, содержащих сероводород. Сплав ХН40МДТЮ применяют в конденсате природного газа, содержащего до 6% сероводорода и до 6% диоксида углерода [27].

Никель и сплавы никеля. Никель и его сплавы быстро разрушаются в среде сероводорода [8]. Никель при обычной температуре стоек в сухом сероводороде (скорость коррозии <0,1 мм/год) и удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) во влажном газе [1, 228]. По данным работ [1, 68], никель применим при температуре до 250—280 °С (выше 300 °С происходит межкристаллитное разрушение металла [1]).

Монель-металл в сухом и влажном сероводороде при обычной температуре стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) [43, 139, 229], при 100 °С — нестойк [1]. Согласно работе [68], монель-металл в сероводороде применим до 250 °С.

Сплав ХН78Т в сероводороде стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 100 °С [229] (при 400 °С скорость коррозии около 2 мм/год [206]).

Медь и медные сплавы. Медь во влажном сероводороде при обычной температуре корродирует со скоростью 0,1—0,5 мм/год [2], при 100 °С — со скоростью 1,2—1,6 мм/год [5, 44, 68]. По данным работ [43, 229], медь нестойка при любой температуре во влажном сероводороде. В сухом газе при обычной температуре медь стойка (скорость коррозии <0,1 мм/год) [2, 43, 229], при 170 °С — нестойка [239].

Латунь при обычной температуре стойка в сухом газе (скорость коррозии <0,1 мм/год) и нестойка во влажном газе (скорость коррозии >1 мм/год) [1, 43, 46, 229].

Бронза при обычной температуре стойка в сухом газе (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 43, 229]. По данным работ [5, 68, 234], бронзы и латуни во влажном газе стойки (скорость коррозии 0,05—0,08 мм/год) до 100 °С. Оло-

вянистая бронза во влажном газе при 100 °С корродирует со скоростью более 1 мм/год [5, 234].

Медноникелевые сплавы при обычной температуре стойки в сухом и влажном сероводороде (скорость коррозии <0,1 мм/год) [5].

Алюминий в сухом и влажном сероводороде стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 350 °С [43, 62, 239]. При температуре 400—500 °С скорость коррозии металла 0,3—0,4 мм/год, при 550 °С — до 0,6 мм/год [206, 229, 239].

Свинец при обычной температуре стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) в сухом и влажном сероводороде [1, 5, 62].

Титан стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) в сухом и влажном сероводороде до 100 °С [39].

Серебро при обычной температуре стойко (скорость коррозии <0,1 мм/год) в сухом сероводороде [1, 5, 229] и нестойко во влажном газе (скорость коррозии >1 мм/год) [206].

Другие металлы. Цинк стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) в сухом сероводороде при обычной температуре [43, 46, 62].

Олово стойко (скорость коррозии <0,1 мм/год) в сухом и влажном газе до температуры 100 °С [46, 139, 229].

Золото при обычной температуре остается стойким в сухом и влажном газе [5, 46].

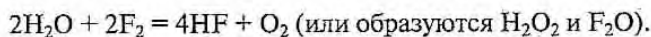
Платина и металлы платиновой группы при обычной температуре практически не корродируют в сухом сероводороде, лишь осмий подвергается незначительной коррозии [5].

38.12. Фтор — F₂

Фтор — один из наиболее распространенных элементов [содержание в земной коре 6,5·10⁻²% (масс.)]. При нормальных условиях фтор — зеленовато-желтый газ, при охлаждении сгущающийся в жидкость с температурой кипения —188,13 °С. Фтор термически достаточно устойчив (степень диссоциации, %: при 300 °С — 0,0005; при 500 °С — 0,3; при 700 °С — 4,2; при 1100 °С — 60; при 1700 °С — 99).

Фтор самый активный из всех металлоидов, взаимодействующий со всеми элементами (в том числе с азотом, галогенами и тяжелыми инертными газами). Практически все реакции фторирования экзотермичны, что легко приводит к возгоранию и взрыву. Щелочные и щелочноземельные металлы воспламеняются в сухом газообразном фторе на холоде, свинец и ванадий — при комнатной температуре, платина — около 550 °С. При сильном нагреве все металлы способны гореть в газообразном фторе.

Фтор является очень сильным окислителем и даже восстанавливает кислород из воды. Фтор не растворяется в воде, а реагирует с ней:



В коррозионном отношении при повышенной температуре фтор более агрессивен, чем хлор. При обычной температуре некоторые металлы (Al, Cu, Fe, Mg, Ni, Pb) практически не взаимодействуют с фтором вследствие образования защитной пленки соответствующих фторидов (NiF₂, PbF₂ и т.п.). Такие пленки

обеспечивают алюминию, магнию, меди, никелю и его сплавам достаточную стойкость при повышенной температуре.

В табл. 38.12 приведена предельная температура применения металлов и сплавов в сухом фторе.

Таблица 38.12. Предельная температура применения металлов и сплавов в сухом фторе

Металлы и сплавы	Температура, °С (ориентировочно)	Источник
Алюминий	150—250	[3, 44, 59, 130]
	400	[240]
Бронза	180—200	[44, 48, 59]
Золото	100	[2, 3, 5, 62]
Латунь	180—250	[3, 44, 48, 59]
Магний	300	[43, 48, 61, 130]
Мель	180—200	[3, 44, 48, 59]
Мельхиор (11—33% Ni)	200—250	[3, 44]
Монель-металл	400—500	[1, 3, 130, 240]
Никель	400—450	[1, 3, 48, 61, 240]
Платина	100	[2, 5, 62]
	270—350	[1, 3]
Свинец	100	[1]
Сплав:		
типа АМг	150—250	[44, 59, 130]
	300—400	[130, 240]
Н70МФВ, ХН65МВУ	400—500	[130, 229]
ХН78Т	350	[48]
Сталь:		
типа Х13—Х28	200	[2, 61, 130, 240]
типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т	200	[2, 3, 130, 240]
20Х23Н13, 20Х23Н18	250	[130]

Металлы и сплавы во фторе обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали в сухом фторе обладают стойкостью (скорость коррозии <0,05 мм/год) до температуры 175 °С [3] и удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,1—0,6 мм/год) — до 200—300 °С [1, 3]. По данным работ [43, 48, 240], при 250—300 °С стали нестойки.

Серые чугуны в сухом фторе при обычной температуре нестойки [1, 3, 48].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в сухом фторе при комнатной температуре нестойки [1, 3, 48]. Согласно справочнику [5], такие чугуны в сухом фторе стойки, во влажном — нестойки.

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в сухом фторе стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [3, 48]. Во влажном фторе при обычной температуре никелевые чугуны нестойки [3], нирезист ЧН15Д7Х2 — стоек [48].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13, Х17 в сухом фторе при температуре ниже 200 °С стойки (скорость коррозии 0,2 мм/год) [2, 61, 130, 240] (по данным справочника [1] — до 1 мм/год), при 300—400 °С — нестойки [1, 61, 229, 240]. Хромистые стали 15Х25Т, 15Х28 при обычной температуре в сухом фторе стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 2, 48].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в сухом фторе при температуре до 100—200 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [2, 3, 130, 240] (по другим данным [1, 150], до 1 мм/год), при 250—300 °С — нестойки [3, 61, 130]. Во влажном фторе стали типа Х18Н10Т нестойки при обычной температуре [48].

Стали 20Х23Н13, 20Х23Н18 в сухом фторе при температуре до 250 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год), при 300 °С — нестойки [130].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в сухом фторе стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) при температуре до 200 °С [3], при 300—400 °С — нестойки [1, 3].

Никель и сплавы никеля. Никель в сухом фторе стоек до 200 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 2, 48] (по данным работы [3], до 450 °С). При 400 °С скорость коррозии никеля 0,2 мм/год, при 500 °С — нестойк [1, 61, 130, 240].

Монель-металлы в сухом фторе до температуры 400—450 °С корродируют со скоростью менее 0,1—0,2 мм/год, при 450—500 °С — со скоростью до 0,6 мм/год, выше 500—600 °С — нестойк [61, 130, 240].

Никельмолибденовые сплавы типа Н70МФВ, ХН65МВУ в сухом фторе при обычной температуре корродируют со скоростью 0,1—0,5 мм/год, при температуре ниже 500 °С — со скоростью до 0,8 мм/год, при 570—600 °С — нестойки [130, 229].

Сплав ХН78Т в сухом фторе стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 350 °С [48], при 400 °С — нестойк [48, 130].

Медь и медные сплавы. Медь в сухом фторе при температуре до 150—250 °С стойка (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 3, 240], при 400—500 °С — нестойка [2, 3, 130, 240].

Бронза и латунь в сухом фторе при температуре до 60 °С корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [1, 229, 240], при 180—250 °С — со скоростью до 0,5—1 мм/год [3, 44, 48], при 400—500 °С — нестойки [1, 48, 240].

Мельхиор (20—30% Ni) в сухом фторе стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) до температуры 200 °С [3], при 400 °С — скорость коррозии до 0,2 мм/год, при 500 °С — 0,6 мм/год [240].

Алюминий в сухом фторе стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 400—450 °С [1, 48, 61, 240] (по данным работы [3] — до 200 °С), при 500—600 °С — нестойк [1, 43, 130] (по данным работы [3], нестойк при 250 °С). Во влажном фторе алюминий нестойк при обычной температуре [130].

Сплавы типа АМг в сухом фторе стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры 300—400 °С [130, 240].

Свинец в сухом и влажном фторе при обычной температуре стоек (скорость коррозии $<0,1$ мм/год), при $60-100$ °С — корродирует со скоростью $0,1-1$ мм/год [1, 3, 44, 68].

Магний в сухом фторе стоек (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до 300 °С [61, 130, 240], при 500 °С — нестойк [48].

Серебро в сухом фторе при обычной температуре корродирует со скоростью $0,1-1$ мм/год [1, 5, 130], при температуре $200-300$ °С — нестойко [43, 48, 130].

Платина в сухом фторе при температуре ниже 100 °С корродирует со скоростью $0,1-0,5$ мм/год [2, 62], при температуре $400-500$ °С — неприменима [3, 43, 46] (по другим данным [130, 229], скорость коррозии $0,8-1,5$ мм/год). Согласно работе [3], платина сохраняет стойкость до 350 °С (скорость коррозии $<0,05$ мм/год).

Золото в сухом фторе стойко (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до 100 °С [2, 3, 5, 43], при $200-300$ °С — нестойко [2, 48, 130].

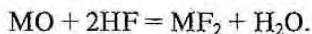
Другие металлы. Титан практически нестойк в сухом фторе [1, 39, 131, 229], цирконий стоек до 200 °С [83] (при 400 °С — неприменим [43]).

Вольфрам, молибден, ниобий, рений, тантал, цинк в сухом фторе неприменимы при обычной температуре [1, 43, 48, 130]. По данным работ [5, 68], олово сохраняет стойкость до температуры 100 °С.

38.13. Фтороводород — HF

Фтороводород — бесцветный газ, конденсирующийся в легколетучую жидкость с температурой кипения $19,43$ °С. При небольшой температуре в газовой фазе фтороводород из-за ассоциации молекул за счет водородных связей образует зигзагообразные цепочки переменной длины. Поэтому вблизи температуры кипения средний состав газовой фазы соответствует соединению $(HF)_4$. При повышении температуры ассоциированные агрегаты распадаются, и при 90 °С газ состоит из простых молекул HF. Термическая диссоциация газа начинается при очень высокой температуре (более 3500 °С).

Фтороводород является сильноагрессивной средой, причем химическая активность его сильно зависит от степени влажности, поскольку в определенных условиях на металлической поверхности может образовываться плавиковая кислота. Взаимодействие фтороводорода с защитными поверхностными оксидами металлов идет с самоускорением из-за образования воды:



Большинство металлов в сухом фтороводороде при нормальной температуре устойчиво, но присутствие даже небольших количеств влаги приводит к значительному увеличению коррозии (например, алюминия).

На некоторых металлах (например, на магнии) образующаяся пленка фторидов обладает достаточно высокими защитными свойствами.

В табл. 38.13 приведена предельная температура применения металлов и сплавов в сухом фтороводороде.

Таблица 38.13. Предельная температура применения металлов и сплавов в сухом фтороводороде

Металлы и сплавы	Температура, °С (ориентировочно)	Источник
Алюминий	500	[129]
	100*	[59]
Вольфрам	400—600*	[7, 48]
Латунь	250*	[59, 130]
Медь	100*	[1, 44, 61, 130]
Молибден	400—600*	[7, 48]
Монель-металл	500—600	[129, 243]
	350*	[59]
Никель	540—600	[10, 129]
	400	[243]
Платина	350*	[59, 130]
Сталь:		
типа: X13, X17	150	[48]
X13—X28	250	[59, 61, 130, 241]
X18N10T	300*	[7, 61, 130]
углеродистая	150—170	[44, 59, 112]
Чугун:		
ЧС15, ЧС17	100—250	[61, 129, 241]
ЧХ34	300*	[130]

* При влажности газа до 3%.

Металлы и сплавы во фтороводороде имеют следующие коррозионные свойства.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали в сухом фтороводороде обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) до температуры 60—70 °С [1, 61] (по другим данным [129, 241] до 250 °С). Согласно работе [242], углеродистые стали в сухом фтороводороде при температуре до 50 °С корродируют со скоростью менее 0,01 мм/год, при температуре до 175 °С — со скоростью менее 0,05 мм/год [3]. Во влажном (20—40% воды) газе при 50 °С углеродистые стали нестойки [242].

Серые чугуны в сухом фтороводороде при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1] (по данным работы [3], стойки до 175 °С). Во влажном газе при температуре 40 °С скорость коррозии чугунов 0,35 мм/год, при 300 °С — нестойки [7, 61, 130].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 во влажном фтороводороде при температуре ниже 300 °С стойки (скорость коррозии <0,2—0,5 мм/год), при 500 °С — нестойки [3, 7, 130].

Хромистый чугун ЧХ34 обладает такой же стойкостью [7, 61, 130].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X13—X25 в сухом фтороводороде обладают высокой стойкостью (скорость коррозии <0,01 мм/год)

при температуре ниже 50 °С [242]. По данным работы [241], стали типа Х17 в сухом фтороводороде стойки до 250 °С. При температуре 500 °С стали типа Х13—Х28 нестойки. Во влажном газе такие стали стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,2 мм/год) и удовлетворительно стойки до 300 °С (скорость коррозии 0,2—0,4 мм/год) [7, 61, 130].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в сухом фтороводороде при температуре до 50 °С стойки (скорость коррозии <0,01 мм/год) [242] и удовлетворительно стойки до 100—150 °С (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) [1, 7, 112, 130]. По данным работы [241], стали типа Х17Н13М2Т в сухом фтороводороде стойки до 250 °С. Во влажном газе стали типа Х18Н10Т стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,2 мм/год), при 300 °С — нестойки [7, 61, 130]. По данным работы [242], такие стали во влажном (20—40% воды) газе при 50 °С корродируют со скоростью менее 0,5 мм/год.

Двухфазная сталь 08Х21Н6М2Т в сухом фтороводороде сохраняет высокую стойкость (скорость коррозии <0,01 мм/год) при температуре до 50 °С [242], сталь 08Х22Н6Т при 100 °С нестойка [15].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в сухом фтороводороде при температуре до 50 °С корродируют со скоростью 0,01—0,05 мм/год [3, 242], при температуре 75 °С — со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3, 48]. Во влажном (20—40% воды) газе при 50 °С сплавы удовлетворительно стойки (скорость коррозии <0,5 мм/год) [242].

Никель и сплавы никеля. Никель в сухом фтороводороде при температуре до 50 °С корродирует со скоростью 0,01—0,05 мм/год [3, 242], при температуре до 300 °С — со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3, 48], при 500—600 °С скорость коррозии достигает 1 мм/год [2, 46, 48]. Во влажном газе никель стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 300 °С [7, 130], при температуре 500 °С скорость коррозии возрастает до 1 мм/год [7, 40, 130].

Монель-металл в сухом и влажном фтороводороде при температуре до 300 °С стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) [3, 7, 61, 130]. При температуре ниже 500 °С в сухом газе монель-металл корродирует со скоростью до 1,2—1,3 мм/год [1, 3], во влажном газе — со скоростью более 2 мм/год [7, 130]. По данным работы [242], никель и сплав НМЖМц 28-2,5-1,5 во влажном (20—40% воды) газе при 50 °С корродируют со скоростью менее 0,5 мм/год.

Никельмолибденовый сплав Н70МФВ в сухом фтороводороде при температуре ниже 100 °С стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1], сплав ХН78Т — удовлетворительно стоек (скорость коррозии до 0,5 мм/год), при 430 °С — нестойк [48]. Сплав ХН65МВУ при температуре до 300 °С корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Медь и медные сплавы. Медь в сухом и влажном фтороводороде при температуре до 100 °С корродирует со скоростью менее 0,5 мм/год, при 300 °С — со скоростью до 1 мм/год, при 500—600 °С — нестойка [1, 48, 61, 130].

Латунь в сухом фтороводороде удовлетворительно стойка до 100 °С (скорость коррозии <0,5 мм/год) [1]. Во влажном фтороводороде при температуре до 300 °С латунь корродирует со скоростью менее 0,3 мм/год, при 500 °С — более 2 мм/год [7, 130].

Бронза в сухом газе удовлетворительно стойка (скорость коррозии <0,5 мм/год) до 60 °С, при 100 °С — нестойка [1]. По данным работы [242], в сухом фтороводороде медь и бронзы Бр.АЖ9-4, Бр.АМц9-2, Бр.А10 при

температуре до 50 °С обладают высокой стойкостью (скорость коррозии <0,01 мм/год).

Алюминий в сухом фтороводороде стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 250 °С [241] и удовлетворительно стоек до 500 °С (скорость коррозии <0,5 мм/год) [1, 48]. По данным работы [242], в сухом фтороводороде при температуре до 50 °С алюминий и его сплавы типа АМг, АМц отличаются высокой стойкостью (скорость коррозии <0,01 мм/год), во влажном (20—40% воды) газе — нестойки. Согласно работам [7, 130], во влажном газе алюминий стоек до 100 °С и удовлетворительно стоек до 300 °С (скорость коррозии <0,8 мм/год), при 500 °С — нестойк

Свинец практически неприменим в газообразном фтороводороде [3]. При 20 °С свинец стоек, но с повышением температуры скорость коррозии резко возрастает (в сухом газе при 100 °С и во влажном газе при 40 °С свинец нестойк) [1, 7, 48, 61]. По данным работы [242], во влажном (20—40% воды) газе при 50 °С свинец корродирует со скоростью менее 0,5 мм/год.

Другие металлы. Серебро в сухом фтороводороде при обычной температуре применимо (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 7, 48], олово, цинк, титан, цирконий, тантал — нестойки [2, 3, 7, 129], платина, золото — стойки при температуре ниже 150 °С [3, 48].

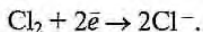
Молибден, вольфрам во влажном фтороводороде стойки до 400—600 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год), при 700—800 °С — нестойки [7, 48].

38.14. Хлор — Cl₂

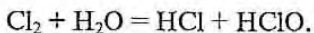
Хлор — при обычных условиях желто-зеленый газ, легко сгущающийся в жидкость с температурой кипения —33,6 °С. Термическая диссоциация газа при 700 °С составляет 0,035%, при 1700 °С — 37%.

Хлор обладает очень высокой реакционной способностью и взаимодействует с большинством металлов и металлоидов. Реакции хлора с металлами сопровождаются большим выделением тепла, в результате чего при определенной температуре металлы самовозгораются (табл. 38.14).

Коррозионное поведение металлических материалов в газообразном хлоре очень сильно зависит от степени влажности газа и температуры. В условиях возможной конденсации влаги и образования на поверхности металла пленки электролита коррозия протекает по электрохимическому механизму. В этом случае, являясь сильным окислителем, хлор может быть более эффективным деполяризатором, чем кислород:



Так как равновесный потенциал этой реакции равен +1,35 В, то хлор может играть роль катодного деполяризатора при коррозии большинства металлов. Кроме того, в присутствии воды хлор подвергается гидролизу:



Образующиеся ионы Cl⁻ действуют на пассивные металлы как депассиваторы, вызывая точечную и язвенную коррозию.

Таблица 38.14. Температура воспламенения металлов и сплавов в сухом хлоре

Металлы и сплавы	Температура, °С	Источник
Алюминий	120—160	[140, 244]
	204—232	[61, 130]
Железо	310	[244]
Медь	300—315	[61, 130, 244]
Сплав:		
4201 (Ti — 30% Mo)	150	[245]
BT5-1	90	[245]
OT4-0, OT4-1, BT14, 4200	30	[245]
Сталь:		
типа X18H10T, X17H13M2T	550	[140]
углеродистая	232—285	[130, 140, 244]
Титан	<0	[39]
Чугун серый	232—260	[130, 244]

Электрохимическая коррозия во влажном хлоре может протекать при температуре выше точки росы, что связано с гигроскопичностью продуктов коррозии и возможностью конденсации влаги при более высокой температуре. Поэтому нельзя ориентироваться на температуру точки росы при определении температурных границ стойкости конструкционных материалов во влажном хлоре. Поправка к температуре точки росы при определении минимальной температуры, исключающей возможность конденсации влаги на корродирующей поверхности, зависит от влажности газа и снижается по мере уменьшения степени влажности. Эта поправка для углеродистых сталей достигает 100—130 °С, для нержавеющей сталей (в зависимости от содержания никеля) — 80—110 °С, для никеля и его сплавов (при влажности до 4%) — 30 °С [140].

Существует критическая влажность хлора, меньше которой при данной температуре не происходит конденсация влаги и процесс коррозии не может идти с большой скоростью. При температуре 20 °С критическая влажность хлора для углеродистых сталей составляет 0,02%, для алюминия — 0,08%, для никеля и сплавов на его основе — более 0,2% [140, 246]. Резкое увеличение скорости коррозии при достижении критической влажности газа вызвано сорбцией влаги продуктами коррозии и появлением на металлической поверхности пленки электролита, обладающей высокой агрессивностью из-за растворенного в ней хлора. По мере повышения температуры сорбция влаги затрудняется и скорость коррозии постепенно снижается [246].

Начиная с некоторой предельной температуры, зависящей от влажности газа, образование пленки электролита невозможно, и металл разрушается в соответствии с закономерностями газовой коррозии при непосредственным химическом взаимодействии с хлором. В этих условиях скорость коррозии определяется свойствами образующихся продуктов хлорирования металлической поверхности. В сухом хлоре или хлоре с очень низкой влажностью на корродирующей поверхности образуются хлориды металлов. Хлориды большинства

металлов (кроме хрома и никеля) обладают небольшой температурой кипения (или возгонки) и не могут формировать пленки с высокими защитными свойствами. В этом случае процесс коррозии контролируется удалением продуктов хлорирования с металлической поверхности.

При температуре 200—550 °С наличие водяных паров в хлоре способствует снижению коррозии ряда металлов и сплавов (особенно титана и алюминия). Ингибирующее действие влаги на коррозию таких металлов связано с образованием на поверхности не только хлоридов, но и оксидных и хлороксидных соединений. С увеличением влажности хлора улучшаются защитные свойства оксидных пленок, и коррозионная стойкость металлов повышается [246]. Так, наличие ≥4% влаги в хлоре увеличивает предел применения нержавеющей стали от 170 до 550 °С [140].

В сухом хлоре с повышением температуры до так называемой критической температуры, зависящей от природы и состава материала, скорость коррозии постепенно возрастает. При температуре выше критической коррозия протекает с очень большой скоростью. Это в основном обусловлено плавлением и испарением защитной пленки хлоридов.

В табл. 38.15 приведена предельная температура применения металлов и сплавов в хлоре.

Таблица 38.15. Предельная температура применения металлов и сплавов в хлоре

Металлы и сплавы	Температура (°С) при влажности (%)				Источник
	сухой	0,4	1,5	4—36	
Алюминий	100—130	120—150	200	425—450	[140, 244, 247, 248]
Бронза А7	350	—	—	—	[46, 68]
Золото	75—150	—	—	—	[62, 234]
Магний	450—470	—	—	—	[243, 248]
Медь	100—150	250	—	—	[45, 140, 244]
Монель-металл	425—450	—	—	—	[1, 61, 68, 140, 248]
Никель	540—550	550	475	375—500	[1, 140, 247, 248]
Ниобий	100	—	—	—	[10]
Платина	250—280	—	—	—	[130, 62, 229, 248]
Свинец	100—250	—	225	225	[5, 140, 244, 247]
Сплав:					
типа ХН28МДТ	400	400	—	550	[140]
ХН65МВУ	500—510	500—510	—	500—510	[1, 68, 140, 248]
Н70МФВ	500—540	500—540	—	500—540	[1, 68, 140, 248]
ХН78Т	550	550	—	500	[140]
4201 (Ti — 30% Mo)	60	—	—	—	[245]
Сталь:					
типа Х17	300	—	450	475	[244, 247]
типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т	300—330	400	450	475—550	[229, 244, 247, 248]

Металлы и сплавы	Температура (°С) при влажности (%)				Источник
	сухой	0,4	1,5	4—36	
углеродистая	150—200	300	285	375—400	[1, 45, 140, 247, 248]
Тантал	150—250	450	375	400	[5, 10, 62, 247, 249]
Титан	*	200	—	350—400**	[39, 250]
Чугун серый	175—220	—	285	375	[44, 68, 247, 248]

* Неприменим;

** при влажности до 15%.

Металлы и сплавы в хлоре обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали в сухом хлоре при температуре ниже 100 °С обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,1—0,4 мм/год) [130, 140] (по данным справочника [61], до 1 мм/год), при 120—150 °С — корродируют со скоростью 0,6—0,8 мм/год, при 175—200 °С — со скоростью 1,2—1,8 мм/год [130, 229]. При влажности хлора менее 0,04% и температуре ниже 150 °С скорость коррозии сталей 0,1—1 мм/год [22, 25, 92], при 250 °С — 0,4 мм/год, при 300 °С — нестойки [48, 61, 140]. При влажности хлора 0,4% углеродистые стали стойки только в интервале температуры 150—300 °С (скорость коррозии 0,1 мм/год), при влажности 4—36% — удовлетворительно стойки при температуре 200—400 °С (скорость коррозии 0,1—0,6 мм/год) [3, 48, 140].

Серые чугуны в сухом хлоре при температуре ниже 90 °С корродируют со скоростью до 0,8 мм/год, ниже 120 °С — со скоростью до 1,5 мм/год [61, 130, 229]. Во влажном хлоре серые чугуны практически нестойки [3, 48].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в сухом и влажном (10%) хлоре стойки до 100 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3] (по другим данным [48, 61, 229], при 100 °С нестойки). По данным работ [61, 88], во влажном газе при обычной температуре чугун ЧС15 корродирует со скоростью 1—3 мм/год, ЧС17 — со скоростью 0,1—1 мм/год, при 100 °С кремнистые чугуны нестойки.

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в сухом хлоре стойки до 200 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3]. Чугуны, содержащие 3—6,5% Ni и дополнительно легированные 4,5% Cr, во влажном хлоре при 100 °С нестойки [48].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X13 в сухом хлоре при температуре ниже 200 °С корродируют со скоростью до 0,5 мм/год, при 250 °С — со скоростью 0,8 мм/год [48, 229], во влажном газе при обычной температуре — нестойки [1, 68, 150]. Стали типа X17 в сухом хлоре стойки до 200 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [92, 162], при 300 °С корродируют со скоростью 0,8—1,5 мм/год [48, 140, 229]. Во влажном (1,5%) газе в интервале температуры 130—400 °С такие стали удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—0,7 мм/год) [48], при влажности 0,5% и температуре 440 °С корродируют со скоростью до 0,4 мм/год [140]. Хромистые стали, содержащие 25% Cr, в сухом хлоре при температуре до 250 °С корродируют со скоростью менее

0,1 мм/год, при 300 °С — со скоростью 1 мм/год, во влажном (0,6%) хлоре при обычной температуре — нестойки [48, 140, 229].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в сухом хлоре при температуре до 200—300 °С корродируют со скоростью 0,1—0,5 мм/год [3, 48, 140] (по другим данным [1, 2, 61], до 1—1,5 мм/год). Во влажном (0,4—30%) газе при температуре 150—450 °С такие стали удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—0,3 мм/год) [48, 140].

Стали 20Х23Н13, 20Х23Н18 во влажном хлоре при обычной температуре корродируют со скоростью 0,3—1,1 мм/год [5].

Сталь 08Х18Г18Н2Т при обычной температуре в сухом хлоре стойка (скорость коррозии <0,1 мм/год), во влажном газе — нестойка [2, 46]. Сталь 10Х14Г14Н4Т в сухом хлоре при температуре ниже 200 °С обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии до 0,5 мм/год) [48, 229].

Двухфазная сталь 08Х21Н6М2Т при обычной температуре в сухом хлоре стойка (скорость коррозии <0,1 мм/год) [2].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в сухом хлоре при температуре до 250 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год), при 300 °С — корродируют со скоростью 0,3 мм/год, при 400 °С — со скоростью 0,6—0,8 мм/год [48, 140]. По данным работы [3], сплавы типа ХН28МДТ стойки до 100 °С и удовлетворительно стойки до 150 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год). При влажности хлора 0,04% и температуре ниже 250 °С скорость коррозии сплавов 0,1 мм/год, при 300—400 °С — 0,2—0,6 мм/год, при 500—550 °С — нестойки [48, 140]. В хлоре, содержащем 0,4% влаги, сплавы стойки в интервале температуры 100—400 °С, при влажности 4—15% — в интервале 160—400 °С (при 550 °С скорость коррозии до 0,25 мм/год) [140], в хлоре с влажностью 10% при обычной температуре — нестойки [3].

Жаростойкий сплав ХН45Ю в сухом хлоре сохраняет удовлетворительную стойкость (скорость коррозии <0,4 мм/год) до 200—300 °С, при 400 °С сплав нестойк [229].

Никель и сплавы никеля. Никель в сухом хлоре удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) до 250 °С [3], при 350—400 °С — нестойк [48, 140, 229]. Во влажном (0,4%) газе при обычной температуре скорость коррозии никеля 0,1—0,3 мм/год, при температуре до 400 °С — 0,1—0,2 мм/год, при 550 °С — 0,7—1 мм/год. В газе с влажностью 4—15% при температуре до 100 °С никель практически нестойк, в интервале 150—400 °С — стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год). При влажности хлора 30% никель удовлетворительно стоек (скорость коррозии <0,5 мм/год) в интервале температуры 140—300 °С [140] (по данным работы [3] — при температуре 125—250 °С).

Монель-металл в сухом хлоре стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 300—450 °С [61, 140] (по данным справочника [229] — до 250 °С). Согласно работе [3], в сухом хлоре при температуре до 350 °С монель-металл удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год). Во влажном газе при температуре ниже 100 °С монель-металл нестойк [1, 3], при влажности 4—36% и температуре 150—200 °С — стоек [140].

Никельмолибденовый сплав Н70МФВ в сухом хлоре стоек (скорость коррозии 0,1—0,2 мм/год) до 250—300 °С [2, 140], во влажном (<4%) газе — до 100 °С

[1, 2, 48] (по данным работы [140] — до 400 °С). При влажности хлора 15—22% и температуре 100 °С сплав нестоек [2, 48, 140].

Сплав ХН65МВУ в сухом хлоре стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) до 350 °С [3] (по данным работы [140] — до 250 °С). Согласно справочным данным [48, 229], при температуре 200—300 °С скорость коррозии сплава до 1,2 мм/год. Во влажном (до 4%) газе при температуре ниже 400 °С сплав корродирует со скоростью 0,1—0,2 мм/год. В газе с влажностью 15% в интервале температуры 150—400 °С сплав стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) [140], при влажности около 10% и температуре до 75 °С — удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Сплав ХН78Т в сухом хлоре удовлетворительно стоек (скорость коррозии до 0,3—0,6 мм/год) при температуре ниже 300 °С [48, 229] (по данным работы [140], стоек до 300 °С). В газе с влажностью 4% при температуре 150—400 °С сплав корродирует со скоростью менее 0,3 мм/год, при влажности 15% и температуре 160—400 °С — со скоростью менее 0,1 мм/год [140].

Жаростойкий аустенитный сплав ХН70Ю в сухом хлоре сохраняет стойкость до 200—300 °С (скорость коррозии <0,15 мм/год) [229].

Медь и медные сплавы. Медь в сухом хлоре обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) до 150 °С, во влажном хлоре — нестойка [1, 3, 140].

Бронза, латунь в сухом хлоре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 100 °С [1], оловянистая латунь удовлетворительно стойка до 350 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3]. Во влажном хлоре эти металлы нестойки [3, 48].

Мельхиор (11—33% Ni) в сухом и влажном (~10%) хлоре сохраняет стойкость до 100 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Алюминий в сухом хлоре при температуре ниже 100 °С удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [3, 48, 229], при 120—150 °С — нестоек [1, 61, 130]. Во влажном хлоре при температуре ниже 100 °С алюминий нестоек [1, 3]. При влажности газа 1—36% и температуре 150—550 °С алюминий корродирует со скоростью до 0,2 мм/год [140] (по данным работы [3], алюминий удовлетворительно стоек при температуре 125—350 °С).

Свинец в сухом хлоре при температуре до 250 °С корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3] (по данным работы [140] — при 200—250 °С со скоростью 0,6—1,2 мм/год). Во влажном (до 30%) газе свинец удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) в интервале температуры 125—250 °С и нестоек при температуре ниже 100 °С [3]. По данным работ [48, 140], при температуре 130—150 °С свинец корродирует со скоростью 0,8—1,2 мм/год, при 250 °С — нестоек.

Титан и сплавы титана. Титан и его сплавы (BT5-1, BT14, OT4, 4200, 4201 и др.) в сухом хлоре нестойки [1, 3, 131] и при определенной температуре подвержены самовозгоранию (см. табл. 38.14). Во влажном хлоре (>0,013% влаги) при температуре ниже 100 °С титан обладает высокой стойкостью (скорость коррозии <0,01 мм/год) [1, 83, 229]. При влажности газа 0,4% титан сохраняет стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 200 °С, при 4% — до 350 °С, при 15% — до 400 °С [39].

Сплав 4200 во влажном хлоре до 100 °С отличается высокой стойкостью (скорость коррозии <0,01 мм/год) [48]. В сухом хлоре этот сплав нельзя применять даже при комнатной температуре из-за опасности воспламенения [245].

Сплав 4201 в сухом хлоре можно использовать при температуре не выше 60 °С [245].

Цирконий в сухом хлоре при температуре ниже 100 °С корродирует со скоростью до 0,1 мм/год, при 150 °С — со скоростью до 0,5 мм/год [48, 229]. Во влажном газе цирконий удовлетворительно стоек до 40 °С (скорость коррозии <0,5 мм/год) [46].

Тантал в сухом хлоре стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 150—200 °С [1, 3, 229], во влажном (0,5—30%) газе — удовлетворительно стоек до 350—400 °С (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [3, 48, 140].

Другие металлы. Платина, палладий, иридий, родий, рутений, осмий, рений, серебро, золото, ниобий, магний, цинк в сухом хлоре при обычной температуре стойки, олово — нестойко [2, 5, 48, 140], во влажном газе палладий, серебро удовлетворительно стойки, золото, платина, осмий, магний, цинк, олово — нестойки [2, 46, 140, 229].

Хром в сухом хлоре стоек до 280 °С [48, 229], молибден применим до 250 °С [83] (во влажном газе при 95 °С скорость коррозии молибдена 0,6 мм/год [48]).

38.15. Хлороводород — HCl

Хлороводород — бесцветный газ, конденсирующийся в жидкость с температурой кипения —85 °С. Термически хлороводород достаточно устойчив и заметно диссоциирует, начиная с 1500 °С (при 1000 °С степень диссоциации 0,14%).

Коррозионная активность хлороводорода в большой степени определяется влажностью и температурой. Подобно газообразному хлору во влажном хлороводороде при конденсации влаги протекает электрохимическая коррозия, а в сухом газе или без конденсации электролита — газовая коррозия.

При конденсации влаги на металлической поверхности образуется пленка насыщенного раствора соляной кислоты, обладающей высокой агрессивностью по отношению к большинству металлов и сплавов. С повышением температуры конденсация затрудняется и коррозия снижается. Конденсация влаги может происходить при температуре, превышающей температуру точки росы, что связано с понижением давления паров воды над продуктами коррозии. Например, это превышение при влажности хлороводорода до 80% для титана составляет 25—30 °С [250].

При газовой коррозии в сухом хлороводороде поведение металла определяется возможностью образования и сохранения пленки продуктов коррозии в виде хлоридов, что в первую очередь зависит от их летучести. Во влажном хлороводороде при газовой коррозии образуются пленки, состоящие не только из хлоридов, но также из оксидных и хлороксидных соединений, защитные свойства которых улучшаются с увеличением влажности газа.

В табл. 38.16 приведена предельная температура применения металлов и сплавов в сухом хлороводороде.

Таблица 38.16. Предельная температура применения металлов и сплавов в сухом хлороводороде

Металлы и сплавы	Температура, °С (ориентировочно)	Источник
Бронза алюминиевая, кремнистая	100—200	[45, 140]
Бронза Бр.А7	350	[68]
Золото	765—980	[3, 5, 45, 243, 248]
Медь	100—200	[45, 140]
Мельхиор	100	[45]
Монель-металл	230	[248]
	425	[1, 45, 68]
Никель	500—540	[1, 10, 45, 68, 248]
Платина	1100—1200	[3, 45, 243, 248]
Свинец	100	[140]
Серебро	200—250	[45, 243, 248]
Сплав:		
Н70МФВ	400 ¹	[140]
	450	[1, 45, 68, 248]
ХН65МВУ	450—470	[45, 140, 248]
Сталь:		
типа: Х13	450 ²	[44]
Х18Н10Т, Х17Н13М2Т	400—450	[5, 140, 243, 248]
Х23Н13	450	[251]
углеродистая	200—225	[1, 45, 68, 140]
	260	[251]
Тантал	150—370	[3, 10, 45, 140]
Титан	160 ³	[250]
	130—500 ⁴	[250]
Чугун:		
ЧС15, ЧС15М4	150	[45]
никелевый (нирезист)	200—260	[45, 248]
серый	200—220	[140, 248]

¹ Во влажном газе;

² при влажности до 0,5%;

³ при влажности 0,002% (в сухом газе, содержащем 0,0007% влаги, титан воспламеняется);

⁴ при влажности 79%.

Металлы и сплавы в хлороводороде обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали в сухом хлороводороде при температуре ниже 250 °С обладают удовлетворительной стойкостью.

тью (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год), при температуре 260—300 °С корродируют со скоростью 0,5—1 мм/год, при 400—450 °С — нестойки [1, 3, 130, 140]. Во влажном газе при температуре 260 °С скорость коррозии сталей более 1 мм/год [61].

Серые чугуны в сухом хлороводороде до 250 °С удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—1 мм/год), при температуре выше 300—330 °С — нестойки [1, 3, 7, 140].

Среднелегированные стали и чугуны. Хромистая сталь 15X5 в сухом хлороводороде стойка до 250 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год), при 300—350 °С корродирует со скоростью 0,4 мм/год, при 500 °С — со скоростью 1,3—1,4 мм/год. Сталь 12X8ВФ в сухом хлороводороде до 300 °С корродирует со скоростью менее 0,2 мм/год, при 400—500 °С — со скоростью 0,6—1 мм/год [7, 130].

Хромистые чугуны (5—10% Cr) и никелевый чугун (3% Ni) во влажном хлороводороде при температуре 300 °С разрушаются со скоростью 1,7—1,9 мм/год, хромоникелевый чугун (5,2% Ni; 4,5% Cr) — со скоростью 2,8 мм/год [48].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС15М4 в сухом хлороводороде при температуре ниже 150 °С обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,1—1 мм/год), при 175—200 °С — корродируют со скоростью 0,8—1,5 мм/год, при 260—300 °С — нестойки [1, 7, 61, 140]. По данным работы [3], при любой температуре до 175 °С чугуны ЧС15, ЧС17 корродируют со скоростью 0,5—1,3 мм/год.

Хромистые чугуны ЧХ32, ЧХ34 в сухом хлороводороде стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,15 мм/год) и удовлетворительно стойки до 250 °С (скорость коррозии <1,5 мм/год) [7, 140].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в сухом хлороводороде стойки до 150 °С (скорость коррозии <0,5 мм/год) [3]. Чугун ЧН15Д7 удовлетворительно стоек до 250—315 °С (скорость коррозии <0,8—1,5 мм/год) [7, 140].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13, Х17 в сухом хлороводороде стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год); при 250 °С скорость коррозии 0,7—1,1 мм/год, при 400—500 °С — 0,7—1,7 мм/год [1, 61, 130, 140]. Хромистые стали типа Х25, Х28 в сухом хлороводороде стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 200 °С, при 250—350 °С скорость коррозии 0,1—0,7 мм/год, при 400—500 °С — 0,6—1,5 мм/год [1, 7, 48, 140].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в сухом хлороводороде при температуре ниже 100 °С корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год, при 250 °С — со скоростью 0,5—1 мм/год, при 350—400 °С — со скоростью 0,8—1,5 мм/год [1, 7, 61, 140]. По данным работы [3], стали типа Х18Н10Т удовлетворительно стойки до 200 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год), стали типа Х17Н13М2Т стойки до 500 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год).

Сталь 20Х23Н13 в сухом хлороводороде при температуре 340 °С корродирует со скоростью 0,8 мм/год, при 400 °С — со скоростью 1,5 мм/год [7].

Двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т в сухом хлороводороде стойки до 300 °С (скорость коррозии <0,1—0,2 мм/год), при 500 °С скорость коррозии 1,3 мм/год [48].

Аустенитные стали с марганцем 10Х14Г14Н4Т, 10Х14АГ15 в сухом хлороводороде до 300 °С корродируют со скоростью 0,1 мм/год, до 400 °С — со скоростью 0,4 мм/год, при 500 °С — со скоростью 1,3 мм/год [48]. Аусте-

нитно-мартенситные стали 20X13N4Г9, 08X18Г18Н2Т в сухом хлороводороде стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) и удовлетворительно стойки до 250 °С (скорость коррозии до 1,1 мм/год) [7, 48, 140].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в сухом хлороводороде при температуре до 250 °С корродируют со скоростью менее 0,01 мм/год, при 400—450 °С — со скоростью 0,2—0,3 мм/год, при 500—550 °С — со скоростью 0,6—1,3 мм/год [1, 7, 48, 140]. По данным работы [3], сплавы типа ХН28МДТ в сухом хлороводороде сохраняют высокую стойкость (скорость коррозии <0,05 мм/год) до температуры 500 °С.

Никель и сплавы никеля. Никель в сухом хлороводороде стоек до 250 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год), при 400—450 °С скорость коррозии 0,3—0,8 мм/год, при 500—550 °С — 0,7—1,5 мм/год [48, 130, 140]. По справочным данным [1, 3, 61], никель удовлетворительно стоек до 400—500 °С (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год). Во влажном газе при температуре до 510 °С никель стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) [61] и удовлетворительно стоек при 90—100 °С [140].

Монель-металлы в сухом хлороводороде стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 100 °С, при 250 °С скорость коррозии 0,8—1,5 мм/год [7, 48, 140]. По данным работы [3], монель-металлы стоек до 200 °С (по другим данным [1, 61] — до 370—450 °С) и удовлетворительно стоек до 400 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год). Во влажном газе при отсутствии конденсации монель-металлы стоек до 200 °С [61].

Никельмолибденовые сплавы Н70МФВ, ХН65МВУ в сухом хлороводороде обладают удовлетворительной стойкостью до 370 °С (скорость коррозии <0,8 мм/год) [7, 140]. По данным работы [3], сплав типа ХН65МВ при температуре до 400 °С корродирует со скоростью 0,5—1,3 мм/год, сплав типа Н70МФВ при температуре до 370 °С — со скоростью менее 0,05 мм/год, при 400 °С — со скоростью 0,5—1,3 мм/год.

Сплав ХН78Т в сухом хлороводороде стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 400 °С; при 600 °С — скорость коррозии 1 мм/год [7] (по данным работы [140], при 400 °С сплав нестойк).

Медь и медные сплавы. Медь в сухом хлороводороде при температуре до 100 °С корродирует со скоростью 0,1—0,8 мм/год, при 125—200 °С — со скоростью более 1,3 мм/год [1, 3, 7, 61] (по данным работы [44], при 200 °С — со скоростью 0,8 мм/год).

Мельхиор и латунь в сухом хлороводороде при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [5], при 40 °С скорость коррозии латуни 0,5—0,6 мм/год [1, 7].

Бронза в сухом хлороводороде стойка (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 100 °С [1], во влажном газе при 300 °С — нестойка [48].

Алюминий в сухом хлороводороде при температуре ниже 150 °С корродирует со скоростью 0,1 мм/год, при 250 °С — со скоростью 1 мм/год [1, 7, 48, 140], во влажном газе при 20 °С — нестойк [2, 48].

Свинец в сухом хлороводороде при обычной температуре обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии до 0,3—0,5 мм/год), при 100 °С — нестойк [1, 3, 61, 140]. Во влажном газе при температуре 80 °С скорость коррозии свинца 0,2 мм/год [44].

Титан и сплавы титана. Титан в сухом хлороводороде при обычной температуре стоек (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [39], при температуре ниже 250°C удовлетворительно стоек (скорость коррозии <1 мм/год) [7, 39, 140]. Во влажном (79%) газе титан сохраняет стойкость до 130°C (скорость коррозии $<0,1$ мм/год), при температуре ниже 500°C корродирует со скоростью до 1 мм/год [39].

Сплав 4200 в сухом газе при обычной температуре стоек (скорость коррозии $<0,1$ мм/год), при 250°C — нестойк [7, 140].

Сплав 4201 при влажности хлороводорода 2—5% и температуре до 40°C корродирует со скоростью менее 0,1 мм/год, при влажности 20% и температуре 110°C — со скоростью 0,2 мм/год [48].

Серебро в сухом хлороводороде стойко до 100°C (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1], при 230 — 260°C корродирует со скоростью 0,8—1,5 мм/год [68, 229]. По данным работы [3], при температуре до 50°C серебро корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год, при температуре 350 — 450°C — со скоростью менее 0,05 мм/год.

Другие металлы. Тантал, хром в сухом хлороводороде стойки (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) до 300°C , золото — до 1000°C , платина — до 1200°C [3, 140].

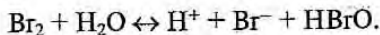
Олово, цинк в сухом газе нестойки при обычной температуре [2, 7, 48].

ГЛАВА 39. НЕКОТОРЫЕ ДРУГИЕ ВЕЩЕСТВА

39.1. Бром — Br_2

При обычных условиях бром представляет собой тяжелую ($\rho = 3,11$ г/см³) красно-бурую, почти черную жидкость. Температура кристаллизации жидкого брома $-7,25^{\circ}\text{C}$, температура кипения — $59,2^{\circ}\text{C}$. В жидком и парообразном состоянии молекула брома состоит из двух атомов (в парах обнаружены молекулы Br_4). Пары брома довольно устойчивы, заметная термическая диссоциация происходит при температуре выше 1000°C (степень диссоциации при 1284°C составляет 18,3%, при 1727°C — 72%).

Жидкий влажный бром содержит до 0,05% влаги, сухой бром содержит менее 0,01% влаги. Растворимость брома в воде невелика, при температуре 20 — 50°C концентрация насыщенного бромом воды (бромной воды) около 3,3%. Насыщенная бромная вода кипит при $53,5^{\circ}\text{C}$. При такой температуре содержание брома в воде 3,5%, в паре — 98,8%. В воде бром частично подвергается гидролизу:



Степень гидролиза брома в насыщенном растворе при 25°C составляет 0,85%.

Бром является сильным окислителем и по активности мало уступает хлору. В сухом бrome многие металлы образуют защитные пленки бромидов, неразстворимые в бrome, что обеспечивает медленное протекание коррозионного процесса. В присутствии воды пленки растворяются, и скорость коррозии резко возрастает. Поэтому влажный бром и особенно его водные растворы

обладают высокой агрессивностью. Большинство металлов в жидком бrome, содержащем влагу, подвергаются интенсивной коррозии, а в осушенном бrome многие из них почти не корродируют или разрушаются в значительно меньшей степени.

Образующиеся при гидролизе брома ионы Br^- оказывают активное депассивирующее действие на металлы в пассивном состоянии, способствуя возникновению локальной коррозии. Следует отметить, что для титана бромид-ионы являются более сильными депассиваторами, чем хлорид-ионы.

Металлы и сплавы в бrome обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали при обычной температуре в жидком сухом бrome стойки (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год) [1, 129] (по другим данным [3, 4, 46], скорость коррозии $0,5-1,3$ мм/год), во влажном бrome и в бромной воде — нестойки [1, 3, 46, 129]. В парах брома при 20°C скорость коррозии сталей $0,1$ мм/год [61].

Серые чугуны в сухом и влажном жидком бrome при обычной температуре и в его парах при температуре до 75°C нестойки [3, 48].

Высоколегированные чугуны. Кремнистый чугун ЧС15 в сухом и влажном жидком бrome при 20°C корродирует со скоростью $0,1-1$ мм/год, чугун ЧС17 — со скоростью менее $0,1$ мм/год, при температуре кипения такие чугуны нестойки [4, 88]. По данным работ [1, 3], кремнистые чугуны при обычной температуре в сухом жидком бrome корродируют со скоростью $0,5-1,3$ мм/год, во влажном бrome — нестойки. В сухих и влажных парах брома при обычной температуре кремнистые чугуны стойки (скорость коррозии $< 0,5$ мм/год) [1], при температуре 75°C — нестойки [48]. В бромной воде при обычной температуре кремнистые чугуны применимы (скорость коррозии до $1,3$ мм/год) [1, 62].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) при обычной температуре в сухом бrome корродируют со скоростью $0,5-1,3$ мм/год, во влажном бrome и его парах — нестойки [3, 48].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X13—X28, хромоникелевые стали типа X18N10T, X17N13M2T в сухом и влажном жидком бrome и бромной воде при обычной температуре нестойки [1, 3, 88, 150]. При деаэрации (0,01% влаги) бrome при температуре до 50°C стали корродируют со скоростью менее $0,1$ мм/год при локальном характере разрушения [252]. Содержание продуктов коррозии в сухом бrome достигает $0,2-0,5\%$, что не позволяет использовать указанные стали в качестве конструкционных материалов для соответствующего оборудования [252].

Аустенитная сталь 20X25N20C2 в жидком влажном бrome при 20°C корродирует со скоростью до $0,2$ мм/год, при 50°C — со скоростью $0,2-0,3$ мм/год [129].

Двухфазная сталь 08X22N6T при нормальной температуре в жидком влажном бrome и бромной воде нестойка [1], сталь 08X21N6M2T во влажном бrome корродирует со скоростью $0,8$ мм/год, в сухом (0,01%) бrome при деаэрации — со скоростью менее $0,1$ мм/год [252].

Высоколегированные стали в жидком бrome и бромной воде подвержены питтинговой коррозии.

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в сухом и влажном жидком бrome и бромной воде при обычной температуре нестойки [1, 2]. При деаэрации в сухом (0,01% влаги) бrome при температуре до 50 °С сплавы корродируют со скоростью 0,02 мм/год [252].

Никель и сплавы никеля. Никель в жидком бrome и его парах подвержен точечной коррозии. В сухом жидком бrome никель стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 100 °С [3], во влажном бrome — до 50 °С [1, 61, 68] (по данным работы [3] — только при обычной температуре). При этом во влажном бrome никель подвержен питтинговой коррозии, а в сухом бrome на сварных соединениях никеля наблюдается язвенная коррозия [252]. В сухих парах при температуре ниже 50 °С никель стоек [61, 68, 129], во влажных парах — корродирует со скоростью 0,2—2,7 мм/год [44, 48, 68], в бромной воде в зависимости от температуры — со скоростью от 0,05 до 1,3 мм/год [44].

Монель-металл в сухом жидком бrome стоек до 50 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 3, 68], во влажном бrome при обычной температуре — нестойк [3, 48, 252]. В сухих и влажных парах брома при температуре ниже 50 °С монель-металл стоек (скорость коррозии до 0,1—0,3 мм/год) [68, 129], но в сухих парах подвергается интенсивной питтинговой коррозии [252]. По данным справочника [48], монель-металл нестойк во влажных парах брома.

Никельмолибденовые сплавы ХН65МВ, Н70МФВ в сухом и влажном жидком бrome при температуре до 50 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 48, 68] (по данным работы [3], во влажном бrome сплавы нестойки). В сухих и влажных парах брома при температуре ниже 75 °С скорость коррозии таких сплавов менее 0,05 мм/год, при 100—350 °С — скорость коррозии до 0,5 мм/год [3, 48]. В бромной воде при обычной температуре никельмолибденовые сплавы стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 2].

Сплав ХН78Т при 20 °С в сухом бrome корродирует со скоростью менее 0,1 мм/год, во влажном бrome — со скоростью до 0,2 мм/год, при этом сплав подвержен питтинговой коррозии [48, 252]. В условиях деаэрации в сухом (0,01% влаги) бrome при температуре до 50 °С сплав корродирует со скоростью 0,0003 мм/год [252].

Медь и медные сплавы. Медь, бронза, латунь при обычной температуре в сухом жидком бrome удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год), во влажном бrome и бромной воде — нестойки [1, 3, 5, 234].

Медноникелевые сплавы (мельхиоры) при нормальной температуре в сухом жидком бrome корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год, во влажном бrome — нестойки [5, 68].

Алюминий при обычной температуре в сухом жидком бrome корродирует со скоростью до 0,5 мм/год [3, 62], в сухих парах — со скоростью менее 0,1 мм/год [61], во влажном бrome — неприменим [1, 3, 48].

Свинец при обычной температуре в сухом жидком бrome стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) [3, 68], во влажном бrome — нестойк [1, 3, 46]. В сухих и влажных парах брома при температуре до 50 °С скорость коррозии свинца менее 0,1 мм/год, при 75 °С — более 1 мм/год [3, 5, 129]. В бромной воде при обычной температуре свинец корродирует со скоростью 0,2—0,4 мм/год [62, 68] (согласно данным работ [1, 44], свинец нестойк).

Титан и титановые сплавы ВТ5-1, ВТ14, АТ3, ОТ4, 4200, 4201 в сухом и влажном жидком броме при нормальной температуре нестойки [1, 3, 10, 39]. По данным работы [253], в жидком броме при температуре 0—23 °С через 4—150 мин титан ВТ1-0, ВТ1-1 и сплавы ВТ5-1, АТ3, ОТ4-0, 4200 самовозгораются. Сплав 4201 не подвергается самовозгоранию, но совершенно нестойк.

В парах брома при 30 °С и в бромной воде до 60 °С титан стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 10, 39, 68].

Тантал в сухом и влажном жидком броме стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) до температуры кипения [1, 3, 249], в сухих и влажных парах брома — до 250 °С (при 300 °С нестойк) [3, 48]. В бромной воде тантал сохраняет стойкость до 150 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1].

Серебро в сухом и влажном жидком броме и бромной воде стойко (скорость коррозии <0,1 мм/год) [3, 68] до температуры 50—70 °С. Согласно работам [44, 48, 62], в жидком броме и бромной воде серебро неприменимо.

Платина и металлы платиновой группы. Платина в сухом жидком броме при обычной температуре применима [3—5, 68], во влажном броме — неприменима [62]. В бромной воде при 20 °С скорость коррозии платины менее 0,1 мм/год [4, 5, 10].

Иридий, родий, рутений при 20 °С в сухом и влажном жидком броме стойки, палладий, осмий — нестойки. В бромной воде осмий, иридий, родий, рутений корродируют со скоростью 0,001—0,1 мм/год, палладий — со скоростью до 0,1—1 мм/год [3, 10, 48].

Другие металлы. Вольфрам, цирконий в сухом жидком броме при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [43, 48]. В сухих парах брома вольфрам стоек при температуре до 250 °С, цирконий — до 200 °С [48].

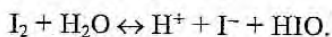
Молибден в сухом жидком броме и его парах обладает очень высокой стойкостью до 450 °С [5, 10, 48].

Олово, цинк, золото при комнатной температуре в сухом и влажном жидком броме и бромной воде нестойки [5, 10, 48, 68], ниобий — стоек до 100 °С [10, 43] (при температуре до 50 °С скорость коррозии <0,001 мм/год [252]).

39.2. Иод — I₂

При обычных условиях иод находится в твердом состоянии ($\rho = 4,94 \text{ г/см}^3$) в виде черно-серых кристаллов с фиолетовым металлическим блеском. Температура плавления иода 113,5 °С (плотность жидкого иода $\rho = 3,96 \text{ г/см}^3$), температура кипения 184,4 °С. Молекула иода состоит из двух атомов. Заметная термическая диссоциация иода происходит при температуре выше 600 °С (степень диссоциации при 727 °С — 2,8%, при 1727 °С — 89,5%).

Иод достаточно хорошо растворим в спирте (16,7% при 15 °С; 21,4% при 25 °С). Растворимость иода в воде невелика, концентрация растворов при 15 °С — 0,03%, при 35 °С — 0,05%, при 60 °С — 0,11%, при 100 °С — 0,33%. В воде иод частично подвергается гидролизу:



Иод является сильным окислителем, но обладает наименьшей реакционной способностью из всех галогенов. Многие металлы реагируют с иодом толь-

ко при повышенной температуре или в присутствии влаги. В сухом иоде, в том числе в парообразном состоянии, на металлах образуются защитные пленки иодидов. С водяными парами иод не реагирует.

В присутствии влаги иод вступает в реакцию с водой с образованием небольших количеств иодоводородной и иодноватой кислот, а также ионов I^- , обладающих депассивирующим действием. Поэтому наличие влаги в твердом или жидком иоде и присутствие водного конденсата в парах иода способствуют усилению общей и точечно-язвенной коррозии. К тому же иодиды всех металлов (кроме AgI , Cu_2I_2 и Hg_2I_2) хорошо растворимы в воде. Склонность к локальной коррозии легированных сталей и сплавов Ni-Cr при температуре 170–230 °C резко возрастает в ряду: пары иода — жидкий иод — влажный жидкий иод [251].

Отметим, что технические сорта иода содержат небольшие количества различных примесей, которые также могут влиять на коррозионную стойкость металлов и сплавов.

В табл. 39.1 приведена предельная температура применения металлов и сплавов в иоде и его парах.

Таблица 39.1. Предельная температура применения металлов и сплавов в иоде и его парах

Металлы и сплавы	Температура, °C (ориентировочно)		Источник
	иод	пары иода	
Молибден	120–170	700	[2, 48, 129, 251]
Никель	—	300	[251]
Ниобий	120–170	200–230	[2, 48, 129, 251]
Платина	125–175	250	[48]
Свинец	100–120*	120	[1, 44, 61, 251]
Сплав:			
06ХН28МДТ	—	230–330	[1, 2, 251]
ХН65МВУ	100–170	—	[48]
Н70МФВ	100–170	450	[1, 48, 129, 251]
ХН78Т	—	450	[251]
Сталь типа Х17Н13М2Т	—	300	[251]
Тантал	150	200–300	[1, 5, 10, 48, 251]
Чугун:			
ЧС15, ЧС17	200	175–200	[1, 61, 129, 251]
ЧХ34	—	175	[44, 61, 129]

* В сухом иоде.

Металлы и сплавы в иоде обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали в сухом иоде при обычной температуре достаточно стойки (скорость коррозии 0,1–0,2 мм/год) [1, 3, 61], при 50 °C — нестойки [129]. Влажный иод при 20 °C разрушает стали со скоростью до 0,5 мм/год [1] (по другим данным [2, 48, 61], стали нестой-

ки). В парах иода при нормальной температуре скорость коррозии сталей 0,1—0,5 мм/год при точечно-язвенном характере разрушения [1, 48, 251]. В растворах иода в воде и спирте при комнатной температуре углеродистые стали нестойки [2, 44].

Серые чугуны в сухом иоде при 20 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 3, 48], во влажном иоде и в спиртовых растворах — нестойки [1, 44]. В парах иода при температуре 20 °С скорость коррозии чугунов 0,1 мм/год, при 70—200 °С — 1,3—2 мм/год при точечном характере разрушения [1, 3, 48].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в иоде при температуре ниже 200 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1]. В парах иода при 175—230 °С скорость коррозии чугунов 0,8—1 мм/год [61, 129, 251] (по другим данным [3, 4, 46], >1,3 мм/год). На кремнистых чугунах наблюдается точечно-язвенное разрушение [251]. В спиртовом растворе иода при обычной температуре кремнистые чугуны обладают высокой стойкостью (скорость коррозии <0,01 мм/год) [44].

Хромистый чугун ЧХ34 в парах иода при температуре 175 °С стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) [44, 61, 129].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х28 при 20 °С в сухом иоде корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год, во влажном иоде — нестойки [1, 4, 112]. В парах иода при температуре 50—175 °С и в водных растворах иода такие стали нестойки [1, 46, 129].

Аустенитные хромоникелевые стали типа Х18Н10Т в сухом иоде при температуре до 100 °С стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год), стали типа Х17Н13М2Т — удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3]. Во влажном иоде стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т нестойки [1, 61, 88, 112]. В сухих и влажных парах иода при комнатной температуре хромоникелевые стали корродируют со скоростью 0,1—0,2 мм/год [1, 48, 251], при температуре 200—230 °С — со скоростью до 0,5 мм/год [2, 251] (по другим данным [48, 61, 129], стали нестойки). Характер разрушения сталей (особенно типа Х18Н10Т) во влажном иоде и его парах — точечно-язвенный [129]. При обычной температуре в спиртовых растворах иода хромоникелевые стали стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [112], в водных растворах иода — нестойки [46, 62, 88].

Стали 20Х23Н13, 20Х23Н18 при обычной температуре в сухом иоде корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [88], во влажном иоде — со скоростью до 1,1 мм/год [5].

Двухфазная сталь 08Х21Н6М2Т при нормальной температуре в сухом иоде стойка (скорость коррозии <0,1 мм/год), во влажном иоде — удовлетворительно стойка (скорость коррозии <0,5 мм/год) [2]. В жидком сухом и влажном иоде при температуре 170 °С сталь нестойка [251].

Нержавеющие стали с марганцем 10Х14Г14Н4Т, 08Х18Г18Н2Т при 20 °С в сухом иоде стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год), во влажном иоде — нестойки [2, 15, 48, 112].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в сухом и влажном иоде при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1—0,2 мм/год [1—3], при 50 °С во влажном иоде — нестойки и подвержены точечно-язвенному разрушению [1, 129]. В сухих парах иода сплавы стойки до 200—230 °С (скорость

коррозии $<0,1$ мм/год) [1, 2, 251]. В жидком сухом и влажном иоде при 170°C скорость коррозии таких сплавов до $0,6$ мм/год [251].

Никель и сплавы никеля. В сухом иоде при обычной температуре никель стоек (скорость коррозии $<0,05$ мм/год), при температуре до 100°C — корродирует со скоростью $0,5$ — $1,3$ мм/год [3]. Во влажном иоде при 115°C скорость коррозии никеля $0,7$ мм/год [1]. В жидком сухом иоде при температуре 170°C никель обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии $0,8$ мм/год), во влажном жидком иоде — корродирует со скоростью $0,8$ — $1,9$ мм/год [48, 251]. В парах иода при 115°C скорость коррозии никеля $0,7$ мм/год, при 200 — 230°C — $0,2$ мм/год [1, 129, 251], при 490°C никель нестойк [48]. В водных и спиртовых растворах никель неприменим [2, 4, 44]. В сухом и влажном жидком иоде и в его парах никель подвержен точечно-язвенной коррозии [48, 251].

Монель-металл при обычной температуре в сухом иоде стоек (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1, 3, 61], во влажном иоде — нестойк [5, 61]. В парах иода при 20°C монель-металл корродирует со скоростью $0,6$ мм/год [251], при 75°C — нестойк [1, 61]. В водных растворах иода при обычной температуре и во влажных парах иода при температуре до 150°C монель-металл нестойк [3, 46].

Никельмолибденовый сплав Н70МФВ в иоде стоек (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до 100°C [1, 2, 48], при 120°C — удовлетворительно стоек (скорость коррозии $0,35$ мм/год) [129]. В жидком сухом иоде при 170°C сплав корродирует со скоростью $0,3$ — $0,4$ мм/год, во влажном жидком иоде — со скоростью $0,3$ — $1,1$ мм/год [48, 251]. В парах иода при 120°C скорость коррозии сплава $0,35$ мм/год [1], при 200 — 300°C — $0,3$ мм/год, при 450°C — $1,2$ мм/год [48]. В сухом и влажном жидком иоде и в его парах сплав Н70МФВ подвержен точечно-язвенной коррозии [48, 251].

Сплав ХН65МВУ в сухом иоде стоек до 250°C (скорость коррозии $<0,05$ мм/год), во влажном иоде — удовлетворительно стоек до 100°C (скорость коррозии $0,05$ — $0,5$ мм/год) [3]. В жидком иоде при 125 — 175°C сплав удовлетворительно стоек (скорость коррозии $<0,5$ мм/год), в парах иода при 450°C — нестойк [48].

Сплав ХН78Т в парах иода при температуре 200 — 230°C стоек (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [251].

Медь и медные сплавы. Медь в сухом иоде при 20°C обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии до $0,5$ мм/год), при 50°C — нестойка [1, 3, 61, 129]. Во влажном иоде при обычной температуре медь нестойка [3, 62]. В парах иода при обычной температуре медь корродирует со скоростью менее $0,2$ мм/год [251], при 50°C — нестойка [1]. В водных и спиртовых растворах иода медь нестойка [2, 44, 62].

Бронза в сухом иоде при 20°C обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии $0,1$ — $0,5$ мм/год), при 75 — 100°C — нестойка [1, 48].

Латунь в иоде и водных растворах при обычной температуре и в парах иода при 50°C нестойка [1, 3, 129, 62].

Мельхиор, содержащий 20 — 30% Ni, в сухом иоде и в его парах при обычной температуре стоек (скорость коррозии $<0,1$ мм/год), при 50°C — нестойк [5, 48].

Алюминий в сухом иоде при обычной температуре стоек (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [1—3], при 100°C в сухом и влажном иоде — нестойк [1, 48].

Во влажных парах иода при любой температуре до 200 °С алюминий нестойк [1, 3, 129]. В водных растворах иода при обычной температуре алюминий стойк (скорость коррозии <0,03 мм/год) [1, 46], в спиртовых растворах — нестойк [1, 2, 44].

Свинец в сухом иоде стойк до 115 °С (скорость коррозии 0,1—0,25 мм/год), во влажном иоде при 20 °С — нестойк [1, 48]. В парах иода свинец стойк при температуре до 115 °С (скорость коррозии <0,2 мм/год) [1, 61, 129], при 200—230 °С — нестойк [2, 48, 251]. По данным работы [3], во влажных парах при температуре 50—150 °С свинец нестойк.

Титан в сухом иоде при обычной температуре стойк (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1], при 40—60 °С — нестойк [10, 39, 48]. Во влажном иоде титан обладает высокой стойкостью до 115 °С (скорость коррозии 0,001 мм/год) [1, 39, 129]. В парах иода при нормальной температуре титан стойк (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 68], при 115 °С — нестойк [39, 129].

Тантал в сухом иоде сохраняет стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 250 °С [3], во влажном иоде — до 150 °С [1, 5]. В жидком сухом и влажном иоде при температуре 150—170 °С скорость коррозии тантала менее 0,1 мм/год [2, 10, 251]. В сухих и влажных парах иода при температуре ниже 200—300 °С тантал стойк (скорость коррозии <0,1 мм/год) [2, 10, 251], при 350 °С — нестойк [48]. При температуре выше 250—300 °С коррозионное разрушение тантала сопровождается сильным охрупчиванием металла [1, 251].

Ниобий в сухом и влажном жидком иоде при температуре 120—170 °С корродирует со скоростью менее 0,06 мм/год. В парах иода ниобий сохраняет стойкость до 200—230 °С (скорость коррозии <0,01 мм/год) [2, 129, 251], при 275 °С — нестойк и подвергается коррозионному растрескиванию [48].

Молибден в иоде стойк (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 100 °С и удовлетворительно стойк (скорость коррозии 0,3—0,5 мм/год) до 120 °С [129]. В сухом и влажном жидком иоде при 170 °С скорость коррозии молибдена менее 0,01 мм/год. В парах иода молибден сохраняет стойкость до 200—300 °С (скорость коррозии <0,06 мм/год) [2, 48, 251], при температуре 450 °С корродирует со скоростью 0,7 мм/год [48].

Серебро при обычной температуре в сухом иоде стойко (скорость коррозии <0,1 мм/год), во влажном иоде и в водных растворах нестойко [1, 48, 62]. В спиртовых растворах иода при комнатной температуре скорость коррозии серебра 0,1—0,5 мм/год [2].

Золото в сухом и влажном иоде при 20 °С стойко (скорость коррозии <0,01 мм/год) [5, 10, 46], при 50 °С в сухом иоде — нестойко [2, 68]. В спиртовых растворах при обычной температуре золото корродирует со скоростью 0,04—0,1 мм/год [10, 68] (по другим данным [2, 5], скорость коррозии >0,5—1 мм/год).

Платина и металлы платиновой группы. Платина в сухом и влажном иоде при обычной температуре стойка (скорость коррозии <0,01 мм/год) [2, 5, 10]. В жидком иоде при температуре 125—175 °С скорость коррозии платины менее 0,05 мм/год. В парах иода платина стойка (скорость коррозии <0,05 мм/год) до 250 °С, при 370 °С — нестойка [48]. В спиртовых растворах при 20 °С скорость коррозии платины менее 0,01 мм/год [2, 5, 10]. В водных растворах при обычной температуре платина применима [2, 46] (по данным работы [62] — неприменима).

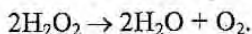
Иридий, осмий, палладий, родий, рутений при обычной температуре в сухом и влажном иоде и в спиртовых растворах обладают высокой стойкостью (скорость коррозии $< 0,01-0,05$ мм/год) [3, 5, 10, 48].

39.3. Пероксид водорода — H_2O_2

Пероксид водорода — бесцветная жидкость ($\rho = 1,45$ г/см³) с температурой кристаллизации $-0,48$ °С и температурой кипения $150,2$ °С. С водой пероксид водорода смешивается в любых отношениях. Водные растворы замерзают при более низкой температуре, чем чистый пероксид (минимальную температуру замерзания, равную $-54,5$ °С, имеет раствор концентрацией 58,8%).

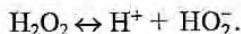
Пероксид водорода выпускают в виде 30—90%-ных водных растворов (30%-ный раствор, содержащий стабилизирующие добавки, называется пергидроль). Концентрированные растворы пероксида взрывоопасны (100%-ный пероксид взрывается при температуре около 151 °С). Продаваемый раствор пероксида водорода имеет концентрацию 3%.

В присутствии ионов тяжелых металлов (Fe, Cr, Mn, Cu, Zn и др.), а также под действием света и нагрева пероксид водорода подвергается распаду:



Неустойчивость связана с низкой прочностью связи двух атомов кислорода в молекуле пероксида $H-O-O-H$. Чистый пероксид водорода достаточно устойчив (при 20 °С скорость распада $\sim 0,5\%$ в год); 90%-ный раствор распадается со скоростью 1% в год при 30 °С, 1% в неделю при 66 °С и 2% в сутки при 100 °С. Разбавленные водные растворы пероксида более устойчивы. Кроме того, их стабильность зависит от характера растворов: в кислой среде распад происходит легче, чем в щелочной среде. Максимальной стабильностью обладают водные растворы при pH 3,5—4,5.

В воде пероксид водорода может диссоциировать с образованием катионов водорода:



Поэтому пероксид водорода является очень слабой двухосновной кислотой ($K_1 = 2,6 \cdot 10^{-12}$). Протолиз по второй ступени диссоциации практически не протекает.

Пероксид водорода обладает как окислительными, так и восстановительными свойствами: может окислять вещества с равновесным потенциалом $E^\circ < 1,78$ В и восстанавливать вещества с потенциалом $E^\circ > 0,68$ В.

Материалы, пригодные для изготовления оборудования, работающего в контакте с пероксидом водорода, должны обладать высокой коррозионной стойкостью, чтобы ни они сами, ни продукты их коррозии не вызывали каталитического распада пероксида.

В табл. 39.2 приведены предельные условия применения металлов и сплавов в растворах пероксида водорода.

Таблица 39.2. Предельные условия применения металлов и сплавов в растворах пероксида водорода

Металлы и сплавы	Концентрация, %	Температура, °С	Источник
Алюминий	90	50	[1, 61, 59, 130]
Магний	Любая	50	[61]
Никель	90	50	[130]
Олово	Любая	50	[130]
Сплав:			
06ХН28МДТ	Любая	100	[1, 2]
Н70МФВ	Любая	60	[1]
Сталь:			
типа Х13-Х28	20	80	[46, 59, 61, 130]
типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т	Любая	Кип.	[59, 61, 130]
углеродистая	10*	Кип.	[1]
Тантал	Любая	100	[1, 46, 130]
Цинк	90*	50	[10, 130]
Цирконий	Любая	50	[83]

* Чистый пероксид.

Металлы и сплавы в пероксиде водорода обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали в чистом пероксиде водорода при обычной температуре стойки (скорость коррозии $< 0,001$ мм/год) [130]. В растворах концентрацией менее 10% с $pH > 7$ углеродистые стали и серые чугуны обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии $< 0,5$ мм/год) до температуры кипения, в более концентрированных растворах при обычной температуре — нестойки и вызывают каталитический распад пероксида [1—3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 при температуре до 100 °С в чистом пероксиде водорода стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год), в растворах концентрацией 10—40% корродируют со скоростью 0,5—1,3 мм/год [3].

Хромистые чугуны ЧХ28, ЧХ34 при 20 °С в 30%-ном растворе стойки (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год) [4, 43, 130].

Никелевые (14—32% Ni) чугуны типа нирезист при нормальной температуре в растворах концентрацией 20—30% стойки (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год) [4, 46, 61].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х28 при обычной температуре в любых растворах пероксида водорода стойки (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год) [61, 88, 130], при температуре 90—100 °С — нестойки [1].

Аустенитные хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в любых растворах пероксида водорода при комнатной температуре стойки (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год) [88, 150], при 100 °С в растворах концентрацией до 40% — удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3]. По данным работ [61, 130], при температуре кипения в любых растворах перок-

сида водорода стали типа Х18Н10Т корродируют со скоростью 0,1—1 мм/год, стали Х17Н13М2Т — со скоростью менее 0,1 мм/год

Двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т при нормальной температуре в 20%-ном растворе стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [2, 15].

Нержавеющие стали с марганцем 10Х14Г14Н4Т, 08Х18Г18Н2Т при 20 °С в любых растворах пероксида водорода стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год), при температуре 80—90 °С — нестойки [2, 43, 15] и сильно влияют на каталитическое разложение пероксида [2].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в любых растворах пероксида водорода стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры 60 °С, при 100 °С скорость коррозии сплавов 0,1—1 мм/год [1, 2]. По данным работы [3], такие сплавы в чистом пероксиде водорода и в растворах концентрацией 10—40% при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Никель и сплавы никеля. Никель при обычной температуре в любых растворах пероксида водорода корродирует со скоростью менее 0,1 мм/год, монель-металл — со скоростью 0,1—1 мм/год [1, 61, 130]. Согласно работе [3], никель, монель-металл в растворах концентрацией 10—20% (рН > 7) при температуре до 75 °С удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год), в более концентрированных растворах (рН < 7) при обычной температуре — нестойки. В чистом пероксиде водорода при обычной температуре никель, монель-металл стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Никельмолибденовый сплав Н70МФВ стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) в любых растворах пероксида водорода при температуре ниже 60 °С [1]. По данным работы [3], в растворах концентрацией 10—40% при обычной температуре сплав нестойк (скорость коррозии >1,3 мм/год). Сплавы типа ХН65МВ в растворах пероксида водорода концентрацией 10—50% при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Медь и медные сплавы. Медь, бронзы, латуни в растворах пероксида водорода неприменимы при обычной температуре (корродируют с большой скоростью и вызывают каталитический распад пероксида) [1—3, 130]. Согласно работам [4, 46], кремнистые и алюминиевые бронзы при обычной температуре применимы в растворах пероксида.

Алюминий и его сплавы типа АМг в чистом пероксиде водорода и в любых растворах стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) при температуре ниже 50—70 °С [1, 3, 61, 130]. Сплавы типа АМц и силумины при комнатной температуре практически не подвергаются коррозии в разбавленных (6%) растворах пероксида водорода [4].

Титан в растворах пероксида водорода концентрацией до 50% при температуре ниже 100 °С стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3]. Согласно справочнику [1], в любых растворах пероксида водорода при обычной температуре скорость коррозии титана до 0,1—0,25 мм/год. По данным работы [39], титан разлагает пероксид водорода в растворах концентрацией 30 и 60%, и его не рекомендуют применять для изготовления соответствующего оборудования.

Другие металлы. Цирконий, тантал в растворах пероксида водорода концентрацией до 50% при температуре ниже 100 °С стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) [1, 3].

Цинк, олово, магний в растворах пероксида водорода стойки при температуре до 50 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 61, 83, 130].

Свинец при нормальной температуре нестойк в растворах пероксида водорода [1], серебро, платина, золото — неприменимы, так как вызывают каталитическое разложение пероксида водорода [1, 43, 130].

39.4. Сера — S

Чистая сера — желтое вещество, имеющее две кристаллические формы. При температуре ниже 95,4 °С сера существует в виде ромбических кристаллов ($\rho = 2,07 \text{ г/см}^3$), выше этой температуры сера образует бледно-желтые моноклинические кристаллы ($\rho = 1,96 \text{ г/см}^3$) с температурой плавления 119,3 °С. Температура кипения серы 444,6 °С.

При обычных условиях сера существует в виде зигзагообразных цепей, образующих кольцевые молекулы S_8 . При температуре выше 150—160 °С кольцевые молекулы начинают разрываться и в жидкой сере присутствуют молекулы S_8 — S_4 . Пары кипящей серы содержат 59% молекул S_8 , 34% — S_6 , 4% — S_4 и 3% — S_2 . С повышением температуры равновесие между различными молекулами смещается в сторону образования молекул S_2 , и при 800—1400 °С пары состоят главным образом из таких молекул. Молекулы S_2 термически устойчивы и заметно диссоциируют после 1500 °С (при 1700 °С пары серы состоят из отдельных атомов).

В химическом отношении при обычной температуре сера сравнительно инертна, но при нагреве ее активность значительно возрастает. При температуре 280 °С сера горит в кислороде, а при 360 °С — на воздухе с образованием оксидов серы. Сера взаимодействует непосредственно со всеми элементами, кроме азота, иода, золота, платины и инертных газов. При комнатной температуре сера взаимодействует с медью, серебром, а при нагревании — с оловом, свинцом, никелем, цинком и др. Металлы платиновой группы (кроме платины) и тугоплавкие металлы взаимодействуют с серой в мелкодисперсном состоянии при высокой температуре.

В табл. 39.3 приведена предельная температура применения металлов и сплавов в расплавах серы.

Таблица 39.3. Предельная температура применения металлов и сплавов в расплавах серы

Металлы и сплавы	Температура, °С (ориентировочно)	Источник
Алюминий	445	[1, 3, 44, 62, 68]
Золото	200	[3]
Латунь	130	[1, 59]
Молибден	450—600	[44, 83]
Монель-металл	100—130	[3]
Никель	150—200	[3]
Платина	200	[3]

Металлы и сплавы	Температура, °С (ориентировочно)	Источник
Сплав:		
06ХН28МДТ	200	[44]
Н70МФВ	130—140	[1]
ХН65МВУ	275—300	[3, 44]
Сталь:		
типа Х13-Х28	130	[1, 4, 61, 62, 150]
типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т	130—140	[1, 15, 62, 88, 150]
углеродистая	200—250	[1, 3, 43, 44, 61]
Тантал	200	[3]
Титан	240—300	[1, 3, 4, 10, 43]
Хром	445	[62]
Цинк	130	[62]
Чугун:		
ЧС15, ЧС17	445	[61, 62, 88]
	300	[3]
серый	130	[1, 61, 62]
	260	[5]

Металлы и сплавы в сере обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали в расплавах серы при температуре до 445 °С обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) [1, 43, 61]. Согласно работе [3], при температуре до 100 °С углеродистые стали в сере корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год, до 250 °С — со скоростью 0,05—0,5 мм/год, при 300 °С — нестойки.

Серые чугуны в расплавах серы при температуре до 445 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 61]. По данным работы [3], при температуре до 100 °С чугуны корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год, до 200 °С — со скоростью 0,05—0,5 мм/год, до 250 °С — со скоростью 0,5—1,3 мм/год.

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в расплавах серы стойки до 350 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3], при 445 °С удовлетворительно стойки (скорость коррозии до 1 мм/год) [4, 61, 88].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в сере при температуре до 75 °С корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год, до 200 °С — со скоростью 0,05—0,5 мм/год, до 250 °С — со скоростью 0,5—1,3 мм/год [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х28 в расплавах серы при температуре 130 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 4, 150], при температуре кипения — нестойки [4, 61, 62]. В парах серы при температуре до 360 °С стали типа Х25, Х28 разрушаются со скоростью 0,25 мм/год, при 450—575 °С — со скоростью 0,7—1,2 мм/год [45].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т в сере при температуре ниже 125 °С удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год), стали типа

X17H13M2T — стойки (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [2, 3]. По данным работ [1, 15, 88, 150], в расплавах серы стали типа X18H10T, X17H13M2T стойки при температуре 130—140 °С (скорость коррозии $<0,1$ мм/год), при температуре до 350 °С стали типа X18H10T корродируют со скоростью 0,5—1,3 мм/год, стали типа X17H13M2T — со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3]. В парах серы стали типа X18H10T неприменимы [44].

Двухфазная сталь 08X22H6T в расплавах серы при температуре 140 °С сохраняет высокую стойкость (скорость коррозии $<0,01$ мм/год) [15].

Сталь 08X18Г18Н2Т в расплавах серы при температуре 125 °С стойка (скорость коррозии $<0,1$ мм/год), при 140 °С удовлетворительно стойка (скорость коррозии 0,1—1 мм/год), при 445 °С нестойка [2, 4, 88].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в сере при температуре до 130 °С корродируют со скоростью 0,1—0,5 мм/год, до 445 °С — со скоростью 0,5—1,3 мм/год [1, 3]. В парах серы сплавы стойки до 800 °С (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [44].

Никель и сплавы никеля. Никель в сере и расплавах стоек до 150 °С (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) и удовлетворительно стоек до 300 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год). Монель-металл в сере и ее расплавах при температуре до 100 °С корродирует со скоростью менее 0,05 мм/год, до 175 °С — со скоростью 0,05—0,5 мм/год, до 300 °С — со скоростью 0,5—1,3 мм/год [3]. Согласно данным работ [1, 4, 68, 131], никель и монель-металл в сере, ее расплавах и парах неприменимы.

Никельмолибденовый сплав Н70МФВ в расплавах серы при температуре до 130—140 °С корродирует со скоростью 0,1—1 мм/год [1], сплав ХН65МВУ до 440 °С — со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Медь и медные сплавы. Медь нестойка в сере и ее расплавах [1, 3, 10, 131], латуни — применимы до 100—130 °С (скорость коррозии 0,5—1,3 мм/год) [1, 3, 59]. Алюминиевые бронзы в расплавах серы при температуре до 400 °С обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) [1, 46], оловянистые бронзы — неприменимы [1, 62].

Алюминий в сере, ее расплавах и парах стоек до 445 °С (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [1, 3, 61, 68].

Другие металлы. Цинк в расплавах серы применим до 130 °С, титан — до 240 °С [1, 10, 43] (по данным работы [3] — до 300 °С), хром — до 445 °С [62], молибден — до ~600 °С [83].

Золото, платина и металлы платиновой группы при контакте с серой до 100 °С обладают очень высокой стойкостью (скорость коррозии $<0,005$ мм/год) [2, 5, 46]. В расплавах серы тантал, платина, золото сохраняют стойкость (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) до температуры 200 °С [3].

Олово, серебро, свинец в расплавах серы неприменимы [1—3, 61, 62].

Часть 12. Коррозионная стойкость металлов и сплавов в органических соединениях

ГЛАВА 40. ОРГАНИЧЕСКИЕ КИСЛОТЫ

Некоторые органические кислоты обладают ограниченной растворимостью в воде и легко образуют насыщенные растворы. При рассмотрении коррозионного поведения металлических материалов в таких кислотах необходимо учитывать условия возможной кристаллизации кислот, поскольку при высокой концентрации и температуре ниже температуры кристаллизации такие кислоты могут находиться только в твердом состоянии.

Действие органических кислот на металлические материалы зависит от внешних условий, образования на металлической поверхности осадков из продуктов реакций, образования комплексных соединений с различной растворимостью, структуры кислот, длины цепи их молекул, степени диссоциации (для растворимых кислот) и др.

40.1. Абиетиновая кислота — $C_{19}H_{29}COOH$

Абиетиновая кислота — одна из главных кислот, входящих в группу смоляных кислот, и является основной составляющей канифоли. Температура плавления абиетиновой кислоты 174—175 °С, температура кипения 248—250 °С (при давлении 9 мм рт. ст.). Она нерастворима в воде, но хорошо растворяется в органических растворителях (метиловом и этиловом спирте, ацетоне, этиловом эфире и др.). Абиетиновая кислота легко окисляется и термически малоустойчива.

Металлы и сплавы в абиетиновой кислоте обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в абиетиновой кислоте при обычной температуре нестойки [1].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в абиетиновой кислоте стойки до 300 °С (скорость коррозии <0,1—0,5 мм/год) [1, 3, 45].

Никелевые чугуны, содержащие 28—32% Ni, и нирезисты (13—22% Ni) в абиетиновой кислоте стойки при обычной температуре (скорость коррозии <0,1 мм/год) [45].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X13 в абиетиновой кислоте стойки до 75 °С, стали типа X17—X28 — до 200 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 45].

Хромоникелевые стали типа X18H10T, X17H13M2T в абиетиновой кислоте удовлетворительно стойки до 250—300 °С (скорость коррозии <0,1—0,5 мм/год) [1, 3, 45].

Стали 20Х23Н13, 20Х23Н18 в абиетиновой кислоте стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [45].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в абиетиновой кислоте сохраняют стойкость до 285—300 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 45].

Никель и сплавы никеля. Никель и монель-металл в абиетиновой кислоте удовлетворительно стойки до 260—290 °С (скорость коррозии 0,2—0,4 мм/год) [1] (по данным работы [3] — до 350 °С).

Никельмолибденовый сплав типа Н65М при температуре до 100 °С корродирует со скоростью менее 0,1 мм/год [45], сплавы Н70МФВ, ХН65МВУ при температуре ниже 350 °С — со скоростью 0,05—0,5 мм/год [1, 3].

Медь и медные сплавы. Медь в абиетиновой кислоте удовлетворительно стойка до 250—300 °С (скорость коррозии <0,1—0,5 мм/год) [1, 3].

Алюминиевые бронзы стойки при нормальной температуре (скорость коррозии <0,1 мм/год), оловянистые бронзы — до 375 °С [1].

Латуни в абиетиновой кислоте при обычной температуре обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,1—1,3 мм/год) [1, 3].

Алюминий, сплавы типа АМц, АМг, силумины в абиетиновой кислоте, содержащей более 0,1% воды, стойки до 250—300 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 3, 40, 45].

Другие металлы. Титан, цирконий в абиетиновой кислоте стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 100 °С [3, 39], серебро — удовлетворительно стойко до 300 °С (скорость коррозии <0,1—0,5 мм/год) [3, 45].

Свинец в абиетиновой кислоте при нормальной температуре нестойк [1, 3].

40.2. Адипиновая кислота — $\text{HOOC}(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$

Адипиновая кислота (1,4-бугандикарбоновая кислота) — белое кристаллическое вещество с температурой плавления 151—153 °С и температурой кипения 337,5 °С (265 °С при 100 мм рт. ст.; 216 °С при 15 мм рт. ст.), возгоняется. Адипиновая кислота растворима в воде (1,4% при 15 °С; 8,5% при 50 °С; 48,7% при 90 °С; 61,5% при 100 °С), очень хорошо растворима в этиловом спирте и ограниченно — в эфире.

Константы диссоциации адипиновой кислоты при 25 °С: $K_1 = 3,90 \cdot 10^{-5}$; $K_2 = 5,29 \cdot 10^{-6}$. Адипиновая кислота обладает всеми химическими свойствами, характерными для карбоновых кислот.

Металлы и сплавы в адипиновой кислоте обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны стойки к воздействию твердой адипиновой кислоты при температуре ниже 100 °С (соответственно скорость коррозии менее 0,05 и 0,5 мм/год) [3]. В расплавах и парах адипиновой кислоты при 180—190 °С углеродистые стали неприменимы [1—3, 44, 139].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 и никелевые чугуны (14—32% Ni) в твердой адипиновой кислоте при температуре до 100 °С стойки (скорость коррозии <0,05—0,5 мм/год) [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13 при температуре 180—190 °С в расплавах адипиновой кислоты нестойки, в парах — корроди-

руют со скоростью 0,5 мм/год [1, 2, 139]. Стали типа X17—X28 в твердой адипиновой кислоте и в 20%-ном растворе стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 2].

Аустенитные хромоникелевые стали типа X18H10T, X17H13M2T в растворах адипиновой кислоты применимы [44, 46]. В растворах концентрацией до 95% при температуре ниже 100 °С скорость коррозии сталей менее 0,1—0,5 мм/год [2, 3]. В твердой кислоте при температуре до 50 °С стали корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год, до 100 °С — со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3]. В расплавах и парах адипиновой кислоты при 180—190 °С такие стали стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 2, 139]. По данным работы [254], при этом стали типа X18H10T при 160 °С корродируют со скоростью до 0,5—0,9 мм/год, стали типа X17H13M2T при 225—240 °С — со скоростью до 0,2—0,5 мм/год.

Двухфазные стали 08X22H6T, 08X21H6M2T при температуре до 100 °С в 20%-ном растворе адипиновой кислоты обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [2]. В расплавах кислоты при 180—190 °С сталь 08X22H6T корродирует со скоростью 0,1—1 мм/год [1], сталь 08X21H6M2T при 225—240 °С — со скоростью 0,2—1,2 мм/год [254].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ при температуре ниже 100 °С в растворах адипиновой кислоты концентрацией до 95% обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год). В твердой кислоте до 100 °С и в расплавах при 180—240 °С скорость коррозии таких сплавов менее 0,5 мм/год [2, 3, 254].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл в твердой адипиновой кислоте при температуре ниже 100 °С обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Никельмолибденовый сплав Н70МФВ в адипиновой кислоте при нормальной температуре стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1]. Сплав типа ХН65МВ в твердой адипиновой кислоте до 100 °С и в растворах концентрацией 80—95% при обычной температуре стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Медь и медные сплавы. Медь в адипиновой кислоте до 90 °С корродирует со скоростью 0,1—0,5 мм/год [1, 46], в расплавах кислоты при 160—240 °С — со скоростью до 0,7 мм/год [254].

Алюминиевые бронзы в расплавах адипиновой кислоты при температуре 180—190 °С корродируют со скоростью 1 мм/год, в парах — со скоростью ~0,2 мм/год [1, 139].

Алюминий при контакте с твердой адипиновой кислотой до 100 °С разрушается со скоростью 0,1—0,5 мм/год [1, 3, 46].

Свинец в растворах адипиновой кислоты концентрацией 50—100% при температуре до 100 °С стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3]. В твердой кислоте при 20 °С скорость коррозии свинца менее 0,1 мм/год [1].

Титан в растворах адипиновой кислоты концентрацией 10—20% при обычной температуре корродирует со скоростью менее 0,5 мм/год, при концентрации 30 и 80% и температуре до 200 °С — со скоростью менее 0,05 мм/год. В твердой адипиновой кислоте при температуре ниже 100 °С и в расплавах при 180—240 °С скорость коррозии титана менее 0,05 мм/год [3, 39, 254].

Другие металлы. Серебро при контакте с твердой адипиновой кислотой до 100 °С корродирует со скоростью менее 0,05—0,5 мм/год [3].

Тантал при обычной температуре стоек в адипиновой кислоте [1], молибден — в расплаве (240 °С) кислоты (скорость коррозии <0,1 мм/год) [254].

40.3. Акриловая кислота — $\text{CH}_2=\text{CHCOOH}$

Акриловая кислота (пропенная кислота, этиленкарбоновая кислота) — бесцветная жидкость с температурой кристаллизации 12,3 °С и температурой кипения 141 °С (100 °С при 249 мм рт. ст.; 65 °С при 30 мм рт. ст.; 40 °С при 22 мм рт. ст.; 20 °С при 7,76 мм рт. ст.). С водой акриловая кислота смешивается в любых отношениях, растворима в этиловом спирте, эфире, бензоле и др.

Константа диссоциации акриловой кислоты при 25 °С $K = 5,6 \cdot 10^{-5}$. Акриловая кислота обладает всеми химическими свойствами, характерными для карбоновых кислот, оказывает сильное разрушающее действие на металлические материалы.

Акриловая кислота легко полимеризуется с образованием твердого бесцветного полимера — полиакриловой кислоты. Контакт с углеродистыми сталями способствует процессу полимеризации.

Металлы и сплавы в акриловой кислоте обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали в любых растворах акриловой кислоты при обычной температуре обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [1—3]. При температуре 75—100 °С в растворах, в том числе очень разбавленных (0,1—0,5%), и в парах стали нестойки [139].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в 100%-ной акриловой кислоте при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13, Х17 в любых растворах акриловой кислоты при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год), при 160 °С — удовлетворительно стойки (скорость коррозии 1—3 мм/год) [1, 2].

Аустенитные хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в любых растворах акриловой кислоты стойки (скорость коррозии сталей <0,1 мм/год) до температуры 160 °С [1, 2]. По данным работы [3], в 100%-ной кислоте при температуре до 60 °С стали типа Х18Н10Т корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Двухфазная сталь 08Х22Н6Т при температуре до 160 °С стойка (скорость коррозии <0,1 мм/год) в любых растворах акриловой кислоты [1, 2]. В 100%-ной кислоте при 80 °С сталь может подвергаться межкристаллитной коррозии [15, 255].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в акриловой кислоте сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 160 °С [1, 2] (по данным работы [3] — до 100 °С).

Никель и сплавы никеля. Никель в любых растворах акриловой кислоты сохраняет высокую стойкость (скорость коррозии <0,005 мм/год) до температуры кипения [2].

Монель-металл и хромоникельмолибденовый сплав типа ХН65МВ в 100-ной акриловой кислоте при температуре до 175 °С корродируют со скоростью менее 0,5 мм/год [3].

Алюминий в условиях сублимации твердой акриловой кислоты практически не подвергается коррозии [2]. При температуре 25 °С в 100%-ной кислоте скорость коррозии алюминия менее 0,02 мм/год [3].

Титан в любых растворах акриловой кислоты при температуре ниже 160 °С стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1].

Другие металлы. Серебро в растворах акриловой кислоты при температуре кипения обладает очень высокой стойкостью (скорость коррозии <0,005 мм/год) [2]. Свинец в растворах акриловой кислоты нестойк [2].

40.4. Аминобензойная кислота — $\text{H}_2\text{NC}_6\text{H}_4\text{COOH}$

Аминобензойная кислота — смесь *мета*-, *орто*- и *пара*-изомеров кислоты. *Мета*-изомер плавится при 179,5 °С, *пара*-изомер (витамин Н₁) — при 186—187 °С, *орто*-изомер (антрониловая кислота) — при 146—147 °С. Все изомеры очень плохо растворимы в холодной воде (0,34—0,59% при 13—15 °С), гораздо лучше растворимы в горячей воде (соответственно при 100 °С — 9,7; 18,5 и 15,8%, при 130 °С — 73,7; 95,5 и 77,0%, при 170 °С растворимость *мета*-изомера 99,2%; *пара*-изомера 98,0%). Изомеры кислоты растворимы в этиловом спирте (при 10 °С соответственно 2,2; 10,7 и 11,3%), в бензоле, эфире и др.

Аминобензойные кислоты легко восстанавливаются, для них характерны реакции с участием функциональных групп и реакции замещения в бензольном кольце.

Металлы и сплавы в аминобензойной кислоте обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) в *п*-аминобензойной кислоте и удовлетворительно стойки (скорость коррозии <1 мм/год) в *о*-аминобензойной кислоте [1]. По данным работы [3], при температуре 100 °С скорость коррозии углеродистых сталей в аминобензойной кислоте 0,05—0,5 мм/год.

Серые чугуны по коррозионной стойкости в аминобензойной кислоте не отличаются от углеродистых сталей [1, 3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в аминобензойной кислоте при обычной температуре корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [1], при температуре до 100 °С — со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Никелевые чугуны, содержащие 14—32% Ni, в аминобензойной кислоте при температуре ниже 100 °С стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13 в аминобензойной кислоте при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 2].

Аустенитные хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в аминобензойной кислоте при обычной температуре корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [15], при температуре до 100 °С — со скоростью менее 0,5 мм/год [1—3].

Двухфазная сталь 08Х22Н6Т при обычной температуре в аминобензойной кислоте стойка (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1, 2, 15].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в аминобензойной кислоте при обычной температуре корродируют со скоростью менее $0,1$ мм/год, при температуре до 100°C — со скоростью менее $0,5$ мм/год [1—3].

Никель и сплавы никеля. Никель в аминобензойной кислоте при 20°C стоек (скорость коррозии $<0,1$ мм/год), при повышении температуры до 100°C скорость коррозии может возрастать до $0,5$ мм/год [1—3].

Монель-металл и никельмолибденовые сплавы Н70МФВ, ХН65МВУ в аминобензойной кислоте при обычной температуре корродируют со скоростью менее $0,1$ мм/год, при температуре до 100°C — со скоростью менее $0,5$ мм/год [1—3].

Алюминий в аминобензойной кислоте при обычной температуре стоек (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1, 2].

Свинец в аминобензойной кислоте при обычной температуре стоек (скорость коррозии $<0,1$ мм/год), при температуре до 100°C — удовлетворительно стоек (скорость коррозии $<0,5$ мм/год) [1—3].

Титан в аминобензойной кислоте стоек (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) при температуре ниже 150°C [1, 2, 39].

Серебро в аминобензойной кислоте при обычной температуре корродирует со скоростью менее $0,1$ мм/год, при температуре до 100°C — со скоростью менее $0,5$ мм/год [1—3].

Другие металлы. Бронза, тантал при обычной температуре в аминобензойной кислоте стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1, 2].

Цирконий в аминобензойной кислоте сохраняет стойкость до 100°C (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [3].

40.5. Аскорбиновая кислота — $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$

Л-аскорбиновая кислота (витамин С) — бесцветные кристаллы с температурой плавления $190\text{—}192^\circ\text{C}$ (с разложением). Кислота легко разрушается при нагревании и воздействии кислорода воздуха. Название «аскорбиновая кислота» не совсем правильное, так как молекула витамина С по строению представляет собой не кислоту, а лактон. Аскорбиновая кислота не имеет в молекуле свободной карбоксильной группы, но проявляет кислотные свойства в результате диссоциации енольных гидроксидов.

Аскорбиновая кислота хорошо растворима в воде (%): $22,4$ при 20°C ; $38,2$ при 50°C ; $57,5$ при 100°C ; в спирте (%): $4,6$ при 20°C ; $8,3$ при 50°C ; $17,8$ при 78°C . Константы диссоциации аскорбиновой кислоты при 25°C : $K_1 = 1,48 \cdot 10^{-5}$; $K_2 = 3,72 \cdot 10^{-11}$.

Аскорбиновая кислота — сильный восстановитель, в водных растворах быстро обратимо окисляется до дегидроаскорбиновой кислоты ($E_{\text{Red/Ox}}^0 = +0,058\text{ В}$) и затем необратимо окисляется до щавелевой кислоты. Медь и серебро оказывают каталитическое воздействие на эти превращения.

По данным работ [3, 4], металлы и сплавы в аскорбиновой кислоте обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны при обычной температуре неприменимы в аскорбиновой кислоте (скорость коррозии $>1,3$ мм/год).

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 и никелевые чугуны (14—32% Ni) в аскорбиновой кислоте при обычной температуре корродируют со скоростью менее 0,5 мм/год.

Высоколегированные стали. Аустенитные хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в аскорбиновой кислоте при обычной температуре стойки (скорость коррозии $<0,05$ мм/год).

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в аскорбиновой кислоте сохраняют стойкость (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) до 100 °С.

Сплавы никеля. Монель-металл при обычной температуре в аскорбиновой кислоте обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии $<0,5$ мм/год).

Алюминий в аскорбиновой кислоте при обычной температуре стоек (скорость коррозии $<0,02$ мм/год), при повышении температуры до 100 °С скорость коррозии возрастает до 0,5 мм/год.

Другие металлы. Серебро и платина в растворах аскорбиновой кислоты стойки до 100 °С (скорость коррозии $<0,05$ мм/год).

Свинец, медь и медные сплавы неприменимы в аскорбиновой кислоте (при 25 °С скорость коррозии более 1,3—1,6 мм/год).

40.6. Ацетилсалициловая кислота — $\text{CH}_3\text{COOC}_6\text{H}_4\text{COOH}$

Ацетилсалициловая кислота (аспирин) — бесцветные игольчатые или пластинчатые кристаллы с температурой плавления 135—136 °С (при 140—144 °С разлагается). Ацетилсалициловая кислота плохо растворима в воде (около 0,25% при 20 °С), растворима в эфире (около 5%), очень хорошо растворима в этиловом спирте. Водные растворы имеют кислую реакцию.

По данным работы [3], в ацетилсалициловой кислоте металлы и сплавы обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали при обычной температуре в ацетилсалициловой кислоте корродируют со скоростью до 0,5 мм/год, серые чугуны — нестойки.

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в ацетилсалициловой кислоте при температуре ниже 100 °С корродируют со скоростью менее 0,5 мм/год, в 10%-ном растворе — со скоростью менее 0,05 мм/год.

Высоколегированные стали. Аустенитные хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в 10%-ном растворе ацетилсалициловой кислоты при температуре до 100 °С обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в 10%-ном растворе ацетилсалициловой кислоты при обычной температуре корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год, при температуре до 100 °С — со скоростью менее 0,5 мм/год. В 100%-ной кислоте при обычной температуре скорость коррозии сплавов менее 0,05 мм/год.

Никель и сплавы никеля. Никель в ацетилсалициловой кислоте при обычной температуре стоек (скорость коррозии $<0,05$ мм/год), в 10%-ном растворе

кислоты при температуре до 100 °С — удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Монель-металл стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) в ацетилсалициловой кислоте до 50 °С, в 10%-ном растворе — до 100 °С.

Никельмолибденовые сплавы типа Н70МФВ, ХН65МВ в ацетилсалициловой кислоте и в 10%-ном растворе при температуре ниже 100 °С обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Алюминий в ацетилсалициловой кислоте при обычной температуре отличается высокой стойкостью (скорость коррозии менее 0,02 мм/год).

Другие металлы. Серебро в ацетилсалициловой кислоте и в 10%-ном растворе при температуре до 100 °С корродирует со скоростью менее 0,05 мм/год.

Титан и цирконий в ацетилсалициловой кислоте при температуре ниже 100 °С стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год).

40.7. Ацетоуксусная кислота — $\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{COOH}$

Ацетоуксусная кислота (ацетилуксусная, 3-оксобутановая кислота) — вязкая жидкость с температурой плавления 36—37 °С и температурой кипения 100 °С (с разложением). С водой ацетоуксусная кислота смешивается в любых соотношениях, растворима в этиловом спирте и эфире. Ацетоуксусная кислота очень неустойчива. При слабом нагревании водных растворов кислота легко разлагается на ацетон и диоксид углерода.

По данным работы [3], в ацетоуксусной кислоте металлы и сплавы обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны при обычной температуре неприменимы в растворах ацетоуксусной кислоты концентрацией выше 20%.

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в растворах ацетоуксусной кислоты концентрацией 10—100% при температуре ниже 100 °С стойки (скорость коррозии <0,5 мм/год).

Высоколегированные стали. Аустенитные хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в растворах ацетоуксусной кислоты любой концентрации при температуре до 100 °С обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в любых растворах ацетоуксусной кислоты при температуре ниже 100 °С по коррозионной стойкости не уступают хромоникелевым сталям (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Сплавы никеля. Монель-металл, сплавы типа Н70МФВ, ХН65МВ в растворах ацетоуксусной кислоты любой концентрации при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Алюминий в ацетоуксусной кислоте любой концентрации при температуре ниже 100 °С стоек (скорость коррозии <0,2 мм/год).

Свинец при обычной температуре в 100%-ной ацетоуксусной кислоте удовлетворительно стоек (скорость коррозии <0,5 мм/год).

Серебро в любых растворах ацетоуксусной кислоты при температуре до 100 °С корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

40.8. Бензойная кислота — C_6H_5COOH

Бензойная кислота (бензолкарбоновая кислота) — белые игольчатые или пластинчатые кристаллы с температурой плавления $122,4^{\circ}C$ и температурой кипения $249,2^{\circ}C$ ($133^{\circ}C$ при 10 мм рт. ст.). Бензойная кислота летуча с водяным паром, при $100^{\circ}C$ кислота возгоняется. При $370^{\circ}C$ она разлагается на бензол, диоксид углерода и небольшое количество фенола и оксида углерода. Растворимость бензойной кислоты в воде (%): 0,29 при $20^{\circ}C$; 0,77 при $50^{\circ}C$; 2,64 при $80^{\circ}C$; 5,6 при $100^{\circ}C$; 32,3 при $117^{\circ}C$. Бензойная кислота не образует азеотропную смесь с водой. Растворимость бензойной кислоты при $25^{\circ}C$ в этиловом спирте 36,9%, в эфире — 29%.

Бензойная кислота обладает всеми химическими свойствами монокарбоновых кислот. Константа диссоциации кислоты при $25^{\circ}C$ равна $6,34 \cdot 10^{-5}$.

Металлы и сплавы в бензойной кислоте обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в бензойной кислоте любой концентрации при обычной температуре и в ее парах при $250^{\circ}C$ неприменимы [1—3, 40].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС15М4, ЧС17, ЧС17М3 в любых растворах бензойной кислоты при температуре до $100^{\circ}C$ и в расплавах кислоты при $130^{\circ}C$ стойки (скорость коррозии $<0,1$ — $0,5$ мм/год) [1, 3, 40, 88].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х28 в любых растворах бензойной кислоты до температуры кипения стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1, 2, 88, 150]. В расплаве кислоты при $130^{\circ}C$ стали типа Х17 корродируют со скоростью менее $0,1$ мм/год [40]. В условиях сублимации кислоты стали типа Х13—Х28 разрушаются со скоростью менее $0,1$ мм/год [43, 46, 59].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в любых растворах бензойной кислоты стойки до температуры кипения (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1, 40, 88, 150] (по данным работы [3] — до $0,5$ мм/год). В расплавах кислоты при $130^{\circ}C$ и в смеси кислоты с паром до $300^{\circ}C$ скорость коррозии таких сталей $0,1$ — $0,5$ мм/год [1, 3, 44, 256].

Двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т, 08Х18Г18Н2Т и аустенитная сталь 10Х14Г14Н4Т в растворах бензойной кислоты любой концентрации стойки до температуры кипения (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1, 2, 15, 112].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в любых растворах бензойной кислоты до температуры кипения, в расплавах и парах кислоты при 120 — $300^{\circ}C$ удовлетворительно стойки (скорость коррозии $<0,1$ — $0,5$ мм/год) [40, 45]. В твердой бензойной кислоте до $100^{\circ}C$ сплавы корродируют со скоростью менее $0,5$ мм/год [1, 3].

Никель и сплавы никеля. Никель в растворах бензойной кислоты любой концентрации до температуры кипения стоек (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1, 2, 40]. В 100%-ной кислоте при 100 — $150^{\circ}C$ и в парах до $250^{\circ}C$ никель корродирует со скоростью до $0,5$ — $0,7$ мм/год [1, 3, 40].

Монель-металл при температуре ниже $100^{\circ}C$ в растворах бензойной кислоты любой концентрации стоек (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [40, 45], в твердой кислоте удовлетворительно стоек (скорость коррозии сплава $<0,5$ мм/год)

[1, 3], в расплавах кислоты при 125—175 °С и в парах до 250 °С — корродирует со скоростью 0,5—1,3 мм/год [1, 3, 4, 40].

Никельмолибденовые сплавы Н70МФВ, ХН65МВУ в бензойной кислоте стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 3, 45].

Медь и медные сплавы. Медь, бронзы в любых растворах бензойной кислоты нестойки [44], в деаэрированных растворах — стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40] (по данным справочника [1], при 25 °С скорость коррозии <0,5 мм/год). В парах бензойной кислоты до 250 °С медь стойка (скорость коррозии <0,1 мм/год) [2, 46] (по другим данным [1, 4] — 0,1—1 мм/год). Согласно работам [40, 44], медь и бронзы в парах бензойной кислоты нестойки.

Латуни в растворах бензойной кислоты при 20 °С удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) [1, 3] (по данным работы [40], стойки до 50 °С), в парах кислоты до 250 °С — нестойки [1, 3, 4, 40].

Алюминий в условиях сублимации бензойной кислоты практически не подвергается коррозии [1, 2, 4, 62]. В кислоте, содержащей 0,1% воды, при 120—200 °С скорость коррозии алюминия менее 0,1—0,5 мм/год [3, 40]. В растворах бензойной кислоты алюминий стоек до 60 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [45], при 90 °С — нестойк [40]. В твердой бензойной кислоте до 100 °С и в парах до 250 °С алюминий корродирует со скоростью 0,5—1,3 мм/год [1, 4, 40, 43].

Сплавы алюминия типа АМц, АМг и силумины в растворах бензойной кислоты стойки до 60 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [45].

Титан в бензойной кислоте стоек до 100 °С (по данным работы [40] — до температуры кипения), в парах кислоты — до 500 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Другие металлы. Серебро, платина, тантал в бензойной кислоте стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [1, 2, 40] (по другим данным [3, 45] — до 100 °С), в расплавах кислоты — при 130 °С [3, 40].

Цирконий в насыщенных растворах бензойной кислоты стоек до 60 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год), молибден — до 100 °С (скорость коррозии <0,25 мм/год) [10].

Свинец неприменим в растворах бензойной кислоты [1, 2, 43] (в 0,25%-ной кислоте при 20 °С скорость коррозии свинца до 0,25 мм/год [4, 68]).

40.9. Бензолсульфоновая кислота — $C_6H_5SO_3H$

Бензолсульфоновая кислота (бензолсульфонокислота) — бесцветные игольчатые кристаллы, очень гигроскопичные и расплывающиеся на воздухе. Температура плавления бензолсульфоновой кислоты зависит от степени ее гидратированности и для $C_6H_5SO_3H \cdot 0,5H_2O$ соответствует 43—44 °С, для $C_6H_5SO_3H \cdot H_2O$ — 45—46 °С, для безводной $C_6H_5SO_3H$ — 65—66 °С. Моногидрат $C_6H_5SO_3H \cdot H_2O$ кипит при температуре 136 °С.

Бензолсульфоновая кислота очень хорошо растворима в воде (80,5% при 15 °С; 84,4% при 40 °С; 89,6% при 52 °С; 99,6% при 61 °С) и в этиловом спирте. Это сильная кислота (при 25 °С константа диссоциации $K = 0,2$).

Металлы и сплавы в бензолсульфоновой кислоте обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали при обычной температуре в бензолсульфоновой кислоте корродируют со скоростью до 0,5 мм/год, серые чугуны — со скоростью 0,1—1 мм/год [1]. Согласно работам [3, 40], углеродистые стали и серые чугуны нестойки в растворах бензолсульфоновой кислоты.

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС15М4, ЧС17, ЧС17М3 в любых растворах бензолсульфоновой кислоты стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 3, 40, 61].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в 100%-ной кислоте при обычной температуре стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Высоколегированные стали. Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в бензолсульфоновой кислоте при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год), в растворах кислоты концентрацией менее 70% при температуре ниже 50—70 °С — корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3], при 80 °С — нестойки [1, 2].

Двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т в растворе бензолсульфоновой кислоты концентрацией 63% при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,001 мм/год) [15], при 80 °С в растворах любой концентрации — нестойки [1, 2].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в любых растворах бензолсульфоновой кислоты стойки до 80 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [2] (по другим данным [1, 3], в концентрированных растворах стойки до 150 °С).

Никель и сплавы никеля. Никель в деаэрированных растворах бензолсульфоновой кислоты стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) при обычной температуре [1] (по данным работы [40] — до 80 °С). При доступе воздуха в любых растворах бензолсульфоновой кислоты до температуры кипения никель корродирует со скоростью от 0,1 до 3—5 мм/год [1—3].

Монель-металл в любых растворах бензолсульфоновой кислоты при температуре до 150 °С обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [1, 40].

Никельмолибденовый сплав Н70МФВ в любых растворах бензолсульфоновой кислоты стоек до 200 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год), сплав ХН65МВУ — до 100 °С [1, 3, 40].

Медь и медные сплавы. Медь, бронзы в любых деаэрированных растворах бензолсульфоновой кислоты стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 2, 40]. При доступе воздуха медь, бронзы, латуни в растворах бензолсульфоновой кислоты нестойки. В деаэрированных растворах латуни обладают удовлетворительной стойкостью до 50 °С (скорость коррозии <0,5 мм/год) [40].

Алюминий в любых растворах бензолсульфоновой кислоты при температуре до 60 °С обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) [1—3].

Титан в любых растворах бензолсульфоновой кислоты при температуре до 100 °С корродирует со скоростью 0,4 мм/год [2]. Согласно работам [1, 39], титан нестойк в растворах бензолсульфоновой кислоты.

Другие металлы. В любых растворах бензолсульфоновой кислоты при обычной температуре свинец корродирует со скоростью до 0,5 мм/год [1—3], серебро при температуре до 100 °С — со скоростью менее 0,1 мм/год [1, 3].

Платина, тантал при температуре ниже 120 °С стойки в любых растворах бензолсульфоновой кислоты (скорость коррозии <0,1 мм/год) [3, 40].

40.10. Винная кислота — $\text{HOOC}(\text{CHON})_2\text{COOH}$

Винная кислота D - $\text{HOOC}(\text{CHON})_2\text{COOH}$ (виннокаменная, диоксиантарная, 2,3-диоксибутандиовая кислота) образует кристаллы в виде моноклинных призм с температурой плавления 170°C . Кислота хорошо растворима в воде (58,2% при 20°C ; 66,1% при 50°C ; 73,2% при 80°C ; 75,4% при 90°C ; 77,4% при 100°C), растворима в этиловом спирте (16,9% при 18°C) и эфире (0,3% при 18°C). При нагревании винная кислота отщепляет диоксид углерода и воду, превращаясь в пировиноградную кислоту.

Винная кислота — двухосновная кислота (константы диссоциации при 25°C : $K_1 = 1,3 \cdot 10^{-3}$; $K_2 = 6,9 \cdot 10^{-5}$), восстанавливается до янтарной кислоты.

Области применения металлических материалов в зависимости от температуры и концентрации винной кислоты ориентировочно показаны на рис. 40.1.

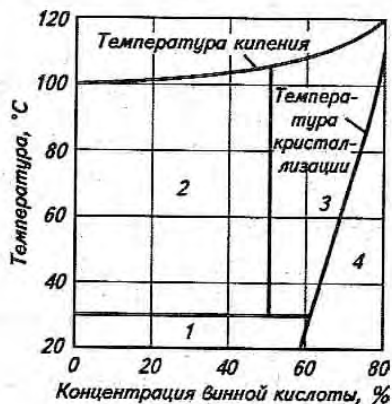


Рис. 40.1. Области применения металлических материалов в винной кислоте:

1 — углеродистая сталь; кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; никелевый чугун (14—32% Ni); стали типа Х13—Х28, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т; 10Х14Г14Н4Т, 10Х14АГ15 (до 10%); сплавы: 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ, ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ; монель-металл; латунь; бронза; мельхиор; алюминий (до 10%); алюминиевый сплав АМц; силумин (до 25%); свинец; титан; тантал; цирконий; серебро; платина; золото; 2 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; никелевый чугун (14—32% Ni); стали типа Х18Н10Т (до 60°C), Х17Н13М2Т; стали: 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т; сплавы: 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ, ХН65МВУ, Н70МФВ-ВИ; монель-металл; латунь; бронза; мельхиор; алюминий (до 10°C); оловянистая бронза (до 30%); свинец (до 100°C); титан; тантал; цирконий; серебро (до 100°C); платина; золото; 3 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17 (до 100°C); стали типа Х17Н13М2Т (до 80°C); сталь 08Х21Н6М2Т (до 100°C); сплавы: 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ (до 80°C); монель-металл (до 60°C); свинец (до 100°C); титан (до 80°C); тантал; цирконий; серебро (до 100°C); платина; золото; 4 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17 (до 100°C); сплавы: 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ (до 80°C); алюминий (до 30°C); свинец, тантал, цирконий, серебро, платина, золото (до 100°C)

Углеродистые стали в винной кислоте стойки при обычной температуре (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год) и удовлетворительно стойки (скорость коррозии < 1 мм/год) при температуре кипения [1].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в винной кислоте концентрацией менее 50% стойки (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год) до температуры кипения, в насыщенных растворах — до 100°C [1, 4, 43, 88]

(по данным справочника [46] — до температуры кипения). Согласно работе [3], в растворах концентрацией более 20% и в твердой винной кислоте при температуре до 100 °С скорость коррозии кремнистых чугунов 0,05—0,5 мм/год.

Хромистые чугуны ЧХ28—ЧХ34 в растворах винной кислоты концентрацией 10—50% стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [4, 46].

Никелевые чугуны, содержащие 14—32% Ni, в винной кислоте концентрацией менее 50% стойки до 100 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х28 при обычной температуре в растворах винной кислоты концентрацией менее 50% удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [4, 46, 88, 150]. В более концентрированных (до насыщенных) растворах стали типа Х13 нестойки [1, 2, 150], стали типа Х17—Х28 корродируют со скоростью до 0,5—1 мм/год [2, 4]. При температуре кипения в любых растворах винной кислоты хромистые стали нестойки [1, 2, 4, 150].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т в винной кислоте концентрацией менее 50% удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,5—1,3 мм/год) до температуры кипения [3, 4]. Стали типа Х17Н13М2Т в кислоте концентрацией до 50% при температуре кипения стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год), в насыщенных растворах — удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) [2, 4, 88, 150].

Двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т в растворах винной кислоты концентрацией менее 50% стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [15], в насыщенных растворах — до 100 °С [1, 2, 255].

Стали 10Х14Г14Н4Т, 10Х14АГ15, 08Х18Г18Н2Т в разбавленных (до 10%) растворах винной кислоты при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год), сталь 08Х18Г18Н2Т — корродирует со скоростью 0,1—1 мм/год, сталь 10Х14Г14Н4Т — нестойка [2, 15, 88].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в винной кислоте концентрацией до 58% при температуре кипения корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год, в насыщенных растворах — со скоростью 0,1—1 мм/год [1, 2]. По данным работы [3], в любых растворах и в твердой винной кислоте при температуре до 100 °С скорость коррозии сплавов 0,05—0,5 мм/год.

Никель и сплавы никеля. Никель при обычной температуре стоек в очень разбавленных (до 1%) растворах винной кислоты [2, 4, 43], в более концентрированных (до 58%) растворах при 50 °С — корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год, при 100 °С — нестойк [1, 3].

Монель-металл в растворах винной кислоты концентрацией до 58% стоек до 60—100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 4, 5]. При температуре кипения в растворах концентрацией до 50% скорость коррозии сплава 0,3—0,5 мм/год [68].

Никельмолибденовые сплавы Н70МФВ, ХН65МВУ в растворах винной кислоты концентрацией до 58% при температуре ниже 80 °С корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год, при 100 °С — со скоростью 0,5—1,3 мм/год [1, 3].

Медь и медные сплавы. Медь при обычной температуре в деаэрированных растворах винной кислоты концентрацией менее 58% корродирует со скоростью до 0,2 мм/год, в аэрированных растворах — со скоростью до 1,7 мм/год. При температуре 75 °С в аэрированных растворах медь нестойка [1, 2, 4].

Мельхиор при обычной температуре в разбавленных (до 5%) растворах стоек (скорость коррозии $<0,02$ мм/год) [4, 5, 68], по данным работы [3] — стоек в любых растворах (скорость коррозии $<0,05$ мм/год).

Бронзы при обычной температуре в растворах винной кислоты концентрацией до 58% стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1]. Оловянистые бронзы в зависимости от степени аэрации растворов корродируют со скоростью 0,03—0,6 мм/год. При температуре кипения в 33%-ной кислоте скорость коррозии таких бронз менее 0,1 мм/год [68].

Латуны при обычной температуре и слабой аэрации в любых растворах винной кислоты корродирует со скоростью до 0,05 мм/год [3], в аэрированных разбавленных растворах — со скоростью 0,1—1,3 мм/год [3, 4].

Алюминий в твердой винной кислоте и в растворах концентрацией до 10—20% при обычной температуре корродирует со скоростью менее 0,1 мм/год, при 50 °С — со скоростью 0,5—1,3 мм/год [3, 4], в насыщенных растворах при температуре 100 °С — нестойк [1, 2, 46].

Сплавы алюминия типа АМц в растворах винной кислоты концентрацией до 50% и силумины в растворах концентрацией до 20% при обычной температуре стойки (скорость коррозии $<0,01$ мм/год) [5, 46].

Свинец при обычной температуре в деаэрированных растворах винной кислоты стоек [5, 10], в аэрированных очень разбавленных (до 1%) растворах — корродирует со скоростью 0,1—0,2 мм/год [4, 68], в более концентрированных растворах — нестойк [1, 2]. По данным работы [3], в твердой винной кислоте и в любых растворах свинец стоек до 100 °С (скорость коррозии $<0,05$ мм/год).

Другие металлы. В растворах винной кислоты концентрацией до 58% титан стоек (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до температуры кипения [1, 2, 83], цирконий — до 100 °С [2, 46, 83], серебро — до 75 °С [1, 2]. Тантал в таких растворах при температуре кипения практически не подвергается коррозии [1, 5].

По данным работы [3], в твердой винной кислоте и в любых растворах тантал, цирконий, платина, серебро, золото стойки до 100 °С (скорость коррозии $<0,05$ мм/год).

Молибден и ниобий в растворах винной кислоты концентрацией до 20% при обычной температуре практически не корродируют [3, 83].

40.11. Галловая кислота — $(\text{OH})_3\text{C}_6\text{H}_2\text{COOH}$

Галловая (3,4,5-триоксibenзойная) кислота в обычных условиях — кристаллогидрат $(\text{OH})_3\text{C}_6\text{H}_2\text{COOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ в виде бесцветных или светло-коричневых игольчатых кристаллов, темнеющих на свету. При 100—120 °С кристаллогидрат теряет воду, при 210—240 °С плавится с разложением на пирогаллол и диоксид углерода. Галловая кислота плохо растворима в холодной воде (0,94% при 15 °С; 1,1% при 25 °С) и хорошо — в горячей воде (25% при 100 °С), в этиловом спирте (22%), хуже — в эфире (2,4%).

Галловая кислота обладает восстанавливающими свойствами, в растворах легко окисляется кислородом воздуха. Константа диссоциации кислоты $K = 3,9 \cdot 10^{-5}$ при 25 °С.

Металлы и сплавы в галловой кислоте обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали в галловой кислоте применимы только в разбавленных (5%) растворах при обычной температуре (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [194].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в галловой кислоте концентрацией до 25% обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,5—1 мм/год) до температуры кипения [1, 3, 4, 88].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х28, хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т и стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т, 08Х18Г8Н2Т в растворах галловой кислоты концентрацией менее 25% стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до температуры кипения [1, 2, 88, 112].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в растворах галловой кислоты при температуре до 70 °С обладают высокой стойкостью (скорость коррозии $<0,01$ мм/год) [1, 2], при 100 °С — корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл в 100%-ной галловой кислоте при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Монель-металл в растворах галловой кислоты концентрацией менее 25% стоек (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до температуры кипения [1].

Никельмолибденовые сплавы типа Н70МФВ, ХН65МВУ в 100%-ной галловой кислоте при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Медь и медные сплавы. Медь при обычной температуре в аэрированных растворах галловой кислоты обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии до 0,9 мм/год) [1]. В твердой галловой кислоте при температуре ниже 100 °С медь и латунь корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Алюминий в растворах галловой кислоты концентрацией до 25% при обычной температуре корродирует со скоростью менее 0,05 мм/год, при 100 °С — со скоростью 0,05—0,5 мм/год [1—4].

Другие металлы. Титан в растворах галловой кислоты при обычной температуре стоек (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [1, 39].

Тантал в разбавленных (до 10%) растворах стоек до 100 °С (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [3].

40.12. Гликолевая кислота — HOCH_2COOH

Гликолевая (гидроксиуксусная, оксиэтановая) кислота — бесцветные, гигроскопичные кристаллы с температурой плавления 79—80 °С (при высокой температуре разлагается). Кислота хорошо растворима в воде, этиловом спирте и эфире (смешивается в любых соотношениях). Константа диссоциации кислоты $K = 1,48 \cdot 10^{-4}$. Для гликолевой кислоты характерны все реакции спиртов и карбоновых кислот.

По данным работы [3], металлы и сплавы в гликолевой кислоте обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в 100%-ной гликолевой кислоте при обычной температуре нестойки.

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в любых растворах гликолевой кислоты при температуре до 100 °С обладают высокой стойкостью (скорость коррозии $<0,05$ мм/год).

Высоколегированные стали типа Х18Н10Т в любых растворах гликолевой кислоты при температуре 100 °С нестойки, стали типа Х17Н13М2Т при температуре ниже 100 °С удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в любых растворах гликолевой кислоты при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл в любых растворах гликолевой кислоты при температуре до 100 °С удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Никельмолибденовые сплавы типа Н70МФВ, ХН65МВ в 100%-ной гликолевой кислоте при температуре до 100 °С корродируют со скоростью менее 0,5 мм/год.

Медь и медные сплавы. Медь, латунь в 100%-ной гликолевой кислоте при обычной температуре удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Алюминий в растворах гликолевой кислоты концентрацией до 60% при обычной температуре обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Свинец при обычной температуре в любых растворах гликолевой кислоты корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Титан в любых растворах гликолевой кислоты до 40 °С обладает высокой стойкостью (скорость коррозии <0,01 мм/год) [83], в 100%-ной кислоте при 100 °С корродирует со скоростью менее 0,05 мм/год.

Другие металлы. Серебро в растворах гликолевой кислоты концентрацией до 70% при обычной температуре корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год, в 70%-ной кислоте при 50 °С — нестойко.

Цирконий в 100%-ной гликолевой кислоте при температуре до 100 °С и тантал в 70%-ной кислоте при 40 °С корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год.

40.13. Глюконовая кислота — $\text{CH}_2\text{OH}(\text{CHOH})_4\text{COOH}$

Глюконовая кислота очень хорошо растворима в воде и нерастворима в этиловом спирте. При нагревании кислота образует сиропообразную жидкость.

По данным работы [3], в глюконовой кислоте металлы и сплавы обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в любых растворах глюконовой кислоты при температуре до 100 °С обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,5—1,3 мм/год).

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в любых растворах глюконовой кислоты при температуре до 100 °С стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Никелевые чугуны, содержащие 14—32% Ni, во всех растворах глюконовой кислоты отличаются высокой стойкостью (скорость коррозии <0,05 мм/год).

Высоколегированные стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в любых растворах глюконовой кислоты при температуре ниже 100 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в любых растворах глюконовой кислоты при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл в любых растворах глюконовой кислоты при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Никельмолибденовые сплавы типа Н70МФВ, ХН65МВ во всех растворах глюконовой кислоты при температуре до 100 °С обладают высокой стойкостью (скорость коррозии <0,05 мм/год).

Сплав никеля, содержащий 13% Сг и 7% Fe, в 1%-ном растворе кислоты сохраняет высокую стойкость (скорость коррозии <0,005 мм/год) до температуры кипения [45].

Латунь в растворах глюконовой кислоты всех концентраций до 100 °С отличается высокой стойкостью (скорость коррозии <0,05 мм/год).

Алюминий в разбавленных и концентрированных растворах глюконовой кислоты при температуре ниже 100 °С обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Другие металлы. Титан в растворе глюконовой кислоты концентрацией 50% и серебро в 100%-ной кислоте при обычной температуре корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год.

Платина, золото при температуре до 100 °С в глюконовой кислоте любой концентрации стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год).

40.14. Дигалловая кислота — $(\text{HO})_3\text{C}_6\text{H}_2\text{CO}_2\text{C}_6\text{H}_2(\text{OH})_2\text{COOH}$

Мета-дигалловая кислота является сложным эфиром, образованным двумя молекулами галловой кислоты, причем одна из них реагирует своим карбоксиллом, а другая — своим фенольным гидроксиллом. В молекуле дигалловой кислоты остатки галловой кислоты связаны при помощи кислорода фенольного гидроксила, находящегося в метоположении по отношению к карбоксильной группе. Дигалловая кислота относится к гидролизующим дубильным веществам. Типичный представитель таких веществ — танин, молекула которого является сложным эфиром глюкозы и дигалловой кислоты. При гидролизе танин распадается на глюкозу и дигалловую кислоту.

Температура плавления дигалловой кислоты 290 °С, при высокой температуре она разлагается. Дигалловая кислота хорошо растворима в воде, трудно-растворима в этиловом спирте и эфире.

Металлы и сплавы в дигалловой кислоте обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в любых растворах дигалловой кислоты стойки до 75 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год). При повышении температуры до 100 °С скорость коррозии возрастает до 0,5 мм/год [3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в дигалловой кислоте концентрацией до 50% при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год), при температуре кипения — удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) [1, 88, 194]. По данным работы [3], кремнистые чугуны в любых растворах кислоты до 100 °С обладают высокой стойкостью (скорость коррозии <0,05 мм/год).

Хромистые чугуны ЧХ32, ЧХ34 в кислоте концентрацией 10—50% стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [194].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в 100%-ной кислоте при обычной температуре корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13, Х17 в растворах дигалловой кислоты концентрацией 10—50% при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [46, 88, 150]. При температуре кипения в 10%-ной кислоте стали типа Х13 корродируют со скоростью 0,1—1 мм/год, стали типа Х17 — со скоростью менее 0,1 мм/год [46, 102, 150]; в 50%-ной кислоте стали типа Х13 нестойки, стали типа Х17 корродируют со скоростью 0,1—1 мм/год [46, 150, 194]. Согласно работе [1], в растворах дигалловой кислоты при обычной температуре скорость коррозии сталей типа Х13, Х17 — 0,1—1 мм/год, сталей типа Х25, Х28 — менее 0,1 мм/год; при температуре кипения скорость коррозии сталей типа Х17—Х28 от 0,1 до 3 мм/год.

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в растворах дигалловой кислоты концентрацией 10—50% стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [1, 3, 88, 102].

Сталь типа 08Х18Г8Н2Т в кислоте концентрацией 50% стойка (скорость коррозии <0,1 мм/год) при обычной температуре, в 10%-ной кислоте — до температуры кипения [46, 194].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в любых растворах дигалловой кислоты при температуре ниже 100 °С стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл в любых растворах дигалловой кислоты стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Никельмолибденовые сплавы типа Н70МФВ, ХН65МВ в 10%-ном растворе дигалловой кислоты при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год) [3].

Медь и медные сплавы. Медь, мельхиор, латунь в любых растворах дигалловой кислоты сохраняют стойкость при температуре до 100 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Алюминий и сплавы типа АМц, АМг, силумины в любых растворах дигалловой кислоты при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) [1, 3, 194], при 100 °С в растворах кислоты концентрацией 50—70% — нестойки [3]. В твердой сухой кислоте алюминий и его сплавы практически не подвергаются коррозии [4].

Другие металлы. Титан, тантал, серебро, платина, золото при температуре ниже 100 °С в твердой дигалловой кислоте и в растворах любой концентрации остаются стойкими (скорость коррозии <0,05 мм/год), цирконий — в растворах концентрацией менее 50% [3].

Свинец при обычной температуре в растворах дигалловой кислоты нестойк [3, 4].

40.15. Дигликолевая кислота — $O(CH_2COOH)_2$

Дигликолевая (диоксиуксусная) кислота — кристаллическое вещество с температурой плавления 150 °С, при высокой температуре разлагается. Кислота очень хорошо растворима в воде и этиловом спирте, растворима в эфире.

По данным работы [3], металлы и сплавы в дигликолевой кислоте обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые стали в 100%-ной дигликолевой кислоте при обычной температуре нестойки.

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в 100%-ной дигликолевой кислоте при температуре ниже 100 °С стойки (скорость коррозии <0,5 мм/год).

Высоколегированные стали. Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т в 100%-ной дигликолевой кислоте при обычной температуре корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год, при 100 °С — нестойки. Стали типа Х17Н13М2Т в 100%-ной дигликолевой кислоте сохраняют удовлетворительную стойкость до 100 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в 100%-ной дигликолевой кислоте при температуре до 100 °С обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Никель и сплавы никеля. Никель в 100%-ной дигликолевой кислоте при температуре ниже 100 °С и монель-металл при обычной температуре корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Сплав никеля, содержащий 16% Сг и 7% Fe, в 100%-ной дигликолевой кислоте при температуре ниже 100 °С удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Медь в 100%-ной дигликолевой кислоте при температуре до 100 °С корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Алюминий в дигликолевой кислоте и ее растворах концентрацией до 30% при обычной температуре удовлетворительно стоек (скорость коррозии <0,5 мм/год), при 50 °С — нестойк.

Другие металлы. Титан в 100%-ной дигликолевой кислоте при температуре ниже 100 °С стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год), серебро — удовлетворительно стойко (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Свинец в дигликолевой кислоте при обычной температуре нестойк.

40.16. Камфорная кислота — $C_{10}H_{16}O_4$

Двухосновная камфорная (1,2,3-триметилциклопентан-1,3-дикарбоновая) кислота плавится при 187 °С, при высокой температуре разлагается. Кислота плохо растворима в холодной воде (0,75% при 25 °С), лучше растворима в горячей воде (3%), растворима в этиловом спирте, эфире (47,8%).

По данным работы [3], металлы и сплавы в камфорной кислоте имеют следующую стойкость.

Углеродистые стали и серые чугуны в камфорной кислоте и ее растворах при температуре 100 °С нестойки.

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в камфорной кислоте и ее растворах при температуре до 100 °С стойки (скорость коррозии <0,5 мм/год).

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл, сплав никеля, содержащий 16% Сг и 7% Fe, и никельмолибденовые сплавы типа Н70МФВ, ХН65МВ в камфорной кислоте и ее растворах при температуре до 100 °С обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Медь и медные сплавы. Медь, латунь в камфорной кислоте и ее растворах при температуре ниже 100 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Другие металлы. Серебро в растворах камфорной кислоты при температуре до 100 °С удовлетворительно стойко (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Титан и цирконий в камфорной кислоте до 100 °С остаются стойкими (скорость коррозии <0,05 мм/год).

40.17. Каприловая кислота — $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$

Каприловая (октановая) кислота — предельная одноосновная карбоновая кислота. При обычных условиях каприловая кислота — маслянистая жидкость с температурой кристаллизации 16,2 °С и температурой кипения 237,5 °С. Кислота нерастворима в холодной воде и малорастворима (0,25%) в горячей воде, азеотропной смеси кислоты и воды нет. С этиловым спиртом и эфиром каприловая кислота смешивается в любых соотношениях.

В табл. 40.1 приведена предельная температура применения металлов и сплавов в каприловой кислоте.

Таблица 40.1. Предельная температура применения металлов и сплавов в каприловой кислоте

Металлы и сплавы	Температура, °С (ориентировочно)	Источник
Алюминий	190—210	[36, 258]
	300	[45]
Сплав:		
АМгЗ	200	[258]
Н70МФВ	250—300	[1, 40]
ХН65МВ	300	[45]
06ХН28МДТ	280	[258]
Сталь:		
типа Х13	100	[1, 258]
типа Х17	130—140	[36, 257, 258]
типа Х18Н10Т	190	[2, 36, 257, 258]
типа Х17Н13М2Т	260—270	[2, 36, 257, 258]
08Х22Н6Т	160	[36, 257, 258]
08Х21Н6М2Т	240—260	[36, 257, 258]
Титан ВТ1	290—330	[36, 39, 258]
Чугун ЧС15, ЧС17	300	[1, 40, 45]

Металлы и сплавы в каприловой кислоте обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в каприловой кислоте при температуре до 50—60 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год), при температуре 100 °С — нестойки [1, 257].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в каприловой кислоте при температуре ниже 300 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 40, 45].

Хромистые чугуны ЧХ25, ЧХ30 в каприловой кислоте сохраняют стойкость до температуры 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40].

Никелевые чугуны типа нирезист при обычной температуре стойки [45].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13 в каприловой кислоте при температуре ниже 100 °С корродируют со скоростью до 0,2 мм/год, при 120 °С — со скоростью около 1 мм/год [1, 258]. Стали с 17% Сг при температуре 150—160 °С в каприловой кислоте корродируют со скоростью менее 0,5—1,2 мм/год, при 200 °С — со скоростью 1,5 мм/год [257, 258]. По данным работ [40, 45, 258], стали типа Х17—Х28 в каприловой кислоте стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год).

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т в каприловой кислоте при температуре до 160—170 °С корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год, при 200—230 °С — со скоростью до 0,5 мм/год, при 250—260 °С — со скоростью 0,5—1,4 мм/год. Стали типа Х17Н13М2Т при температуре до 240—260 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год), при 300 °С — корродируют со скоростью 0,3—0,5 мм/год, при 330 °С — со скоростью 0,7—1,2 мм/год [2, 257, 258].

Хромоникелевые стали 20Х23Н13, 20Х23Н18 в каприловой кислоте до 100 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [45].

Двухфазная сталь 08Х22Н6Т в каприловой кислоте при температуре ниже 120 °С стойка (скорость коррозии <0,1 мм/год), при 150—170 °С корродирует со скоростью 0,2—0,5 мм/год, при 200—220 °С — со скоростью 1—1,5 мм/год [2, 15, 257, 258]. Сталь 08Х21Н6М2Т стойка до 220 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год), при температуре 250—300 °С скорость коррозии 0,4—0,8 мм/год [258].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в каприловой кислоте при температуре ниже 250—260 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год), при 300—330 °С — корродируют со скоростью 0,3—0,5 мм/год [258]. По данным справочника [40], такие сплавы в каприловой кислоте стойки до температуры кипения.

Никель и сплавы никеля. Никель и монель-металл в каприловой кислоте обладают удовлетворительной стойкостью до 380 °С (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) [1, 40], в условиях аэрации сплавы нестойки [1].

Никельмолибденовый сплав Н70МФВ в каприловой кислоте удовлетворительно стоек до 370 °С (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) [40], сплав ХН65МВ стоек до 300 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [45].

Медь и медные сплавы. Медь, бронзы, латуни в каприловой кислоте стойки до температуры кипения (в условиях аэрации нестойки) [1].

Алюминий в каприловой кислоте стоек до 190 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год), при 240—260 °С — корродирует со скоростью 0,5—0,9 мм/год [258]. По справочным данным [40], в кислоте, содержащей более 0,1% воды, алюминий стоек до 270 °С, в безводной кислоте при 270 °С — нестойк.

Сплав алюминия АМг3 стоек до 170 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год), при 200—250 °С — удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,3—1 мм/год) [258]. Согласно справочнику [45], алюминий и его сплавы типа АМц, АМг, силумины в каприловой кислоте стойки до 300 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год).

Титан в каприловой кислоте при температуре ниже 330 °С корродирует со скоростью <0,05 мм/год [39, 258].

Другие металлы. Серебро в каприловой кислоте стойко (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 300 °С [45] (по данным справочника [1] — до температуры кипения).

Платина в каприловой кислоте стойка (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [40].

Свинец при обычной температуре корродирует со скоростью 0,1—1 мм/год, при 100 °С — нестойк [40].

40.18. Каприновая кислота — $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$

Каприновая (декановая) кислота — предельная одноосновная карбоновая кислота. При обычных условиях каприновая кислота — мазеобразное вещество с температурой плавления 31,5 °С и температурой кипения 268,4 °С. Кислота нерастворима в холодной воде и труднорастворима в горячей воде, хорошо растворима в этиловом спирте и эфире.

В табл. 40.2 приведена предельная температура применения металлов и сплавов в каприновой кислоте.

Таблица 40.2. Предельная температура применения металлов и сплавов в каприновой кислоте

Металлы и сплавы	Температура, °С (ориентировочно)	Источник
Алюминий	200—210	[36, 257, 258]
	300	[45]
Сплав:		
AMg3, AMg5B	200—210	[257, 258]
H70MФВ	250—300	[1, 40]
XH65MB	300	[45]
06XH28MДТ	300	[258]
Сталь:		
типа X13	120	[258]
типа X17	160	[36, 257, 258]
типа X18H10T	210	[2, 36, 257, 258]
типа X17H13M2T	280—290	[2, 36, 257, 258]
08X22H6T	200	[36, 257, 258]
08X21H6M2T	240—270	[36, 257, 258]
Титан BT1	290—330	[36, 39, 258]
Чугун ЧС15, ЧС17	300	[1, 40, 45]

Металлы и сплавы в каприновой кислоте обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в каприновой кислоте стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 50—60 °С, при температуре 100 °С стали корродируют со скоростью менее 0,5 мм/год [3] (по другим данным [1, 257], скорость коррозии до 1,6—2,4 мм/год).

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в каприновой кислоте при температуре ниже 285—300 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 40, 45]. По данным работы [3], при температуре ниже 200 °С скорость коррозии чугунов до 0,5 мм/год.

Хромистые чугуны ЧХ25, ЧХ30 при температуре до 100 °С сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40].

Никелевые чугуны типа нирезист при обычной температуре в каприновой кислоте стойки [45].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13 в каприновой кислоте стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год), при 150—160 °С — удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,2—1 мм/год), при 180 °С — нестойки [257, 258]. Хромистые стали типа Х17—Х28 стойки до 120 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [45, 258]. Стали с 17% Сг при температуре 160—180 °С корродируют со скоростью 0,1—0,5 мм/год, при 200—220 °С — со скоростью 0,8—1 мм/год [257, 258].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т в каприновой кислоте при температуре до 180 °С корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год, при 200—230 °С — со скоростью 0,2—0,5 мм/год, при 250—270 °С — со скоростью 1—1,5 мм/год [15, 257, 258]. Стали типа Х17Н13М2Т стойки до 260—300 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [2, 40, 45, 257] (по данным работы [258], стойки до 240 °С, при температуре 300—330 °С скорость коррозии 0,3—0,5 мм/год).

Согласно работе [3], стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в каприновой кислоте при температуре до 200 °С корродируют со скоростью 0,5—1,3 мм/год.

Хромоникелевые стали 20Х23Н13, 20Х23Н18 в каприновой кислоте до 100 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [45].

Двухфазная сталь 08Х22Н6Т в каприновой кислоте при температуре ниже 160—180 °С стойка (скорость коррозии <0,1 мм/год) [2, 257, 258], при 200—225 °С скорость коррозии 0,2—0,5 мм/год, при 240—260 °С — 1—1,5 мм/год [15, 257, 258]. Сталь 08Х21Н6М2Т стойка (скорость коррозии 0,1—0,2 мм/год) до 250 °С, при температуре 300—330 °С скорость коррозии 0,5—0,9 мм/год [258]. По данным работы [257], при температуре ниже 340 °С сталь практически не корродирует.

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в каприновой кислоте при температуре ниже 250—260 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год), при 300—330 °С скорость коррозии 0,2—0,3 мм/год [2, 258]. По данным справочника [40], такие сплавы в каприновой кислоте стойки до температуры кипения.

Никель и сплавы никеля. Никель и монель-металл в каприновой кислоте удовлетворительно стойки до 380 °С (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) [1, 40]. В условиях аэрации при температуре кипения сплавы нестойки [1].

Никельмолибденовые сплавы Н70МФВ, Н65М в каприновой кислоте стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 100 °С, сплав ХН65МВ — до 300 °С [45]. При температуре до 370 °С сплавы Н70МФВ, Н65М корродируют со скоростью 0,1—1 мм/год [40].

Медь и медные сплавы. Медь, бронзы, латуни в каприновой кислоте стойки до температуры кипения (в условиях аэрации — нестойки) [1]. По данным

работы [3], в деаэрированной кислоте при температуре ниже 200 °С скорость коррозии меди и латуни 0,05—0,5 мм/год.

Алюминий в каприновой кислоте стоек до 210 °С (скорость коррозии 0,1—0,2 мм/год) [258], при 220—290 °С скорость коррозии 0,5—0,9 мм/год [1, 257, 258]. По данным работ [3, 40], в кислоте, содержащей более 0,1% воды, алюминий стоек до 200—270 °С, в безводной кислоте при 270 °С — нестойк [20].

Сплавы алюминия АМг3, АМг5В до 160—170 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год), при 190—230 °С — удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,2—0,5 мм/год), при 260—290 °С — нестойки [257, 258]. Согласно справочным данным [45], алюминий и его сплавы типа АМц, АМг, силумины в каприновой кислоте стойки до 300 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год).

Титан в каприновой кислоте при температуре ниже 330 °С корродирует со скоростью менее 0,05 мм/год [39, 258].

Другие металлы. Серебро в безводной каприновой кислоте стойко (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 300 °С [45] (по данным справочника [1] — до температуры кипения).

Платина в каприновой кислоте стойка (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [40].

Свинец при температуре до 100 °С корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

40.19. Капроновая кислота — $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$

Капроновая (гексановая) кислота — одноосновная карбоновая кислота. При обычных условиях капроновая кислота — белая маслянистая жидкость с температурой кристаллизации $-9,5$ °С и температурой кипения $205,3$ °С. Кислота труднорастворима в воде (0,96% при 20 °С; 1,16% при 60 °С) и не образует с ней азеотропную смесь. При температуре 12 °С кислота может содержать 4,7% воды, при 46 °С — 9,7% воды. Капроновая кислота хорошо растворима в этиловом спирте и эфире.

В химическом отношении капроновая кислота обладает общими свойствами, характерными для предельных алифатических карбоновых кислот. Это слабая кислота (константа диссоциации $K = 1,32 \cdot 10^{-5}$ при 25 °С). В коррозионном отношении капроновая кислота более агрессивна по сравнению с жирными кислотами с большим молекулярным весом. На коррозию металлических материалов в капроновой кислоте влияет степень аэрации кислоты.

В табл. 40.3 приведена предельная температура применения металлов и сплавов в капроновой кислоте.

Таблица 40.3. Предельная температура применения металлов и сплавов в капроновой кислоте

Металлы и сплавы	Температура, °С (ориентировочно)	Источник
Алюминий	180—190	[257, 258]
	300	[45]
Сплав:		
АМг3	160—180	[257, 258]

Металлы и сплавы	Температура, °С (ориентировочно)	Источник
H70МФВ	100—150	[40, 45]
ХН65МВУ	300	[45]
06ХН28МДТ	230	[258]
Сталь:		
типа Х13	80	[258]
типа Х17	120—140	[257, 258]
типа Х18Н10Т	170	[2, 257, 258]
типа Х17Н13М2Т	210—220	[2, 257, 258]
08Х22Н6Т	130—140	[257, 258]
08Х21Н6М2Т	200	[257, 258]
Титан ВТ1	290—300	[39, 257, 258]
Чугун ЧС15, ЧС17	300	[40, 45]

Металлы и сплавы в капроновой кислоте обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали в капроновой кислоте при температуре до 50 °С удовлетворительно стойки (скорость коррозии <1,3 мм/год), при 100 °С — нестойки [257].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в капроновой кислоте при температуре ниже 300 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40, 45].

Хромистые чугуны ЧХ25, ЧХ30 до температуры 100 °С сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40].

Никелевые чугуны типа нирезист при обычной температуре стойки [45].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13 в капроновой кислоте стойки до 70 °С (скорость коррозии <0,2 мм/год), при 100 °С — удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,4—0,5 мм/год), при 160 °С — нестойки [2, 258]. Хромистые стали типа Х17—Х28 стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40, 45]. Стали типа Х17 при температуре 150—160 °С корродируют со скоростью 0,5—0,9 мм/год, при 180—220 °С — нестойки [1, 2, 257, 258].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т в капроновой кислоте стойки до 150—160 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год), при температуре 200—220 °С скорость коррозии 0,9—1,3 мм/год. Стали типа Х17Н13М2Т стойки до 160—180 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год), при температуре 200—270 °С скорость коррозии 0,2—0,6 мм/год [1, 2, 257, 258]. По справочным данным [40, 45], стали стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) при температуре ниже 285—300 °С.

Хромоникелевые стали 20Х23Н13, 20Х23Н18 в капроновой кислоте до 100 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [45].

Двухфазная сталь 08Х22Н6Т в капроновой кислоте при температуре ниже 100 °С стойка (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 258], при 120—160 °С корродирует со скоростью 0,2—0,6 мм/год [15, 257, 258], при 180—220 °С — нестойка [15, 258]. Сталь 08Х21Н6М2Т стойка до 160 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год), при 200—230 °С — скорость коррозии 0,3—0,5 мм/год [2, 15, 257], при 270—300 °С — 0,8—1,5 мм/год [258].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в капроновой кислоте при температуре ниже 200—230 °С стойки (скорость коррозии до 0,1—0,2 мм/год) [1, 2, 258], при 300 °С скорость коррозии 0,5—1 мм/год [40, 258]. По данным справочника [45], такие сплавы стойки до 285 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год).

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл и никельмолибденовые сплавы Н70МФВ, Н65М в капроновой кислоте стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 100 °С [45] и удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) до 370—380 °С [20]. Сплав типа ХН65МВ в капроновой кислоте стоек до 300 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [45].

Медь и медные сплавы. Медь, бронзы, латуни в капроновой кислоте стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 180—200 °С, мельхиор — до 250 °С [40].

Алюминий в капроновой кислоте стоек до 160 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год), при 190—220 °С скорость коррозии 0,2—0,4 мм/год [1, 257, 258].

Сплав алюминия АМг3 стоек до 160 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год), при 180—200 °С скорость коррозии 0,2—0,5 мм/год [257, 258]. Сплав АМг5В стоек до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год), при 160—220 °С скорость коррозии от 0,2 до 1,7 мм/год [257].

Согласно данным справочника [45], алюминий и его сплавы типа АМц, АМг, силумины в капроновой кислоте стойки до 300 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год).

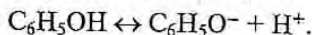
Другие металлы. Титан в капроновой кислоте при температуре ниже 300 °С корродирует со скоростью менее 0,05 мм/год [39, 257].

Серебро в безводной капроновой кислоте стойко до 300 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [45].

Платина в капроновой кислоте стойка (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [40].

40.20. Карболовая кислота (фенол) — C_6H_5OH

Карболовая кислота (оксibenзол) является простейшим представителем группы фенолов, молекула которой содержит одну гидроксильную группу, замещающую атом водорода в бензольном ядре. В результате взаимодействия гидроксильной группы с бензольным кольцом отрицательный заряд атома кислорода уменьшается и усиливается притяжение к нему электронов атома водорода гидроксильной группы. Это облегчает отщепление водорода в виде протона, что обеспечивает фенолу кислотные свойства. При добавлении воды происходит диссоциация фенола с образованием фенолят-иона и катиона водорода:



Однако степень диссоциации фенола мала ($K = 1,29 \cdot 10^{-10}$ при 25 °С), и фенол является очень слабой кислотой.

Фенол — бесцветное кристаллическое вещество с температурой плавления 40,9 °С и температурой кипения 181,75 °С (120,2 °С при 100 мм рт. ст.; 73,5 °С при 10 мм рт. ст.). На воздухе фенол легко окисляется, принимая бурую окраску. В воде фенол плохо растворяется (7,6% при 15 °С), но с повышением температуры растворимость растет (12% при 50 °С; 21,9% при 65 °С), и при 66 °С он смешивается

с водой в любых соотношениях. Азеотропная смесь фенола с водой концентрацией 9,2% кипит при 99,6 °С. Фенол хорошо растворим в этиловом спирте и эфире.

Коррозия в водных растворах фенола протекает преимущественно с кислородной дедполяризацией. При температуре кипения растворы, содержащие 60% фенола, являются наиболее агрессивными по отношению к различным сталям. В водных растворах фенола характер коррозии углеродистых сталей близок к равномерному, а хромистых сталей (5—12% Cr) — точечный. В сухом горячем феноле углеродистые стали подвержены язвенной коррозии [206].

Области применения металлических материалов в растворах фенола ориентировочно показаны на рис. 40.2.

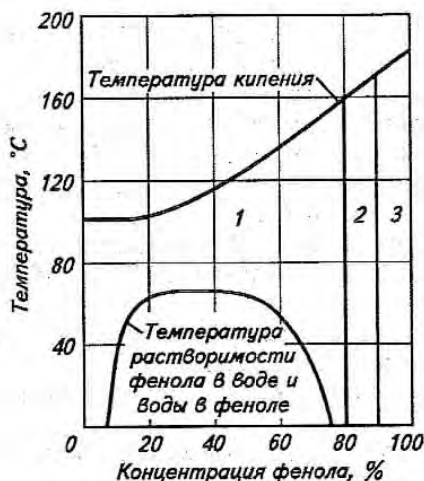


Рис. 40.2. Области применения металлических материалов в феноле:

1 — углеродистая сталь (до 10%); кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; никелевый чугун (14—32% Ni); стали типа Х13—Х28, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т (до 10%); стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т, 10Х14Г14Н4Т, 08Х18Г18Н2Т (до 5%); сплавы: 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ, ХН65МВУ, Н70МФВ-ВИ (до 100 °С); никель (до 100 °С); алюминий (до 70 °С); титан; цирконий; тантал, серебро, платина, золото (до 100 °С); 2 — серый чугун (до 60—70 °С); кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; хромистый чугун ЧХ32, ЧХ34 (до 130 °С); никелевый (14—32% Ni) чугун (до 120 °С); стали типа Х18Н10Т (до 100 °С), Х17Н13М2Т (до 130—150 °С); сплавы: 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ, ХН65МВУ, Н70МФВ-ВИ (до 120 °С); никель (до 100 °С); медь, бронза, латунь (до 50—70 °С); титан; платина; 3 — углеродистая сталь; серый чугун (до 60—70 °С); кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; хромистый чугун ЧХ32, ЧХ34 (до 130 °С); никелевый (14—32% Ni) чугун (до 120 °С); стали типа Х13 (до 60 °С), Х17—Х28, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; сплавы: 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ; ХН65МВУ, Н70МФВ-ВИ (до 130—150 °С); никель (до 100 °С), монель-металл; медь, бронза, латунь (до 50—70 °С); титан; серебро; платина

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали в чистом феноле стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) до 100 °С [3] (по данным справочника [1], до 175 °С), при температуре 260—340 °С — корродируют со скоростью 0,4—1,3 мм/год [1, 5]. В феноле, содержащем 1—10% воды, стали стойки до 310 °С (скорость коррозии 0,1—0,6 мм/год) [5, 206]. В водных растворах фенола концентрацией до 9—12% при температуре 100—125 °С скорость коррозии сталей не более 0,1—0,3 мм/год [206].

Серые чугуны в чистом феноле стойки до 125 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год), при температуре до 175 °С — корродируют со скоростью 0,5—1,3 мм/год. В феноле, содержащем 1—20% воды, чугуны стойки до 50 °С, при 100 °С скорость коррозии 0,5—1,3 мм/год [3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в чистом феноле и любых его водных растворах стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 100 °С [1, 3, 194] (по данным работы [88] — до температуры кипения).

Хромистые чугуны ЧХ32, ЧХ34 в чистом феноле сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 50 °С [88], в 80%-ном растворе — до 130 °С [4, 194].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в чистом феноле и в феноле, содержащем до 20% воды, стойки до 100—120 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13, Х17 в растворах фенола концентрацией 5—12% стойки до 85—125 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [88, 112, 206]. При концентрации 90—100% хромистые стали типа Х17—Х28 стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [1, 102, 150], стали типа Х13 — до 50 °С [88] (при температуре кипения скорость коррозии 0,1—1 мм/год [1, 2, 4]).

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в растворах фенола концентрацией 5—12 и 90—100% стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [1, 88, 150]. По данным работы [3], в 100%-ном феноле стали типа Х18Н10Т стойки до 350 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год), стали типа Х17Н13М2Т — удовлетворительно стойки до 175 °С (скорость коррозии <0,5 мм/год). В феноле, содержащем до 10—20% воды, первые стали удовлетворительно стойки до 100 °С, вторые — до 100—170 °С (скорость коррозии <0,5 мм/год).

Хромоникелевые стали 20Х23Н13, 20Х23Н18 в любых растворах фенола стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 100 °С [5, 45], в парах — до 310 °С [45].

Стали 10Х14Г14Н4Т, 08Х18Г18Н2Т и двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т в 100%-ном феноле и 5%-ном растворе стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 2, 112].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в чистом феноле стойки до 300 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3]. В любых растворах фенола сплавы стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 2], при температуре до 425 °С — удовлетворительно стойки (скорость коррозии <0,5 мм/год) [1].

Никель и сплавы никеля. Никель в чистом феноле стоек до 300 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3], при температуре до 385 °С — удовлетворительно стоек (скорость коррозии <1 мм/год) [206]. В феноле, содержащем до 20% воды, никель удовлетворительно стоек до 100—175 °С (скорость коррозии <0,5 мм/год) [3], в любых растворах фенола — стоек до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [45].

Монель-металл в чистом феноле и в феноле, содержащем до 10% воды, удовлетворительно стоек до температуры кипения (скорость коррозии <0,5 мм/год) [1, 3].

Никельмолибденовые сплавы Н70МФВ, ХН65МВ в чистом феноле стойки до 350 °С, в феноле, содержащем менее 10% воды, — до 125—200 °С, в любых растворах фенола — до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [3, 45].

Медь и медные сплавы. Медь и латунь в чистом феноле стойки до 100—120 °С (алюминиевая латунь до 200 °С), в феноле, содержащем менее 20% воды, — до 75 °С (скорость коррозии <0,05—0,5 мм/год) [3].

Бронзы в чистом феноле до 50 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 88], при температуре до 100 °С — удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) [1]. По данным работы [206], медь и медные сплавы в феноле стойки до 200 °С.

Алюминий и алюминиевые сплавы типа АМц, АМг, силумины в любых растворах фенола стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) при температуре ниже 70 °С [1, 2, 4, 206]. Во влажном феноле (>0,3% воды) алюминий применим до температуры кипения (скорость коррозии <0,5 мм/год) [3, 62, 68], в сухом феноле при температуре выше 140 °С — неприменим [2, 68, 206].

Титан в любых растворах фенола применим при температуре ниже 300 °С. В чистом феноле титан корродирует со скоростью <0,001 мм/год [206].

Другие металлы. Серебро, тантал, платина, золото в любых растворах фенола стойки при температуре до 100 °С [45], цирконий — до температуры кипения [10, 83]. Серебро в растворах концентрацией 90—100% при температуре кипения корродирует со скоростью менее 0,1 мм/год [1—3, 5], платина в растворах концентрацией 80—100% при температуре до 175 °С — со скоростью менее 0,05 мм/год [3].

Свинец и его сплавы с сурьмой неприменимы в феноле [1, 2, 88].

40.21. Коричная кислота — $C_6H_5CH=CHCOOH$

Коричная [(Е)-3-фенилпропен-2-овая] кислота относится к ароматическим кислотам с двойной связью и карбоксилем в боковой цепи. При нормальных условиях это — бесцветные кристаллы с температурой плавления 135 °С и температурой кипения 300 °С. При температуре 150 °С происходит отщепление CO_2 и кислота превращается в стирол. Кислота очень плохо растворима в холодной воде (1,4% при 25 °С; 2% при 55 °С; 2,7% при 75 °С) и значительно лучше в горячей воде (17,5% при 131 °С; 49% при 140 °С), растворима в этиловом спирте (15,2%) и очень хорошо растворима в эфире.

Непредельные кислоты более сильные, чем предельные кислоты с тем же числом атомов углерода (для коричной кислоты $K = 3,5 \cdot 10^{-5}$ при 25 °С). Коричная кислота обладает всеми свойствами, характерными для непредельных соединений. Она восстанавливается до гидрокоричной кислоты, при окислении образует смесь бензойной и уксусной кислот.

Металлы и сплавы в коричной кислоте обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в коричной кислоте при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в коричной кислоте при температуре до 50 °С корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год, при повышении температуры до 100 °С — со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Другие металлы. Хром в коричной кислоте при температуре до 60 °С практически не подвергается коррозии [45].

40.22. Кротоновая кислота — $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CHCOOH}$

Кротоновая (*транс*-2-бутеновая) кислота является ненасыщенной монокарбоновой кислотой. При нормальных условиях кислота представляет собой моноклинические иглы или призмы с температурой плавления $71,4\text{--}71,7^\circ\text{C}$ и температурой кипения $184,7^\circ\text{C}$ (81°C при 13 мм рт. ст.). Растворяясь в воде, кислота образует раствор концентрацией 7,1% при 20°C ; 39,6% — при 40°C , азеотропная смесь с водой имеет концентрацию 72%. Кислота плохо растворима в органических растворителях. Константа диссоциации кислоты $K = 2,0 \cdot 10^{-5}$ при 25°C .

Кротоновая кислота восстанавливается до масляной кислоты и легко окисляется с разрывом двойной связи и образованием смеси уксусной и щавелевой кислот.

По данным работы [3], металлы и сплавы в кротоновой кислоте имеют следующую стойкость.

Углеродистые стали и серые чугуны в кротоновой кислоте и ее растворах при обычной температуре нестойки.

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в 100%-ной кислоте сохраняют высокую стойкость до 100°C (скорость коррозии $< 0,05$ мм/год).

Высоколегированные стали. Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в 100%-ной кислоте обладают удовлетворительной стойкостью до 100°C (скорость коррозии $0,05\text{--}0,5$ мм/год).

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в 100%-ной кротоновой кислоте и растворах концентрацией до 10% сохраняют удовлетворительную стойкость до 100°C (скорость коррозии $0,05\text{--}0,5$ мм/год).

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл и никельмолибденовые сплавы типа Н70МФВ, ХН65МВ в 100%-ной кротоновой кислоте при температуре до 100°C корродируют со скоростью $0,05\text{--}0,5$ мм/год.

Медь и медные сплавы. Медь и латунь в 100%-ной кротоновой кислоте отличаются высокой стойкостью при температуре до 175°C (скорость коррозии $< 0,05$ мм/год).

Алюминий в 100%-ной кротоновой кислоте при температуре до 100°C корродирует со скоростью менее $0,05$ мм/год, при 175°C — нестойк.

Другие металлы. Титан, цирконий, тантал, серебро, платина, золото в 100%-ной кротоновой кислоте при температуре ниже 175°C корродируют со скоростью менее $0,05$ мм/год.

Свинец в 100%-ной кротоновой кислоте и в растворах при обычной температуре нестойк.

40.23. Лауриновая кислота — $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$

Лауриновая (додекановая) кислота — насыщенная одноосновная карбоновая кислота алифатического ряда. При обычной температуре — кристаллическое вещество с температурой плавления $44,3^\circ\text{C}$ и температурой кипения $298,9^\circ\text{C}$ (225°C при 100 мм рт. ст.; 176°C при 15 мм рт. ст.; 141°C при 0,6 мм рт. ст.). Лауриновая кислота очень плохо растворима в воде ($0,0002\%$ при 25°C),

хорошо растворима в этиловом спирте и эфире. При 43 °С в кислоте растворяется около 2,4% воды.

Для лауриновой кислоты характерны все химические свойства, типичные для жирных карбоновых кислот.

Металлы и сплавы в лауриновой кислоте обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали в чистой и содержащей воду лауриновой кислоте при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС15М4, ЧС17, ЧС7М3 в чистой лауриновой кислоте стойки до 300 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [45].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) типа нирезист в 100%-ной кислоте при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [45].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х17—Х28 в лауриновой кислоте при температуре ниже 100 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [45].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в 100%-ной лауриновой кислоте стойки до 300 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [45], при 370 °С — удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Хромоникелевые стали 20Х23Н13, 20Х23Н18 в лауриновой кислоте до 100 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [45].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в 100%-ной лауриновой кислоте сохраняют стойкость до 285 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [45], при температуре 370 °С — удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл и никельмолибденовые сплавы Н70МФВ, Н65М в 100%-ной лауриновой кислоте при температуре до 100 °С корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год. Сплав типа ХН65МВ стоек до 300 °С [45].

Сплав никеля, содержащий 16% Сг и 7% Fe, в 100%-ной лауриновой кислоте удовлетворительно стоек до 300 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Алюминий и алюминиевые сплавы типа АМц, силумины в 100%-ной лауриновой кислоте стойки до 300—350 °С (скорость коррозии <0,1—0,5 мм/год) [3, 45].

Другие металлы. Титан в деаэрированных растворах лауриновой кислоты при температуре до 100 °С стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Серебро в 100%-ной лауриновой кислоте можно применять до 300 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [45].

40.24. Левулиновая кислота — $\text{CH}_3\text{CO}(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$

Левулиновая (ацетилпропионовая, 4-оксопентановая) кислота — простейшая из кетокрбоновых кислот. При обычных условиях левулиновая кислота — кристаллическое вещество с температурой плавления 37 °С и температурой кипения 246 °С (с небольшим разложением). При нагреве теряет воду и образует ангидрид (еноллактон). Кислота хорошо растворима в воде, этиловом спирте и эфире. Константа диссоциации кислоты $K = 2,4 \cdot 10^{-5}$ при 25 °С.

Для левулиновой кислоты характерны все химические свойства, типичные для кетонов и карбоновых кислот. Левулиновая кислота легко восстанавливается до γ -валеролактона.

Металлы и сплавы в левулиновой кислоте обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в левулиновой кислоте и любых ее растворах при обычной температуре нестойки (скорость коррозии $>1,3$ мм/год) [1, 3, 40].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в левулиновой кислоте и ее растворах при температуре ниже 100°C стойки (скорость коррозии $0,05$ — $0,5$ мм/год) [3]. По данным справочника [40], кремнистые чугуны стойки до 240°C (скорость коррозии $<0,1$ мм/год).

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13 в левулиновой кислоте и ее растворах при обычной температуре корродируют со скоростью $0,1$ — $0,5$ мм/год, стали типа Х17, Х25 — со скоростью менее $0,1$ мм/год [1, 2]. Согласно справочным данным [40], стали типа Х17, Х25 стойки до 220°C (скорость коррозии $<0,1$ мм/год).

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в левулиновой кислоте и любых ее растворах при температуре до 100°C корродируют со скоростью $0,05$ — $0,5$ мм/год [1, 3].

Сталь 08Х21Н6М2Т в кислоте концентрацией 93—98% при температуре 40 — 50°C корродирует со скоростью около $0,1$ мм/год [15].

Хромоникелевые стали в левулиновой кислоте склонны к коррозионному растрескиванию [3, 15, 40].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в левулиновой кислоте и ее растворах при температуре до 100°C корродируют со скоростью $0,05$ — $0,5$ мм/год [3]. По данным справочника [40], такие сплавы стойки до температуры кипения (скорость коррозии $<0,1$ мм/год).

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл в деаэрированной левулиновой кислоте и ее растворах стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до 150°C [3] (по данным справочника [1] — до температуры кипения). В условиях аэрации при температуре ниже 100°C скорость коррозии этих металлов $0,05$ — $0,5$ мм/год [3], при температуре кипения достигает 1 — 3 мм/год [1].

Никельмолибденовые сплавы Н70МФВ, ХН65МВУ в деаэрированной левулиновой кислоте и ее растворах при температуре до 100°C корродируют со скоростью менее $0,05$ мм/год, при 150°C — со скоростью до $0,5$ мм/год [1, 3, 40].

Нихром (16% Cr) в левулиновой кислоте и ее растворах при температуре до 125°C остается стойким (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [3, 40].

Медь и медные сплавы. Медь, бронза, латунь, мельхиор в деаэрированной левулиновой кислоте и ее растворах стойки (скорость коррозии $0,05$ — $0,5$ мм/год) до 100°C [3] (по данным работ [1, 40], до 200 — 250°C). В условиях аэрации при температуре 200 — 250°C скорость коррозии может достигать 3 мм/год [1, 40].

Алюминий в левулиновой кислоте и любых ее растворах при обычной температуре стоек (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [3, 40], при 50°C — нестойк [1, 3].

Другие металлы. Свинец в леволиновой кислоте и ее растворах при температуре до 50 °С обладает высокой стойкостью (скорость коррозии <0,01 мм/год) [1, 2], титан в этих условиях практически не подвергается коррозии [1, 2, 39].

Тантал, серебро, платина, золото в леволиновой кислоте и любых ее растворах при температуре до 100 °С стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3]. Согласно данным справочника [40], серебро стойко до 200 °С, тантал, платина, золото — до 250 °С.

40.25. Лимонная кислота — $\text{COONCH}_2\text{C}(\text{OH})(\text{COOH})\text{CH}_2\text{COOH}$

Лимонная (2-оксипропан-1,2,3-трикарбоновая) кислота при температуре ниже 36,5 °С образует моногидрат, кристаллизующийся в виде бесцветных ромбических призм с температурой плавления 70—75 °С. При температуре около 130 °С кислота теряет кристаллизационную воду (температура плавления безводной лимонной кислоты 153,5 °С). При нагреве до 175 °С происходит дегидратация лимонной кислоты с образованием смеси аконитовой и ацетондикарбоновой кислот. При более высокой температуре лимонная кислота превращается в итаконовую кислоту.

Лимонная кислота очень хорошо растворима в воде (59,4% при 20 °С; 70,9% при 50 °С; 78,8% при 80 °С; 84,0% при 100 °С), в этиловом спирте (38,3%) и плохо растворима в эфире (1,05%). Лимонная кислота является трехосновной карбоновой кислотой с константами диссоциации при 25 °С: $K_1 = 7,4 \cdot 10^{-4}$; $K_2 = 1,7 \cdot 10^{-5}$; $K_3 = 4,1 \cdot 10^{-7}$. Для лимонной кислоты характерны химические свойства, типичные для многоосновных карбоновых кислот. Лимонная кислота может окисляться в 3-кетоплутаровую кислоту.

Области применения металлических материалов в зависимости от температуры и концентрации лимонной кислоты ориентировочно показаны на рис. 40.3.

Углеродистые стали и серые чугуны в лимонной кислоте и любых ее растворах при обычной температуре нестойки (скорость коррозии более 1—3 мм/год) [1, 3, 4, 40].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в растворах лимонной кислоты концентрацией менее 50% стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [4, 8, 88], в более концентрированных (>60%) растворах — до 100 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Хромистые чугуны ЧХ28—ЧХ34 в растворах лимонной кислоты концентрацией менее 25% до температуры кипения корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год, при концентрации до 50% — менее 1 мм/год [4].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) типа нирезист в любых растворах лимонной кислоты при обычной температуре нестойки [3, 5, 40].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13 при обычной температуре в очень разбавленных (<1%) растворах лимонной кислоты стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год), в растворах концентрацией до 50% — удовлетворительно стойки (скорость коррозии <1 мм/год) [1, 4, 88, 150]. При повышении температуры до 50 °С стали сохраняют удовлетворительную стойкость в растворах концентрацией менее 10% [2], в более концентрированных растворах или при более высокой температуре — нестойки [1, 2, 4, 112].

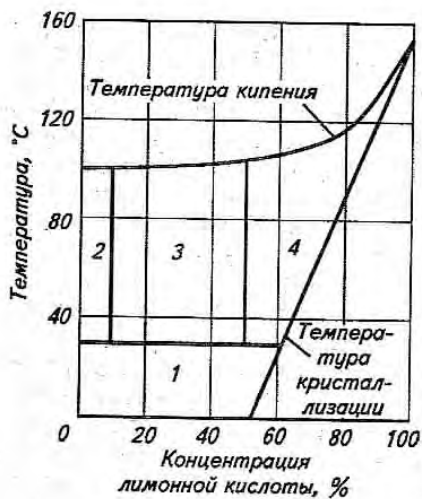


Рис. 40.3. Области применения металлических материалов в лимонной кислоте:

1 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС15М4, ЧС17, ЧС17М3; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; стали типа Х17—Х28, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т, 10Х14Г14Н4Т (до 10%); 10Х13Г18Д, 10Х14АГ15 (до 30%); 10Х17Н5Г9АБ (до 20%); сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ, ХН65МВУ, Н70МФВ-ВИ; монель-металл; мельхиор; алюминий; силумин; свинец (до 20%); титан; тантал; цирконий; серебро; платина; золото; 2 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС15М4, ЧС17, ЧС17М3; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; стали типа Х17—Х28 (до 50—60 °С), Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т, 10Х13Г18Д, 10Х14АГ15, 10Х17Н5Г9АБ (до 60 °С); сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ, ХН65МВУ, Н70МФВ-ВИ; монель-металл; мельхиор; титан; тантал; цирконий; серебро; платина; золото; 3 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС15М4, ЧС17, ЧС17М3; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32 (до 40%); стали типа Х18Н10Т (до 60 °С), Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т (до 25%, 60 °С); 10Х13Г18Д, 10Х14АГ15 (до 20%, 50 °С); сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ (до 30%); ХН65МВУ, Н70МФВ-ВИ; монель-металл (до 30%); мельхиор; титан; тантал; цирконий; серебро (до 25%); платина; золото; 4 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС15М4, ЧС17, ЧС17М3 (до 100 °С); сплавы ХН65МВУ, Н70МФВ-ВИ (до 100 °С); мельхиор (до 100 °С); тантал; цирконий; серебро (до 80 °С); платина; золото

Хромистые стали типа Х17 при обычной температуре стойки в растворах лимонной кислоты концентрацией до 50% (скорость коррозии <0,1 мм/год) [4, 40, 88, 150], в более концентрированных растворах — удовлетворительно стойки (скорость коррозии <0,5 мм/год) [40, 194, 259]. При температуре кипения в растворах концентрацией менее 10% стали обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии <1 мм/год) [4, 102, 150], в более концентрированных растворах — нестойки [1, 2, 40].

Хромистые стали типа Х25, Х28 при обычной температуре в любых растворах лимонной кислоты стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 259], при 50 °С в растворах концентрацией до 25% — удовлетворительно стойки (скорость коррозии <1 мм/год) [2, 259, 260], при концентрации 25—50% — нестойки [2, 260]. При температуре кипения стали нестойки в любых растворах лимонной кислоты [2, 260].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т при обычной температуре в любых растворах лимонной кислоты стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 4,

45, 259] и удовлетворительно стойки (скорость коррозии < 1 мм/год) в растворах концентрацией менее 50% при температуре до 85°C [3, 112, 194, 260]. При температуре кипения стали стойки (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год) только в разбавленных ($< 10\%$) растворах кислоты [4, 40, 88, 150]. Стали типа X17N13M2T в растворах лимонной кислоты концентрацией до 50% стойки (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год) до температуры кипения [1, 4, 40, 88], в более концентрированных растворах при 100°C — нестойки [2, 3, 46]. Согласно данным справочника [45], стали типа X17N13M2T в любых растворах лимонной кислоты стойки до температуры кипения.

Хромоникелевые стали 20X23N13, 20X23N18 при обычной температуре стойки (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год) в любых растворах лимонной кислоты [45], при температуре кипения в 50%-ной кислоте — нестойки [4].

Двухфазная сталь 08X22N6T при обычной температуре в лимонной кислоте концентрацией до 60% корродирует со скоростью менее $0,1$ мм/год [1, 2, 112], в твердой кислоте — со скоростью до $0,3$ мм/год [259]. При температуре кипения в растворах концентрацией до 25% сталь обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии $0,1$ — 1 мм/год), в более концентрированных (25—60%) растворах — нестойка [1, 2, 112]. Сталь 08X21N6M2T при обычной температуре стойка в любых растворах лимонной кислоты, при температуре кипения — только в разбавленных ($< 10\%$) растворах (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год) [2, 112, 259], в более концентрированных (25—50%) растворах скорость коррозии $0,1$ — 1 мм/год [2, 17, 27] (по данным работы [15], скорость коррозии $< 0,1$ мм/год).

Сталь 10X17N5Г9АБ при обычной температуре в любых растворах лимонной кислоты корродирует со скоростью до $0,1$ — $0,6$ мм/год, в разбавленных ($< 7\%$) растворах при температуре до 60°C — со скоростью менее $0,1$ мм/год [259].

Стали 10X14Г14Н4Т, 08X18Г18Н2Т в разбавленных ($< 10\%$) растворах лимонной кислоты при обычной температуре стойки (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год), при температуре кипения сталь 10X14Г14Н4Т корродирует со скоростью до 1 мм/год, сталь 08X18Г18Н2Т — нестойка [2, 4, 102, 112].

Хромомарганцевые стали 10X13Г18Д, 10X14АГ15 в разбавленных ($< 15\%$) растворах лимонной кислоты при температуре до 50°C отличаются высокой стойкостью (скорость коррозии $< 0,01$ мм/год) [15, 261].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ при температуре кипения в растворах лимонной кислоты концентрацией до 25% корродируют со скоростью менее $0,05$ мм/год, при концентрации до 60% — со скоростью менее $0,5$ мм/год [1, 3, 8]. Согласно справочным данным [45], в любых растворах лимонной кислоты до температуры кипения скорость коррозии сплавов менее $0,1$ мм/год.

Никель и сплавы никеля. Никель при обычной температуре в разбавленных ($< 5\%$) растворах лимонной кислоты корродирует со скоростью менее $0,1$ мм/год [2, 4, 40, 46], в растворах концентрацией до 60% — со скоростью $0,1$ — 3 мм/год [1]. В деаэрированной кислоте концентрацией 10—60% при температуре ниже 100°C скорость коррозии никеля менее $0,1$ — $0,5$ мм/год, в 80%-ной кислоте — $0,5$ — $1,3$ мм/год [3, 40].

Монель-металл в растворах лимонной кислоты концентрацией до 60% при обычной температуре стоек (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год), при температуре кипения — удовлетворительно стоек (скорость коррозии $0,1$ — 1 мм/год) [1, 46]. В деаэрированной кислоте концентрацией до 50% при температуре ниже

100 °С скорость коррозии монель-металла менее 0,5 мм/год, в 80%-ной кислоте — 0,5—1,3 мм/год [3].

Никельмолибденовые сплавы типа Н70МФВ, ХН65МВ в любых растворах лимонной кислоты стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) до 100 °С [3] (по справочным данным [40, 45] — до температуры кипения).

Нихром (13—16% Cr) в разбавленных (<5%) растворах лимонной кислоты стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения, в растворах концентрацией до 50% и 70—85% при температуре ниже 100 °С — корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Медь и медные сплавы. Медь в деаэрированных растворах лимонной кислоты концентрацией до 60—70% при обычной температуре стойка (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 3, 194], при температуре до 100 °С — удовлетворительно стойка (скорость коррозии <1 мм/год) [1]. В аэрированных растворах концентрацией менее 60% при обычной температуре медь корродирует со скоростью до 0,6 мм/год, при температуре до 100 °С — нестойка [1].

Бронзы в растворах лимонной кислоты концентрацией до 60% при обычной температуре обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии <1 мм/год), при температуре до 100 °С — нестойки [1].

Латуни при обычной температуре в разбавленных (<5%) растворах лимонной кислоты стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [4, 68], в 100%-ной кислоте скорость коррозии латуней 0,05—0,5 мм/год [3]. В растворах концентрацией до 50—60% при температуре ниже 100 °С латуни корродируют со скоростью 0,1—1,3 мм/год [3], при температуре кипения — со скоростью 0,1—10 мм/год [1].

Мельхиор в любых растворах лимонной кислоты стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры 100 °С [3] (по данным справочника [40] — до температуры кипения).

Алюминий и алюминиевые сплавы типа АМц, АМг, силумины в любых растворах лимонной кислоты при обычной температуре корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [4, 40, 45] (по другим данным [3, 8], до 0,5 мм/год), при температуре ниже 100 °С — со скоростью 0,5—1,3 мм/год [3, 8, 40].

Свинец в растворах лимонной кислоты концентрацией до 30% при температуре ниже 100 °С корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год, в более концентрированных растворах при обычной температуре — неприменим [3].

Титан при температуре ниже 100 °С в аэрированных растворах лимонной кислоты концентрацией до 50% стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год), в деаэрированных растворах — корродирует со скоростью до 1,3 мм/год [1, 3, 10, 83].

Серебро в растворах лимонной кислоты концентрацией менее 20% сохраняет стойкость (скорость коррозии <0,05 мм/год) до температуры кипения, в растворах концентрацией 30—85% при температуре ниже 100 °С — корродирует со скоростью до 0,5 мм/год [3, 40]. По данным справочника [45], в любых растворах лимонной кислоты серебро стойко до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год).

Другие металлы. Цирконий, тантал, платина, золото стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) в любых растворах лимонной кислоты до температуры кипения [3, 40, 45].

Олово при обычной температуре стойко в очень разбавленных (<2%) растворах лимонной кислоты [2, 4, 5, 68] (по данным справочника [40], стойко в любых растворах кислоты).

Цинк в любых растворах лимонной кислоты неприменим [2, 46].

40.26. Малеиновая кислота — $\text{COONCH}=\text{CHCOON}$

Малеиновая (цис-этилен-1,2-дикарбоновая, бутен-2-дионовая-1,3) непредельная кислота при обычных условиях образует бесцветные кристаллы в виде моноклинических призм с температурой плавления $130,5^\circ\text{C}$ и температурой кипения 160°C . Раствор концентрацией 10% кипит при температуре 104°C . При нагреве выше 130°C кислота отщепляет воду и превращается в малеиновый ангидрид. Малеиновая кислота легко восстанавливается до янтарной кислоты.

Малеиновая кислота хорошо растворима в воде (41,1% при 20°C ; 54,1% при 40°C ; 64,0% при 60°C ; 73,9% при 80°C ; 79,7% при 97°C), в этиловом спирте (34,8% при 30°C), эфире (7% при 30°C). Это сильная двухосновная кислота (при 25°C константа диссоциации $K_1 = 1,5 \cdot 10^{-2}$; $K_2 = 1,3 \cdot 10^{-6}$).

Кипящие растворы малеиновой кислоты оказывают очень сильное агрессивное воздействие на металлические материалы. На свету и при нагреве до 200°C малеиновая кислота превращается в фумаровую кислоту (транс-изомер), обладающую меньшей коррозионной активностью. Поэтому горячие концентрированные (80—90%) растворы малеиновой кислоты менее агрессивны, чем растворы концентрацией 45—60% [206]. Некоторые металлы (медь, алюминий в 20%-ной кислоте при обычной температуре, сталь 12X18H10T и в меньшей степени сталь 10X17H13M3T в расплаве кислоты при 140°C) подвержены локальной (точечной, язвенной) коррозии [206].

В табл. 40.4 приведены предельные условия применения металлов и сплавов в малеиновой кислоте.

Таблица 40.4. Предельные условия применения металлов и сплавов в растворах малеиновой кислоты

Металлы и сплавы	Концентрация, %	Температура, $^\circ\text{C}$	Источник
Серебро	Любая	100	[3]
Сплав 06XH28MДГ	Любая	Кип.	[206]
	100 (расплав)	140	[206]
Сталь типа:	20	60	[206]
		100	[3, 4, 206]
	100 (расплав)	140	[206]
		Любая	Кип.
Титан BT1-0	100 (расплав)	140	[206]
	Любая	100	[3]
Чугун ЧС15, ЧС17	Любая	100	[3]

Металлы и сплавы в малеиновой кислоте обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в малеиновой кислоте концентрацией менее 60% при температуре $20\text{—}100^\circ\text{C}$ нестойки [1, 2, 206]. В 100%-ной кислоте углеродистые стали стойки до 100°C (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [3] и нестойки в расплаве кислоты при 140°C [206].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в любых растворах малеиновой кислоты и в 100%-ной кислоте стойки до температуры 100 °С (скорость коррозии <0,5 мм/год) [3, 8].

Хромистый чугун ЧХ28 в растворах малеиновой кислоты концентрацией менее 20—60% при температуре 100 °С нестойк [206].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) при обычной температуре в 10%-ном растворе малеиновой кислоты нестойки, в 30%-ном растворе кислоты — стойки (скорость коррозии <0,5 мм/год) [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х28 при обычной температуре в растворах малеиновой кислоты концентрацией до 41% стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 2, 206]. При температуре ниже 100 °С стали типа Х13 в растворах кислоты концентрацией до 50% нестойки [1]; стали типа Х17 при концентрации до 20% стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год), в более концентрированных (20—60%) растворах — нестойки; стали типа Х28 стойки в кислоте концентрацией до 60% [206].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т при обычной температуре в растворах малеиновой кислоты концентрацией менее 20% корродируют со скоростью 0,1—0,5 мм/год [2, 3, 8, 206], при температуре до 60 °С и концентрации кислоты 25—60% — со скоростью 0,3—1,5 мм/год [206] (по данным работы [3], в 10—30%-ной кислоте стали нестойки). При температуре до 100 °С в кислоте концентрацией до 20% такие стали стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год), в более концентрированных (25—60%) растворах — нестойки. В 70%-ной кислоте при температуре 90 °С стали разрушаются со скоростью менее 0,7 мм/год [206], в 100%-ной кислоте при 100 °С — со скоростью менее 0,5 мм/год [3]. В расплаве кислоты при температуре 140 °С такие стали стойки (скорость коррозии 0,05 мм/год) [206].

Стали типа Х17Н13М2Т в растворах концентрацией менее 60% при температуре ниже 100 °С корродируют со скоростью до 0,1—0,2 мм/год [1, 3, 4, 206], при концентрации 70% и температуре 90 °С — со скоростью менее 0,05 мм/год [206]. В расплаве кислоты при температуре 140 °С скорость коррозии сталей менее 0,01 мм/год [206].

Двухфазная сталь 08Х22Н6Т при обычной температуре в растворах концентрацией до 41% стойка (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 2]. В малеиновой кислоте при 175 °С сталь 08Х22Н6Т корродирует со скоростью до 0,2 мм/год, сталь 08Х21Н6М2Т — со скоростью 0,4 мм/год [15].

Сталь 08Х18Г18Н2Т в растворе малеиновой кислоты концентрацией 50% стойка до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [2, 4, 46].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ при обычной температуре в растворах малеиновой кислоты концентрацией до 41% корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [1, 8], при концентрации 70% и температуре 90 °С — со скоростью менее 0,02 мм/год, в расплаве кислоты при температуре 140 °С — со скоростью менее 0,01 мм/год [206].

Никель и сплавы никеля. Никель в растворах малеиновой кислоты концентрацией до 41% при обычной температуре стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 2], при 60 °С в растворах концентрацией менее 60% — удовлетворительно стоек (скорость коррозии до 0,4—0,6 мм/год). При температуре 100 °С в 5—20%-ной кислоте никель корродирует со скоростью 0,7—1,7 мм/год,

в 45—60%-ной кислоте — нестойк [206]. По данным работы [3], в аэрированной кислоте концентрацией 10—40% при температуре до 100 °С никель и молибден-металл корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Никельмолибденовые сплавы типа Н70МФВ, ХН65МВ при температуре ниже 110 °С в разбавленных (10%) растворах малеиновой кислоты стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год), в более концентрированных (20—90%) растворах — удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год). В 100%-ной кислоте при температуре до 75 °С скорость коррозии сплавов менее 0,05 мм/год, при температуре до 100 °С — менее 0,5 мм/год [3].

Нихром (13—16% Cr) в растворах малеиновой кислоты концентрацией 10—50% корродирует со скоростью менее 0,1—0,5 мм/год [3—5, 46].

Медь и медные сплавы. Медь при температуре 60 °С в растворах малеиновой кислоты концентрацией до 20% корродирует со скоростью 0,7—0,8 мм/год, в растворах концентрацией 45—60% — со скоростью до 0,4 мм/год. При температуре 100 °С и концентрации кислоты менее 60% скорость коррозии меди около 0,3 мм/год [206]. Медь и латунь при обычной температуре в деаэрированной кислоте концентрацией 10 и 100% разрушаются со скоростью 0,05—0,5 мм/год, в растворах концентрацией 30—50% — со скоростью 0,5—1,3 мм/год [3].

Оловянистые бронзы в деаэрированных растворах концентрацией менее 41% стойки до температуры кипения [1].

Мельхиор при обычной температуре стоек в разбавленных (5%) растворах малеиновой кислоты (скорость коррозии 0,02 мм/год) [4].

Алюминий при обычной температуре в растворах малеиновой кислоты концентрацией до 20% стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3, 206], при концентрации кислоты 30—50% — удовлетворительно стоек (скорость коррозии до 0,5 мм/год) [3, 8]. В растворах кислоты концентрацией до 60% при температуре ниже 60 °С алюминий корродирует со скоростью до 0,5—0,7 мм/год [206] (по данным работы [3] — до 1,3 мм/год), при температуре 100 °С — нестойк [3, 8, 206].

Свинец при обычной температуре в растворах малеиновой кислоты концентрацией до 41% удовлетворительно стоек (скорость коррозии <0,5 мм/год), при повышенной температуре — нестойк [1, 2] (по данным работы [3], в 10%-ной кислоте нестойк при обычной температуре).

Титан при температуре ниже 100 °С в малеиновой кислоте концентрацией 10—100% корродирует со скоростью менее 0,05 мм/год [3, 39] (по данным работы [206], в 20%-ной кислоте при 100 °С скорость коррозии до 0,2 мм/год). В расплаве кислоты при температуре 140 °С скорость коррозии титана менее 0,001 мм/год [39, 206].

Другие металлы. Серебро при температуре ниже 100 °С стойко (скорость коррозии <0,05 мм/год) в растворах малеиновой кислоты концентрацией 10—100% [3], тантал — при концентрации кислоты до 41% [1, 2].

Олово, цинк при обычной температуре неприменимы в растворах малеиновой кислоты [2, 46, 194].

40.27. Малоновая кислота — $\text{COONCH}_2\text{COOH}$

Малоновая (метандикарбоновая, пропандионовая) кислота при обычных условиях — кристаллическое вещество с температурой плавления 130,3 °С.

При нагреве выше 140 °С или в водных растворах при температуре выше 70 °С кислота легко разлагается с отщеплением CO_2 и образованием уксусной кислоты. Малоновая кислота относится к предельным двухосновным кислотам ($K_1 = 1,77 \cdot 10^{-3}$; $K_2 = 4,72 \cdot 10^{-6}$ при 25 °С). Кислота хорошо растворима в воде (60,5% при 20 °С; 68,0% при 40 °С; 74,5% при 60 °С; 82,0% при 80 °С; 89,0% при 100 °С), этиловом спирте, эфире (7,4% при 20 °С).

Металлы и сплавы в малоновой кислоте обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали при обычной температуре в разбавленной (<10%) малоновой кислоте корродируют со скоростью 0,5—1,3 мм/год [3, 262], в растворах концентрацией 30—50% — нестойки [3].

Углеродистые стали и серые чугуны в 100%-ной кислоте при температуре ниже 100 °С разрушаются со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в любых растворах малоновой кислоты и в 100%-ной кислоте стойки до 100 °С (в 10%-ной кислоте скорость коррозии <0,05 мм/год, в 30—100%-ной кислоте — 0,05—0,5 мм/год) [3].

Никелевые чугуны (16% Ni) типа нирезист в 100%-ной кислоте при температуре 100 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13 при обычной температуре в разбавленных (10%) растворах малоновой кислоты обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [88].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т при обычной температуре в разбавленных (10%) растворах малоновой кислоты корродируют со скоростью 0,1—0,5 мм/год [3, 88], при температуре 100 °С — со скоростью 0,5—1,3 мм/год [3]. При температуре 50 °С стали типа Х18Н10Т сохраняют удовлетворительную стойкость в кислоте концентрацией до 20% (скорость коррозии <0,5 мм/год), стали типа Х17Н13М2Т — в кислоте концентрацией 40—70%. В 100%-ной кислоте стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т обладают удовлетворительной стойкостью до 100 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

В разбавленных растворах малоновой кислоты стали типа Х18Н10Т могут подвергаться межкристаллитной коррозии [3].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в любых растворах малоновой кислоты корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год при температуре до 100 °С, в 100%-ной кислоте — при температуре до 125 °С [3].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл, нихром (13—16% Cr) при обычной температуре в деаэрированных растворах малоновой кислоты концентрацией 10—30% удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Никельмолибденовые сплавы типа Н70МФВ, ХН65МВ при температуре ниже 100 °С в растворах малоновой кислоты концентрацией 10—50% корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Медь и медные сплавы. Медь при температуре до 100 °С в деаэрированных растворах малоновой кислоты концентрацией 10—100% корродирует со скоростью менее 0,5 мм/год. Латунь при обычной температуре в растворах кислоты концентрацией 10—80% нестойка [3].

Алюминий при обычной температуре в разбавленных (10%) растворах малоновой кислоты корродирует со скоростью менее 0,5 мм/год [3, 262], при тем-

пературе 100 °С — нестойк. В 100%-ной кислоте при температуре ниже 100 °С скорость коррозии алюминия 0,05—0,5 мм/год [3].

Титан в малоновой кислоте концентрацией 10% при обычной температуре стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год), при температуре 100 °С — нестойк [3].

Другие металлы. Цирконий при температуре ниже 100 °С в растворах малоновой кислоты концентрацией 10—100% корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Хром в малоновой кислоте концентрацией 10% при обычной температуре стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год), при температуре 60 °С — корродирует со скоростью до 0,4 мм/год [45].

Свинец при обычной температуре нестойк в растворах малоновой кислоты [3, 262].

40.28. Масляная кислота — $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$

Масляная (этилуксусная, бутановая) кислота является одноосновной насыщеннй кислотой жирного ряда. При обычных условиях это бесцветная жидкость с температурой кристаллизации $-5,3$ °С и температурой кипения $163,5$ °С ($90-92$ °С при 47 мм рт. ст.). Масляная кислота хорошо растворима в воде, этиловом спирте, эфире. При температуре выше $-4,1$ °С кислота смешивается с растворителем в любом соотношении. Азеотропная смесь кислоты и воды концентрацией 18,5% кипит при температуре $99,4$ °С.

Масляная кислота является слабой кислотой ($K = 1,52 \cdot 10^{-5}$ при 25 °С) и обладает общими свойствами, характерными для предельных карбоновых кислот. По отношению к металлическим материалам кислота проявляет наибольшее агрессивное воздействие при средних концентрациях.

Области применения металлических материалов в зависимости от температуры и концентрации масляной кислоты ориентировочно показаны на рис. 40.4.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали при обычной температуре в разбавленной (<15%) масляной кислоте корродируют со скоростью 0,2—1,3 мм/год [3, 262, 263], в растворах концентрацией 40—100% — нестойки [3]. При температуре до 50 °С в разбавленных (<10%) растворах скорость коррозии сталей 0,1—0,3 мм/год [206, 263], в растворах концентрацией более 15% стали нестойки [206]. При температуре кипения в любых растворах масляной кислоты углеродистые стали нестойки [2, 206].

Серые чугуны в растворах масляной кислоты нестойки при обычной температуре [1, 3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в растворах масляной кислоты концентрацией 10—90% стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) до температуры 100 °С [3] (по другим данным [1, 61, 88], до температуры кипения), в 100%-ной кислоте — до температуры 150 °С [3].

Хромистый чугун ЧХ32 в растворе масляной кислоты концентрацией 80% при обычной температуре стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) [46, 194].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в 10%-ном растворе масляной кислоты при обычной температуре разрушаются со скоростью менее 0,5 мм/год, при температуре 50 °С — нестойки. В кислоте концентрацией 30—90% такие чугуны нестойки при обычной температуре [3].

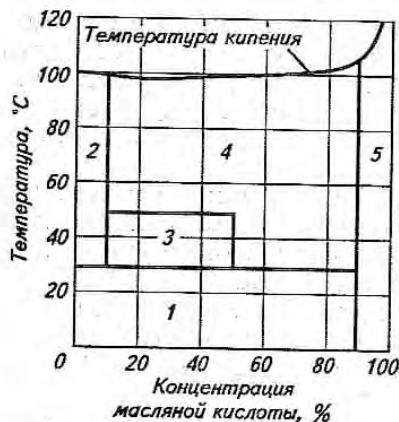


Рис. 40.4. Области применения металлических материалов в масляной кислоте:

1 — углеродистая сталь (до 10%); кремнистый чугун ЧС15, ЧС15М4, ЧС17, ЧС17М3; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; стали типа Х13—Х28, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ, ХН65МВУ, Н70МФВ-ВИ; монель-металл; медь; латунь; бронза; титан; серебро; платина; тантал; цирконий; 2 — углеродистая сталь (до 50 °С); кремнистый чугун ЧС15, ЧС15М4, ЧС17, ЧС17М3; стали типа Х13 (до 50 °С), Х17—Х28, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ, ХН65МВУ, Н70МФВ-ВИ; монель-металлы; медь; латунь; бронза; титан; серебро; платина; тантал; цирконий; 3 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС15М4, ЧС17, ЧС17М3; стали типа Х13 (до 25%), Х17—Х28, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т; сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ, ХН65МВУ, Н70МФВ-ВИ; монель-металл; латунь; бронза; титан; серебро; платина; тантал; цирконий; 4 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС15М4, ЧС17, ЧС17М3; стали типа Х17—Х28, типа Х18Н10Т (до 25%), Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т; сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ, ХН65МВУ; сплав Н70МФВ-ВИ (до 100 °С); латунь (до 50 °С); титан; серебро; платина; тантал; цирконий; 5 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС15М4, ЧС17, ЧС17М3 (до 150 °С); стали типа Х13 (до 100 °С), Х17 (до 100 °С), Х25—Х28, типа Х18Н10Т (до 120 °С), Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т (до 100 °С), 08Х21Н6М2Т; сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ, ХН65МВУ; сплав Н70МФВ-ВИ (до 100 °С); латунь (до 50 °С); титан; серебро; платина; тантал; цирконий

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13 при обычной температуре в любых растворах масляной кислоты стойки (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год) [2, 150, 206], при 50 °С в растворах концентрацией до 25% и в 98%-ной кислоте — стойки, в растворах концентрацией 50—75% — удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,4—0,5 мм/год) [206]. При температуре кипения в любых растворах кислоты скорость коррозии таких сталей 0,5—1 мм/год [2, 150, 206] (по другим данным [1, 112], стали нестойки).

Стали типа Х17 в любых растворах масляной кислоты до температуры кипения корродируют со скоростью 0,1—0,5 мм/год [2, 150] (по данным справочника [1] — 1—3 мм/год), стали типа Х25, Х28 — со скоростью менее 0,1 мм/год [1] (по данным работы [2] — до 0,5 мм/год).

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т при температуре ниже 75 °С в любых растворах масляной кислоты корродируют со скоростью менее 0,1—0,5 мм/год [3, 206]. При температуре до 100 °С в 10—20%-ной кислоте скорость коррозии сталей менее 0,5 мм/год, в 20—50%-ной кислоте — 0,5—1,3 мм/год, в 60—100%-ной кислоте — нестойки [3]. При температуре кипения в кислоте концентрацией до 25%

[1, 3, 206] и в 98—100%-ной кислоте [61, 88, 150] стали корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год, в 50—75%-ной кислоте — со скоростью 0,2—1 мм/год [2, 206].

Стали типа X17H13M2T в любых растворах масляной кислоты стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [1, 112, 206]. По данным работы [3], при температуре ниже 100 °С скорость коррозии таких сталей 0,05—0,5 мм/год.

Двухфазная сталь 08X22H6T в любых растворах масляной кислоты до температуры кипения корродирует со скоростью менее 0,1—0,5 мм/год, сталь 08X21H6M2T — со скоростью менее 0,1 мм/год [1, 2, 112].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в любых растворах масляной кислоты стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [1, 2, 206]. По данным работы [3], при температуре ниже 100 °С в растворах кислоты концентрацией менее 90% скорость коррозии сплавов до 0,05—0,5 мм/год.

Никель и сплавы никеля. Никель при температуре до 100 °С в любых растворах масляной кислоты корродирует со скоростью 0,5—1,3 мм/год [3] (по данным справочника [1] — до 3 мм/год).

Монель-металл при температуре ниже 100 °С в растворах кислоты концентрацией до 90% корродирует со скоростью 0,1—1 мм/год [1, 3], в 100%-ной кислоте до 75 °С — со скоростью 0,05—0,5 мм/год, при 100 °С — нестойк [3].

Никельмолибденовые сплавы Н70МФВ, ХН65МВ в любых растворах масляной кислоты стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) до 100 °С [3], при температуре кипения скорость коррозии сплава Н70МФВ возрастает до 0,4—1,3 мм/год, сплав ХН65МВ остается стойким [206].

Нихром (13—16% Cr) в любых растворах масляной кислоты при температуре ниже 100 °С корродирует со скоростью менее 0,5—1,3 мм/год [3].

Медь и медные сплавы. Медь в растворах масляной кислоты концентрацией до 98% при температуре ниже 50 °С корродирует со скоростью 0,1—0,5 мм/год, при температуре кипения — со скоростью 0,1—0,9 мм/год [1, 2, 206] (по данным справочника [1] — до 1—3 мм/год).

Бронза при температуре ниже 50 °С в растворах кислоты концентрацией до 25% корродирует со скоростью менее 0,05 мм/год, в растворах концентрацией 50—98% — со скоростью 0,1—0,5 мм/год. При температуре кипения в растворах кислоты концентрацией менее 50% скорость коррозии бронзы 0,1—0,5 мм/год, при концентрации 50—75% — 0,4—0,9 мм/год, в более концентрированных растворах — 0,1—0,4 мм/год [206].

Латунь в растворах масляной кислоты концентрацией менее 98% при температуре до 50 °С стойка (скорость коррозии <0,1—0,2 мм/год), при температуре кипения — удовлетворительно стойка (скорость коррозии 0,3—0,9 мм/год) [206].

Алюминий при температуре ниже 60 °С в разбавленных (<10%) растворах масляной кислоты корродирует со скоростью менее 0,1—1 мм/год [46, 194], в растворах концентрацией 10—98% — со скоростью менее 0,1—0,5 мм/год [1, 3, 206]. При температуре кипения в разбавленных растворах кислоты скорость коррозии алюминия менее 0,5 мм/год, в растворах концентрацией 15—75% — 0,8—1,1 мм/год [206]. В 100%-ной кислоте при температуре 150 °С алюминий нестойк [3].

Титан в любых растворах масляной кислоты стойк (скорость коррозии <0,05 мм/год) до температуры 100 °С [3] (по другим данным [39, 206], до температуры кипения).

Другие металлы. Серебро, тантал в любых растворах масляной кислоты стойки (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год) до температуры кипения [1—3].

Платина, цирконий в любых растворах масляной кислоты при температуре ниже 100°C корродируют со скоростью менее $0,1$ мм/год [3].

Хром в масляной кислоте концентрацией 10% при обычной температуре корродирует со скоростью менее $0,1$ мм/год, при температуре 60°C — со скоростью до $0,4$ мм/год [45].

Свинец при обычной температуре нестойк в растворах масляной кислоты [1, 3, 262].

40.29. Метакриловая кислота — $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{COOH}$

Метакриловая (α -метилакриловая, 2-метилпропен-2-овая) кислота плавится при температуре 16°C , кипит при $160,5^\circ\text{C}$ (60°C при 12 мм рт. ст.). Кислота хорошо растворима в горячей воде, смешивается в любых соотношениях с этиловым спиртом, эфиром. При обычной температуре полимеризуется.

Метакриловая кислота по коррозионной активности близка к акриловой кислоте. Она вызывает сильную коррозию нелегированных сталей и чугунов, которые способствуют полимеризации кислоты.

Области применения металлических материалов в зависимости от температуры и концентрации метакриловой кислоты ориентировочно показаны на рис. 40.5.

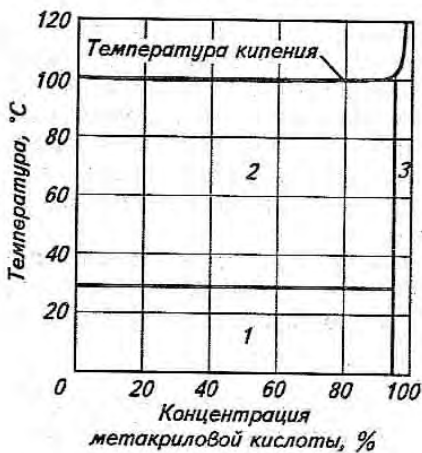


Рис. 40.5. Области применения металлических материалов в метакриловой кислоте:

1 — углеродистая сталь; кремнистый чугун ЧС15, ЧС15М4, ЧС17, ЧС17М3; стали типа X13—X28, X18N10T, X17N13M2T; стали 08X22H6T, 08X21H6M2T; сплавы 06XH28MДТ, 03XH28MДТ; титан; 2 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС15М4, ЧС17, ЧС17М3; стали типа X18N10T, X17N13M2T; стали 08X22H6T, 08X21H6M2T; сплавы 06XH28MДТ, 03XH28MДТ; титан; 3 — углеродистая сталь (до 30°C); серый чугун (до 30°C); кремнистый чугун ЧС15, ЧС15М4, ЧС17, ЧС17М3 (до 100°C); никелевый (14—32% Ni) чугун (до 30°C); стали типа X13—X28 (до 30°C), X18N10T, X17N13M2T; стали 08X22H6T, 08X21H6M2T; сплавы 06XH28MДТ, 03XH28MДТ; титан

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали при обычной температуре в любых растворах метакриловой кислоты стойки (скорость коррозии $< 0,1$ — $0,2$ мм/год) [1, 3], при температуре 100°C — нестойки [1, 2].

Серые чугуны в концентрированной (98—100%) кислоте при обычной температуре стойки (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в растворах метакриловой кислоты концентрацией 98—100% стойки (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) до температуры 100°C [3].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) при обычной температуре в концентрированной метакриловой кислоте обладают высокой стойкостью (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13, Х17 при обычной температуре в любых растворах метакриловой кислоты стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год), при температуре кипения — нестойки [1, 2].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т и двухфазная сталь 08Х22Н6Т в любых растворах метакриловой кислоты сохраняют стойкость (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до температуры кипения [1, 2].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в любых растворах метакриловой кислоты стойки до температуры кипения (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1, 2].

Титан в любых растворах метакриловой кислоты стоек до температуры кипения (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1].

40.30. Молочная кислота — $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}$

Молочная (2-пропаноловая) кислота — одноосновная двухатомная оксикислота ($K = 1,38 \cdot 10^{-4}$ при 25°C). При нормальных условиях концентрированная кислота представляет собой густую сиропообразную жидкость, безводная кислота — кристаллическую массу с температурой плавления 18°C и температурой кипения 122°C (при 14—15 мм рт. ст.). Молочная кислота хорошо растворима в воде и этиловом спирте (смешивается в любых соотношениях) и плохо растворима в эфире. Дегидратация молочной кислоты приводит к образованию акриловой кислоты.

В коррозионном отношении молочная кислота действует на металлические материалы подобно уксусной кислоте соответствующей концентрации [45]. Наибольшей агрессивностью обладают растворы молочной кислоты средних концентраций (рис. 40.6).

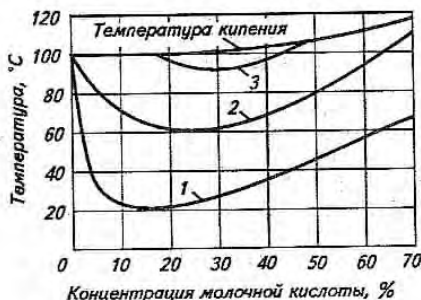


Рис. 40.6. Линии постоянной скорости коррозии (0,1 мм/год) в растворах молочной кислоты нержавеющей сталей типа [105]:

1 — Х17; 2 — Х18Н10Т; 3 — Х17Н13М2Т

В табл. 40.5 приведены предельные условия применения металлов и сплавов в молочной кислоте.

Таблица 40.5. Предельные условия применения металлов и сплавов в растворах молочной кислоты

Металлы и сплавы	Концентрация, %	Температура, °С	Источник
Алюминий	Любая	Комн.	[45, 62]
Золото	Любая	Кип.	[1—3, 45]
Медь	30	75	[3, 4, 46, 260]
	В 40—100	50	[3, 4, 46, 260]
Монель-металл	5	Комн.	[3, 4, 46, 260]
	В 80	100	[3]
Никель	10	80	[1, 4, 61, 260]
	В 40—80	75	[3]
Нихром (13—16% Cr)	50	50	[4, 5, 46, 260]
Платина	Любая	Кип.	[1—3, 45]
Серебро	Любая	125	[3]
Сплав:			
06ХН28МДТ	Любая	Кип.	[2, 3, 45, 150]
Н70МФВ, ХН65МВУ		Кип.	[3, 45, 112]
Сталь:			
типа Х18Н10Т	Любая	Комн.	[59, 62]
	75	50	[1—3, 59]
	50	80	[2, 112, 260]
типа Х17Н13М2(М3)Т	10	Кип.	[4, 46, 88, 150]
	Любая	100	[3, 59, 112]
20Х23Н13, 20Х23Н18	50	Кип.	[45]
10Х13Г18Д	3	80	[15]
Тантал	Любая	Кип.	[1—3, 45, 64]
Титан ВТ1-0	Любая	Кип.	[64]
	Любая	100	[1, 3, 39, 83]
	85	Кип.	[2, 46, 112, 260]
	В 100	150	[3]
Цирконий	85	Кип.	[2, 3, 10, 83]
	Любая	Кип.	[64]
Чугун ЧС15, ЧС17	Любая	Кип.	[1, 4, 62, 260]

Металлы и сплавы в молочной кислоте обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны при обычной температуре в разбавленных (<10%) растворах молочной кислоты корродируют со скоростью до 1 мм/год, в более концентрированных растворах — нестойки [1—4]. При повышении

температуры до 50 °С стали и чугуны в любых растворах кислоты нестойки [1, 5, 260].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в любых растворах молочной кислоты стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 4, 260] (по другим данным [3, 8, 88], скорость коррозии до 0,5—1 мм/год).

Хромистые чугуны ЧХ28, ЧХ32 в очень разбавленных (1,5%) растворах молочной кислоты стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) при обычной температуре [46, 260] (по данным работы [88], до температуры кипения). В кислоте концентрацией 10—100% скорость коррозии таких чугунов до 2,4 мм/год [4].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в любых растворах молочной кислоты при обычной температуре корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год, при температуре 50 °С — нестойки [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х28 в очень разбавленных (1,5%) растворах молочной кислоты удовлетворительно стойки до температуры кипения (скорость коррозии <1 мм/год) [2, 46, 102]. В растворах концентрацией более 5% при обычной температуре такие стали нестойки [1, 2, 4, 260].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т в растворах молочной кислоты концентрацией менее 75% стойки до 50 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1—3, 112]. В растворах концентрацией менее 50% стали удовлетворительно стойки до 80 °С (скорость коррозии <0,5 мм/год), при концентрации менее 10% — до 100 °С (скорость коррозии 0,5—1 мм/год) [2, 112, 260], в более концентрированных растворах — нестойки [3, 8]. При температуре кипения в кислоте концентрацией до 50% стали корродируют со скоростью менее 1—5 мм/год, в 80—100%-ной кислоте — со скоростью 1—3 мм/год [4, 88, 260].

Стали типа Х17Н13М2Т в разбавленных (<10%) растворах молочной кислоты стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [4, 88, 150], в более концентрированных (10—70%) — до 50 °С [2, 3, 112]. В растворах концентрацией 10—100% при температуре ниже 100 °С скорость коррозии таких сталей до 0,5 мм/год [3, 8, 112], при концентрации 80—100% и температуре кипения — до 1—3 мм/год [4, 88, 150].

В разбавленных (10—20%) растворах кислоты стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т могут подвергаться питтинговой коррозии. Стали типа Х18Н10Т в концентрированных (80—100%) растворах и стали типа Х17Н13М2Т в растворах концентрацией 40—60% подвержены межкристаллитной коррозии [3].

Хромоникелевые стали 20Х23Н13, 20Х23Н18 в растворах молочной кислоты концентрацией до 50% стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [45].

Двухфазная сталь 08Х22Н6Т в молочной кислоте концентрацией менее 50% стойка (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры 50 °С, сталь 08Х21Н6М2Т — до 100 °С. При температуре кипения в таких растворах сталь 08Х22Н6Т корродирует со скоростью 0,5—1 мм/год, сталь 08Х21Н6М2Т — со скоростью менее 0,5 мм/год, в концентрированных (80—100%) растворах обе стали нестойки [1, 2, 112].

Сталь 08Х18Г18Н2Т при температуре кипения в растворе молочной кислоты концентрацией 1,5% стойка (скорость коррозии <0,1 мм/год), при концен-

трации 10% — удовлетворительно стойка (скорость коррозии 0,5—1 мм/год) [2, 4, 102]. В концентрированной (80—100%) кислоте при обычной температуре сталь удовлетворительно стойка (скорость коррозии <1 мм/год), при температуре кипения — нестойка [4, 46].

Хромомарганцевые стали 10X13Г18Д, 10X14АГ15 в разбавленных (3%) растворах молочной кислоты стойки при температуре до 50—80 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [15].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в любых растворах молочной кислоты стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [2, 45, 150] (по другим данным [3, 8] — до 0,5 мм/год).

Никель и сплавы никеля. Никель при обычной температуре стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) в растворах молочной кислоты концентрацией менее 5% [4, 62, 260]. В кислоте концентрацией 10% никель удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) до 100 °С [1, 4, 260], при концентрации кислоты 40—80% — до 75 °С (скорость коррозии <0,5 мм/год) [3]. В 80%-ной кислоте при температуре 100 °С никель нестойк [3].

Монель-металлы при обычной температуре стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) в растворах концентрацией до 5% [4, 62, 260] и удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,5—1,3 мм/год) в растворах кислоты концентрацией 40—50% [3]. При повышении температуры до 50 °С в кислоте концентрацией 10—50% монель-металл нестойк, в 80%-ной кислоте при температуре до 100 °С — удовлетворительно стоек (скорость коррозии <0,5 мм/год) [3].

Никельмолибденовые сплавы типа Н70МФВ, ХН65МВ в любых растворах молочной кислоты стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [45, 112] (по данным работы [3] — менее 0,5 мм/год).

Нихром (13—16% Cr) в растворах молочной кислоты концентрацией до 45—50% при температуре ниже 50 °С корродирует со скоростью менее 0,2—0,3 мм/год [3, 4, 260], в растворах концентрацией до 25% при температуре ниже 90 °С — со скоростью менее 1—1,5 мм/год [4, 43, 46].

Медь и медные сплавы. Медь обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии <0,5 мм/год) в растворах молочной кислоты концентрацией до 30% при температуре ниже 75 °С и в растворах концентрацией 40—100% при температуре ниже 50 °С [3, 4, 46]. В кислоте концентрацией 10—100% при 125 °С медь нестойка [3].

Бронза, латунь в растворах молочной кислоты при обычной температуре корродируют со скоростью 0,1—1 мм/год, при температуре кипения — нестойки [1, 3].

Мельхиор в любых деаэрированных растворах молочной кислоты при обычной температуре стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год), в растворах концентрацией 10—20% при температуре 50 °С — нестойк [3].

Алюминий и его сплавы с медью, магнием, марганцем, кремнием при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) в растворах молочной кислоты концентрацией до 80% [2, 4, 61, 260] (по другим данным [3, 45, 62], в любых растворах). При температуре до 100 °С в растворах кислоты концентрацией 10—50% алюминий и его сплавы нестойки [3, 8].

Титан в любых растворах молочной кислоты стоек (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год) до температуры 100°C , в 100%-ной кислоте — до 150°C [1, 3, 39, 83], при концентрации менее 85% — до температуры кипения [2, 46, 64, 260].

Серебро в любых растворах молочной кислоты стойко (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год) до температуры 125°C [3], при температуре кипения скорость коррозии серебра $0,5\text{—}3$ мм/год [1, 5, 68].

Другие металлы. Тантал, платина, золото при температуре кипения стойки (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год) в любых растворах молочной кислоты [1—3, 64], цирконий — в растворах концентрацией менее 85% [2, 3, 10] (по данным работы [64] — в любых растворах).

Свинец, цинк при обычной температуре нестойки в растворах молочной кислоты [3, 4].

40.31. Мочевая кислота — $\text{C}_5\text{H}_4\text{N}_4\text{O}_3$

Мочевая кислота (2,6,8-триоксипурин) при обычных условиях — бесцветный кристаллический порошок. При нагреве выше 400°C мочевая кислота разлагается без плавления. Мочевая кислота очень плохо растворима в воде (0,0065% при 37°C), нерастворима в этиловом спирте и эфире.

Мочевая кислота является очень слабой двухосновной кислотой ($K_1 = 1,78 \cdot 10^{-6}$; $K_2 = 5,0 \cdot 10^{-11}$ при 25°C). Два атома водорода в молекуле кислоты способны замещаться атомами металлов.

Металлы и сплавы в мочевой кислоте обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны при обычной температуре в мочевой кислоте нестойки [3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в мочевой кислоте при обычной температуре стойки (скорость коррозии $0,05\text{—}0,5$ мм/год) [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х28 при обычной температуре в мочевой кислоте стойки (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год) [46, 62, 88] (по данным работы [3] — менее $0,5$ мм/год).

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т и стали 20Х23Н18, 08Х22Н6Т в мочевой кислоте при обычной температуре стойки (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год) [46]. По данным работы [3], скорость коррозии сталей типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т до $0,5$ мм/год.

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в мочевой кислоте при обычной температуре корродируют со скоростью $0,05\text{—}0,5$ мм/год [3].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл, сплавы Н70МФВ, ХН65МВУ при обычной температуре в мочевой кислоте корродируют со скоростью менее $0,05\text{—}0,5$ мм/год [3, 4, 46, 62].

Другие металлы. Медь при обычной температуре и серебро при температуре до 100°C в мочевой кислоте разрушаются со скоростью $0,05\text{—}0,5$ мм/год, цирконий — со скоростью менее $0,05$ мм/год [3].

Алюминий при обычной температуре неприменим в мочевой кислоте [3, 46].

40.32. Муравьиная кислота — НСООН

Муравьиная (метановая) кислота представляет собой бесцветную жидкость с температурой кристаллизации $8,25^\circ\text{C}$ и температурой кипения $100,7^\circ\text{C}$ (50°C

при 120 мм рт. ст.). Кислота смешивается в любых соотношениях с водой, этиловым спиртом и диэтиловым эфиром. Азеотропная смесь кислоты с водой концентрацией 77,4% кипит при 107,2 °С. При температуре около 160 °С кислота разлагается на CO_2 и H_2 .

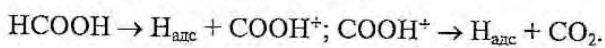
Муравьиная кислота является простейшей карбоновой кислотой средней силы ($K = 1,8 \cdot 10^{-4}$ при 20 °С). Кислотные свойства ее обусловлены влиянием кислорода карбонильной группы на гидроксил, который непосредственно связан с углеродом этой группы. Это способствует смещению электронного облака гидроксильного кислорода в сторону карбонильной группы и ослаблению связи между водородом и гидроксильным кислородом. В результате увеличивается подвижность атома водорода в гидроксиде, и он легко отщепляется в виде катиона H^+ .

По структуре молекулы муравьиная кислота отличается от других кислот, так как содержит альдегидную группу, что обеспечивает ей сильные восстановительные свойства. Кислота легко окисляется до CO_2 и H_2O .

Муравьиная кислота обладает наибольшей коррозионной активностью среди карбоновых кислот, что связано с ее восстановительными свойствами. Процесс коррозии некоторых металлов в муравьиной кислоте может протекать как по электрохимическому, так и по химическому или смешанному механизму [264, 265]. В зависимости от концентрации кислоты катодный процесс может протекать при восстановлении растворенного кислорода, катионов водорода и молекул HCOOH . Коррозия некоторых металлов (нержавеющие стали, алюминий, титан) в присутствии растворенного кислорода тормозится, других (медь, никель, свинец) — усиливается. В аэрированных растворах с повышением концентрации кислоты вклад молекул HCOOH как деполяризатора увеличивается, а кислород все больше расходуется на окисление продуктов восстановления муравьиной кислоты [266].

Из-за слабых окислительных свойств кислоты при коррозии металлы и сплавы могут находиться в активном, активно-пассивном и пассивном состояниях. Пассивные металлы и сплавы в определенных условиях в растворах муравьиной кислоты могут подвергаться локальной коррозии (например, точечно-язвенная коррозия титана при концентрации кислоты более 90% [267], питтинговая и межкристаллитная коррозия сталей типа X18H10T в растворах кислоты средних концентраций [3]).

В некоторых случаях коррозионный процесс в растворах муравьиной кислоты может сопровождаться наводороживанием и охрупчиванием металла. Это связано с появлением адсорбированного водорода на поверхности металла не только в результате протекания процесса растворения металла, но и при распаде муравьиной кислоты по схеме [268]:



Области применения металлических материалов в зависимости от температуры и концентрации муравьиной кислоты ориентировочно показаны на рис. 40.7. В табл. 40.6 приведены предельные условия применения металлов и сплавов в растворах муравьиной кислоты.

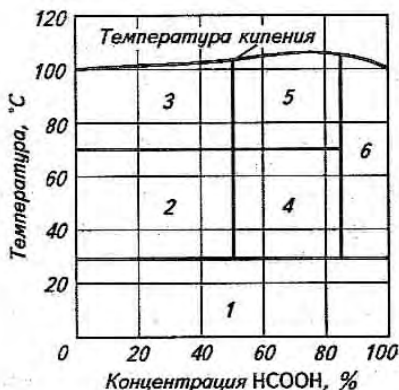


Рис. 40.7. Области применения металлических материалов в муравьиной кислоте:

1 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС15М4, ЧС17, ЧС17М3; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; стали: 08Х22Н6Г; 03Х23Н6; 08Х21Н6М2Т; 03Х24Н6АМ3; 03Х21Н21М4ГБ; 02Х21Н25М5ДБ; сплавы: 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН30МДБ; ХН40МДБ-ВИ; ХН63МБ; ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ; латунь (до 50%); бронза (БрА5, БрА7); алюминий; титан; сплавы титана: 4200, 4201; серебро; платина; тантал; цирконий; 2 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС15М4, ЧС17, ЧС17М3; стали типа Х17Н13М2Т (до 50%); стали: 08Х22Н6Т (до 50%); 03Х23Н6; 08Х21Н6М2Т; 03Х24Н6АМ3; 03Х21Н21М4ГБ; 02Х21Н25М5ДБ; сплавы: 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН30МДБ; ХН40МДБ-ВИ; ХН63МБ; ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ; титан; сплавы титана: 4200; 4201 (до 30%); серебро; платина; тантал; цирконий; 3 — стали: 03Х23Н6 (до 90 °С); 03Х24Н6АМ3; 03Х21Н21М4ГБ; 02Х21Н25М5ДБ; сплавы: 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН30МДБ; ХН40МДБ-ВИ; ХН63МБ; ХН65МВУ; титан (до 20%); сплавы титана: 4200; 4201 (до 20%); серебро (до 100 °С); платина; тантал; цирконий; 4 — стали типа Х17Н13М2Т (до 50 °С); стали: 08Х22Н6Т (до 50 °С); 03Х23Н6; 08Х21Н6М2Т; 03Х24Н6АМ3; 03Х21Н21М4ГБ; 02Х21Н25М5ДБ; сплавы: 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН30МДБ; ХН40МДБ-ВИ; ХН63МБ; ХН65МВУ; титан; сплавы титана: 4200; 4201; серебро; платина; тантал; цирконий; 5 — стали: 03Х23Н6 (до 90 °С); 03Х24Н6АМ3; 03Х21Н21М4ГБ (до 100 °С); 02Х21Н25М5ДБ; сплавы: 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН30МДБ; ХН40МДБ-ВИ; ХН63МБ; ХН65МВУ; сплавы титана: 4200; 4201; платина; тантал; цирконий; 6 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС15М4, ЧС17, ЧС17М3; стали типа Х17Н13М2Т (до 50 °С); стали: 03Х23Н6; 03Х24Н6АМ3; 02Х21Н25М5ДБ; сплавы: ХН40МДБ-ВИ; ХН63МБ; ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ (до 100 °С); титан (до 80 °С); титановый сплав 4200; платина; тантал; цирконий

Таблица 40.6. Предельные условия применения металлов и сплавов в растворах муравьиной кислоты

Металлы и сплавы	Раствор муравьиной кислоты		Источник
	Концентрация, %	Температура, °С	
Алюминий	Любая	Комн.	[3, 4, 257]
	В 85	30	[257]
Бронза алюминиевая	Любая	Комн.	[1, 4, 46]
	10	100	[1, 3, 46]
	В 80—98	70	[62]
Золото	Любая	Кип.	[45]
Мельхиор	Любая	Комн.	[45]

Металлы и сплавы	Раствор муравьиной кислоты		Источник
	Концентрация, %	Температура, °С	
Никель	90	Комн.	[10, 260]
Нихром (13—22% Сг, 6—8% Fe)	80	Кип.	[45, 46, 139]
Платина	Любая	Кип.	[1, 3, 40, 269]
Серебро	50	100	[3]
Сплав:			
06ХН28МДТ	Любая	Кип.	[45, 258]
ХН40МДБ	Любая	Кип.	[10, 30, 46]
ХН63МБ, ХН65МВУ	Любая	Кип.	[1, 3, 10, 40]
Н70МФВ	65	50	[10, 40]
4200 (Ti — 0,2% Pd)	Любая	150	[257]
Сталь:			
типа Х18Н10Т	Любая	Комн.	[4, 40, 88, 150]
	20	Кип.	[45, 59]
	В 80—98	80	[192, 193]
типа Х17Н13М2(М3)Т	Любая	Комн.	[4, 40, 102, 150]
	В 80—98	110—120	[257, 258]
03Х21Н21М4ГБ	85	100	[271, 272]
08Х22Н6Т	Любая	50—70	[1, 112]
	В 80—98	80	[257, 258]
08Х21Н6М2Т	25	Кип.	[267]
	В 80—98	100—110	[257, 258]
03Х24Н6АМЗ	80	140	[1, 272]
10Х14Г14Н4Т	10	80	[2]
Тантал	Любая	Кип.	[1, 3, 40, 45]
Титан BT1-0	Любая	80	[1, 46, 139, 258]
	10	150	[267]
Цирконий	Любая	150	[2, 3, 83, 267]
Чугун ЧС15, ЧС17	50	70	[1, 4, 61, 88]
	В 80—100	100	[1, 4, 46, 194]

Металлы и сплавы в муравьиной кислоте обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны при обычной температуре в любых растворах муравьиной кислоты нестойки [1, 3, 61, 257].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в растворах муравьиной кислоты концентрацией менее 50% стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) при температуре до 70 °С [1, 61, 88], при 100 °С — удовлетворительно стойки (скорость коррозии <1 мм/год) [1, 139, 260]. В концентрированной (80—100%) кислоте кремнистые чугуны стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 100 °С [1, 4] (по другим данным [3, 88] — до температуры кипения).

Хромистые чугуны ЧХ28, ЧХ32 при обычной температуре в любых растворах муравьиной кислоты стойки (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год). При температуре кипения в разбавленных (10%) и концентрированных (98—100%) растворах такие чугуны удовлетворительно стойки (скорость коррозии <1 мм/год), в кислоте концентрацией 50% — нестойки [4, 61, 139].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в разбавленных (10%) растворах муравьиной кислоты при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,5 мм/год), при 50 °С — нестойки [3]. Никелевые чугуны типа нирезист в растворах муравьиной кислоты концентрацией до 85% при температуре до 100 °С обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии менее 1 мм/год) [206, 257].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13 в любых растворах муравьиной кислоты при обычной температуре нестойки [1, 150, 258], стали типа Х17—Х28 — удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) [4, 61, 258] (по другим данным [1, 40], стали нестойки). При увеличении температуры до 100 °С все хромистые стали нестойки [1, 4, 257].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т в любых растворах муравьиной кислоты при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [4, 88, 150], при температуре ниже 70 °С — удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) [1, 88, 258], при температуре кипения — нестойки [4, 15, 46]. Стали типа Х17Н13М2Т в любых растворах муравьиной кислоты при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [4, 15, 102], при температуре кипения — удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) [40, 88, 269]. По данным работы [270], в 90%-ной кислоте при 100 °С стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т корродируют со скоростью менее 0,03 мм/год.

В разбавленных (10—20%) растворах кислоты стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т могут подвергаться питтинговой коррозии, а в растворах концентрацией 40—60% стали типа Х18Н10Т — межкристаллитной коррозии [3].

Аустенитная сталь 03Х21Н21М4ГБ в разбавленной (10%) муравьиной кислоте стойка до температуры кипения (скорость коррозии <0,05 мм/год) [271], при концентрации менее 85% — до 100 °С (скорость коррозии 0,1—0,2 мм/год), при 130—160 °С — нестойка [272].

Сталь 02Х21Н25М5ДБ в любых растворах муравьиной кислоты стойка (скорость коррозии 0,1—0,2 мм/год) до 140—150 °С (рис. 40.8). В растворах концентрацией более 86% при температуре выше 110 °С сталь может подвергаться питтинговой коррозии [71, 271, 273].

Двухфазная сталь 08Х22Н6Т в любых растворах муравьиной кислоты стойка при температуре до 50—70 °С (скорость коррозии <0,1—0,2 мм/год) [1, 112, 258], при концентрации менее 20% — удовлетворительно стойка до 100 °С (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [15, 112, 255], при концентрации 25—85% — нестойка [258]. При температуре кипения сталь 08Х22Н6Т нестойка в растворах концентрацией 10—50% [2, 112]. Сталь 03Х23Н6 по коррозионной стойкости превосходит стали типа 03Х18Н11 и 03Х17Н14М2 (рис. 40.9).

Двухфазная сталь 08Х21Н6М2Т в любых растворах муравьиной кислоты удовлетворительно стойка до температуры кипения (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [2, 15, 257]. Сталь 03Х24Н6АМ3 сохраняет стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год) в растворах концентрацией до 80% при температуре ниже 140 °С (в 80%-ной кислоте при 160 °С скорость коррозии <0,5 мм/год) [1, 271].

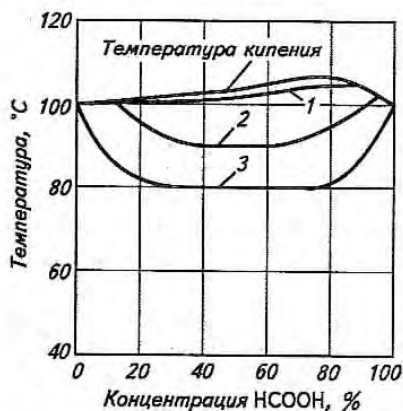


Рис. 40.8. Линии постоянной скорости коррозии (0,1 мм/год) в растворах муравьиной кислоты:

1 — сплав Sanicro 28 (типа ХН30МДБ); 2 — сталь AISI 904L (типа 02Х21Н25М5ДБ); 3 — сталь AISI 316L (типа 08Х17Н13М2Т) [данные Sandvik Steel]

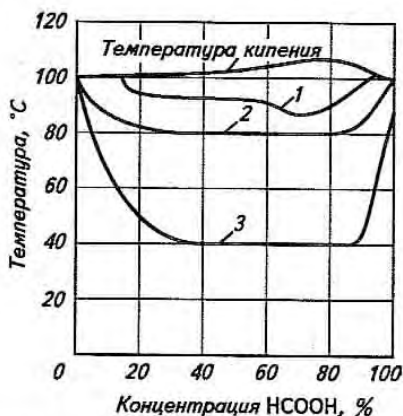


Рис. 40.9. Линии постоянной скорости коррозии (0,1 мм/год) в растворах муравьиной кислоты сталей:

1 — SAF 2304 (типа 03Х23Н6); 2 — AISI 316L (типа 03Х17Н14М2); 3 — AISI 304L (типа 03Х18Н11) [данные Sandvik Steel]

Сталь 08Х18Г18Н2Т в растворах муравьиной кислоты концентрацией 10—85% стойка (скорость коррозии <0,1 мм/год) при обычной температуре, в 10%-ной кислоте сталь сохраняет стойкость до 80 °С [2, 5] (при температуре кипения сталь нестойка [4, 139]). Сталь 10Х14Г14Н4Т в разбавленных (10%) растворах муравьиной кислоты стойка до 80 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год), в 50%-ной кислоте при обычной температуре — нестойка [2]. Хромомарганцевые стали 10Х13Г18Д, 10Х14АГ15 в очень разбавленной (1%) кислоте при температуре до 50 °С обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,2—1 мм/год), в 5%-ной кислоте — нестойки [15, 261].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в муравьиной кислоте концентрацией менее 85% стойки при температуре до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год), при 140—160 °С — удовлетворительно стойки (скорость коррозии до 0,6—1,2 мм/год) [1, 206, 258, 272]. В концентрированной (90—100%) кислоте при температуре 75—100 °С сплавы корродируют со скоростью до 0,5—1,3 мм/год [3, 46]. При температуре кипения в любых растворах муравьиной кислоты скорость коррозии сплавов 0,1—1 мм/год [1, 20, 150].

Сплав ХН30МДБ в растворах муравьиной кислоты концентрацией менее 85% сохраняет стойкость до 130 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [30, 272] (см. рис. 40.8).

Сплав ХН40МДБ в любых растворах муравьиной кислоты стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [10, 30] (по другим данным [274, 275] — до 140—150 °С). В растворах концентрацией более 86% при температуре выше 120 °С отмечалась питтинговая коррозия сплава [275].

Никель и сплавы никеля. Никель при обычной температуре в муравьиной кислоте концентрацией до 90% стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) [10, 260] (по данным работы [1], в 20—50%-ной кислоте скорость коррозии до 1 мм/год), при 50 °С — в любых растворах кислоты корродирует со скоростью 0,1—1 мм/год, при 100 °С — со скоростью 0,5—3 мм/год [1, 3, 40, 270].

Монель-металл в любых растворах муравьиной кислоты при обычной температуре корродирует со скоростью менее 0,5 мм/год, при температуре ниже 100 °С — со скоростью до 0,5—1 мм/год [1, 40, 260, 270]. В деаэрированных растворах при температуре 75—100 °С монель-металл нестойк [3].

Никельмолибденовые сплавы ХН63МБ, ХН65МВУ в любых растворах муравьиной кислоты удовлетворительно стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1—0,5 мм/год) [1, 3, 10, 40]. Сплав ХН63МБ в растворах концентрацией менее 85% стоек до 130—160 °С (скорость коррозии <0,3 мм/год) [272].

Сплав Н70МФВ в муравьиной кислоте концентрацией до 65% при температуре ниже 65 °С корродирует со скоростью 0,1—0,5 мм/год [10, 40] (по данным работы [270], со скоростью 0,6—1,2 мм/год), при 100 °С — со скоростью до 0,5—1,3 мм/год [3], в концентрированной (>80%) кислоте при 100 °С — со скоростью 0,1—0,3 мм/год [3, 44]. При температуре кипения сплав стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) в любых растворах муравьиной кислоты [1, 10, 17, 40].

Сплав ХН78Т при температуре ниже 100 °С в растворах кислоты концентрацией до 50% корродирует со скоростью менее 0,5 мм/год, в концентрированной (75—100%) кислоте — со скоростью 0,6—0,8 мм/год, при 120 °С сплав нестойк [274].

Нихром (15—22% Сг, 6—8% Fe) в растворах муравьиной кислоты концентрацией 25—80% стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [46, 139], в концентрированной (80—90%) кислоте при температуре ниже 100 °С сплав корродирует со скоростью менее 0,5 мм/год [4, 5, 40]. В деаэрированных растворах концентрацией 10—90% при температуре ниже 50 °С скорость коррозии возрастает до 0,5—1,3 мм/год [3].

Медь и медные сплавы. Медь в растворах муравьиной кислоты концентрацией до 85% при температуре кипения обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [1]. При температуре ниже 100 °С

в азрированных растворах медь корродирует со скоростью до 1—1,2 мм/год, в деазрированных растворах — со скоростью 0,1—0,5 мм/год [3, 40, 44, 270].

Бронза алюминиевая в любых растворах муравьиной кислоты при обычной температуре стойка (скорость коррозии 0,1—0,3 мм/год) [1, 4, 46]. При температуре 100 °С в разбавленных (10%) растворах бронза корродирует со скоростью менее 0,2 мм/год, при концентрации кислоты 20—50% — со скоростью до 0,5—1,3 мм/год, в концентрированной (90—100%) кислоте — со скоростью менее 0,4 мм/год [1, 3, 46, 270]. В кипящих растворах кислоты скорость коррозии бронзы менее 0,3 мм/год [40]. Оловянистая бронза в растворах муравьиной кислоты нестойка при обычной температуре [1, 46, 139].

Латунь в растворах муравьиной кислоты концентрацией менее 50% при обычной температуре корродирует со скоростью 0,1 мм/год, при температуре 80 °С — со скоростью до 0,7—1 мм/год. В концентрированной (90—100%) кислоте при температуре ниже 50 °С латунь разрушается со скоростью 0,1—1 мм/год [1, 46].

Мельхиор в очень разбавленной (2%) и концентрированной (90%) кислоте при температуре 100 °С корродирует со скоростью 0,1—0,4 мм/год, в 30%-ной кислоте при 60 °С — со скоростью 0,6 мм/год [4, 139].

Алюминий в любых растворах муравьиной кислоты при обычной температуре стоек (скорость коррозии 0,1—0,2 мм/год) [3, 4, 257], при температуре 50 °С — удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,5—1,3 мм/год) [3, 40, 258], при 100 °С — нестойк [1, 3, 258, 270].

Сплавы АМг3, АМг5 при обычной температуре в растворах кислоты концентрацией менее 50% стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год), в 85%-ной кислоте — нестойки [257, 258]. Сплавы типа АМц и силумины в разбавленной (10%) и концентрированной (100%) кислоте при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [46, 139, 194]. Все сплавы алюминия в любых растворах муравьиной кислоты при температуре выше 80 °С нестойки [40, 257, 258].

Титан и сплавы титана. Титан в любых растворах муравьиной кислоты при температуре ниже 80 °С корродирует со скоростью менее 0,1 мм/год [1, 139, 258], при 100 °С — менее 0,5 мм/год [3, 10, 83] (по другим данным [258, 267], до 0,7—1,4 мм/год). При температуре кипения в кислоте концентрацией до 85% титан нестойк [1, 139, 205], в концентрированной (90—100%) кислоте — стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1]. В разбавленной (<20—25%) кислоте титан стоек до 140—160 °С [257, 267, 272], при концентрации кислоты более 40% и температуре выше 130 °С — нестойк [81, 258, 267]. В любых деазрированных растворах кислоты при температуре до 100 °С титан нестойк [3, 10, 83].

Сплав 4200 в любых растворах муравьиной кислоты при температуре ниже 150—200 °С корродирует со скоростью менее 0,1 мм/год [81, 258, 267].

Сплав 4201 в 25%-ной кислоте при температуре кипения корродирует со скоростью 0,1 мм/год, при 200 °С — со скоростью 0,3 мм/год. В кислоте концентрацией 60—85% при 200 °С скорость коррозии сплава менее 0,1 мм/год [81].

Сплав ВТ3 в кислоте концентрацией до 60% при 200 °С корродирует со скоростью менее 0,1 мм/год, сплав ВТ15 — со скоростью менее 0,1—0,5 мм/год. Сплав ОТ4 в 30—50%-ной кислоте при температуре 95 °С стоек (скорость коррозии <0,01 мм/год), при температуре кипения — нестойк [139].

Цирконий в любых растворах муравьиной кислоты стоек до температуры 150 °С (скорость коррозии <0,01 мм/год) [3, 83, 139, 267]. Сплав циркония Э-110 в 80%-ной кислоте при температуре 160 °С корродирует со скоростью 0,003 мм/год [272].

Серебро при температуре ниже 100 °С в растворах муравьиной кислоты концентрацией до 50% корродирует со скоростью менее 0,05 мм/год, в растворах концентрацией 60—100% — со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3]. По данным справочника [40], серебро в любых растворах кислоты стойко до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год).

Другие металлы. Тантал, платина, золото в любых растворах муравьиной кислоты стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,05 мм/год) [1, 3, 45, 64].

Свинец, сурьмянистый свинец в любых растворах муравьиной кислоты неприменимы при обычной температуре [1—3, 260].

40.33. Олеиновая кислота — $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$

Олеиновая (*цис*-9-октадеценовая) одноосновная непредельная кислота при обычных условиях представляет собой маслообразную жидкость с температурой кристаллизации 16,3 °С и температурой кипения 360 °С (334,7 °С при 400 мм рт. ст.; 286 °С при 100 мм рт. ст. и 223 °С при 10 мм рт. ст.). Кислота нерастворима в воде, растворима в этиловом спирте, эфире.

Олеиновая кислота обладает всеми химическими свойствами ненасыщенных жирных кислот с изолированной двойной связью.

Металлы и сплавы в олеиновой кислоте обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали в олеиновой кислоте стойки до 60 °С (скорость коррозии <0,1—0,2 мм/год) [4, 5, 181, 194], при 100 °С — удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,5—1 мм/год) [2, 3], выше 150—200 °С — нестойки [1, 3—5, 61].

Серые чугуны в олеиновой кислоте при температуре до 100 °С удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,5—1,3 мм/год) [3], выше 125 °С — нестойки [3, 40].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в олеиновой кислоте сохраняют стойкость до 300—350 °С (скорость коррозии 0,05—0,1 мм/год) [3, 40, 45, 61].

Хромистые чугуны ЧХ28—ЧХ32 в олеиновой кислоте стойки до 150 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [4, 40, 46].

Никелевые чугуны типа нирезист в олеиновой кислоте при обычной температуре корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [45], при 170—220 °С — со скоростью менее 0,5 мм/год [3, 40].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х28 в олеиновой кислоте при температуре ниже 100 °С корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [2, 40, 150, 181], при 150 °С — со скоростью до 1 мм/год, при 200 °С — нестойки [1, 2, 112].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т в олеиновой кислоте стойки до 150 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год), при 200 °С — удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—1 мм/год), при 300 °С — нестойки [1, 2, 150]. Стали

типа Х17Н13М2Т в oleиновой кислоте стойки до 150—200 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 2, 88] и удовлетворительно стойки до 300 °С (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [2, 3, 40, 61].

Стали 20Х23Н13, 20Х23Н18 в oleиновой кислоте при температуре до 100 °С корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [45].

Двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т в oleиновой кислоте стойки до 200 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 61, 112].

Сталь 08Х18Г18Н2Т при температуре ниже 150 °С разрушается со скоростью менее 0,1 мм/год, при 180 °С — со скоростью 0,1—1 мм/год [1, 2, 102]. Сталь 10Х14Г14Н4Т в oleиновой кислоте стойка до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [2].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в oleиновой кислоте при температуре ниже 285—300 °С корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [1, 3, 150] (по другим данным [2, 40] — менее 0,5—1 мм/год).

Никель и сплавы никеля. Никель в oleиновой кислоте стоек до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) и удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) до 250—300 °С [1, 3, 61] (по данным работы [20] — до 380 °С).

Монель-металл в oleиновой кислоте стоек до 170 °С (скорость коррозии 0,1—0,2 мм/год) [1, 5, 46] и удовлетворительно стоек до 300—400 °С (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) [1, 3, 40, 61].

Никельмолибденовые сплавы типа ХН65МВ, Н70МФВ в oleиновой кислоте при температуре до 75 °С корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год [3], при температуре 100—300 °С — со скоростью 0,1—0,5 мм/год [1, 3, 40].

Нихром (15—22% Cr, 6—8% Fe) в oleиновой кислоте стоек до 300 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [3, 5, 45] и удовлетворительно стоек до 400 °С (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) [40].

Медь и медные сплавы. Медь в oleиновой кислоте остается стойкой до 60 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [4], при 130—300 °С — удовлетворительно стойка (скорость коррозии 0,1—1,2 мм/год) [1, 3, 40, 61].

Бронзы, латуни в oleиновой кислоте при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год), при температуре выше 100 °С скорость коррозии возрастает до 0,1—1 мм/год [1]. Латунь в сухой деаэрированной кислоте сохраняет стойкость до 300 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Мельхиор в oleиновой кислоте остается стойким до 300 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Алюминий во влажной oleиновой кислоте стоек до 270—300 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40, 45, 61]. По данным работы [3], при температуре 50—125 °С алюминий корродирует со скоростью 0,5—1,3 мм/год, при температуре выше 150 °С — нестойк.

Сплавы алюминия типа АМц, АМг, силумины в oleиновой кислоте стойки до 300 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [4, 45].

Другие металлы. Титан при обычной температуре в oleиновой кислоте стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) [1, 3].

Серебро в oleиновой кислоте стойко до 300 °С [1—3, 45], тантал, платина, золото — до 350 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3, 40].

40.34. Пальмитиновая кислота — $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$

Пальмитиновая (гексадекановая) одноосновная карбоновая кислота при нормальных условиях представляет собой кристаллическое вещество с температурой плавления 62—64 °С и температурой кипения 353,8 °С (326 °С при 400 мм рт. ст.; 271,5 °С при 100 мм рт. ст.; 205,8 °С при 10 мм рт. ст.). Кислота практически нерастворима в воде; при комнатной температуре умеренно растворима в этиловом спирте (8,4%), эфире и хорошо растворима при нагреве.

Пальмитиновая кислота обладает общими свойствами, характерными для высших жирных кислот.

Металлы и сплавы в пальмитиновой кислоте обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в пальмитиновой кислоте при обычной температуре стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год), при температуре 200 °С — нестойки [3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в пальмитиновой кислоте стойки до 300 °С (скорость коррозии <0,1—0,5 мм/год) [3, 40, 45].

Хромистые чугуны ЧХ28—ЧХ32 в пальмитиновой кислоте сохраняют стойкость до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40].

Никелевые чугуны типа нирезист в пальмитиновой кислоте при обычной температуре корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [45].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13 в пальмитиновой кислоте при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [45], стали типа Х17—Х28 с такой же скоростью корродируют при температуре до 100 °С [40, 45]. При температуре 185 °С стали типа Х17 нестойки [2].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т в пальмитиновой кислоте стойки до 100—200 °С, стали типа Х17Н13М2Т — до 200—300 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [3, 40, 45].

Хромоникелевые стали 20Х23Н13, 20Х23Н18 в пальмитиновой кислоте при температуре до 100 °С корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [45].

Двухфазная сталь 08Х21Н6М2Т в пальмитиновой кислоте стойка до 185 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [2].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в пальмитиновой кислоте при температуре ниже 285 °С корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [3, 45]. По данным справочника [40], при температуре до 300 °С скорость коррозии сплавов 0,1—1 мм/год.

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл и сплав Н70МФВ в пальмитиновой кислоте стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [45] и удовлетворительно стойки до 380 °С (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) [40]. Никельмолибденовый сплав типа ХН65МВ сохраняет стойкость до 300 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [45].

Нихром (15—22% Cr, 6—8% Fe) в пальмитиновой кислоте стоек до 300 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [45] и удовлетворительно стоек до 400 °С (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) [40].

Медь и медные сплавы. Медь в пальмитиновой кислоте при обычной температуре корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Бронзы применимы в пальмитиновой кислоте [4, 46].

Алюминий во влажной пальмитиновой кислоте стоек до температуры кипения (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год) [4, 45, 46], в безводной кислоте — неприемлем [46, 194]. По данным работы [3], при обычной температуре алюминий корродирует со скоростью $0,05$ — $0,5$ мм/год, при 100°C — нестойк.

Сплавы алюминия типа АМц, силумины в пальмитиновой кислоте стойки до 300°C (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год) [45].

Другие металлы. Серебро, платина, золото в пальмитиновой кислоте стойки до 300°C (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год) [40, 45].

40.35. Пикриновая кислота (тринитрофенол) — $\text{C}_6\text{H}_2\text{OH}(\text{NO}_2)_3$

Пикриновая кислота (2,4,6-тринитро-1-оксибензол) при обычных условиях — желтые кристаллы с температурой плавления $123,8^\circ\text{C}$ и температурой кипения 195°C (при 2 мм рт. ст.). При температуре около 200°C тринитрофенол разлагается и при 300 — 310°C самовоспламеняется (взрывается).

В воде пикриновая кислота малорастворима ($1,2\%$ при 20°C ; $3,7\%$ при 77°C ; $6,7\%$ при 85°C), хорошо растворима в этиловом спирте ($4,9\%$ при 20°C ; $39,8\%$ при 85°C), труднорастворима в эфире ($1,4\%$ при 20°C).

Пикриновая кислота является довольно сильной кислотой ($K = 0,42$ при 25°C), приближаясь к минеральным кислотам. Кислотные свойства тринитрофенола обусловлены наличием в молекуле не только оксигруппы, но и трех нитрогрупп. Это усиливает смещение электронов кислорода в группе OH в сторону бензольного кольца и ослабляет связь кислорода с водородом. В результате в водных растворах легко образуются катионы водорода, и пикриновая кислота проявляет высокую агрессивность по отношению ко многим металлам и сплавам.

Металлы и сплавы в пикриновой кислоте обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в насыщенном растворе пикриновой кислоты при обычной температуре нестойки [1, 3, 40, 43]. В твердой кислоте при температуре до 100°C стали и чугуны корродируют со скоростью $0,5$ — $1,3$ мм/год, в расплаве при 125°C — нестойки [1, 3, 40, 62].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в любых растворах пикриновой кислоты при температуре ниже 100°C корродируют со скоростью менее $0,1$ мм/год [1, 40, 61, 88] (по данным работы [3], менее $0,5$ мм/год). В твердой кислоте при обычной температуре кремнистые чугуны стойки (скорость коррозии $0,05$ — $0,5$ мм/год) [3].

Никелевые чугуны (14 — 32% Ni) в тринитрофеноле при обычной температуре нестойки [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X13—X28 в любых растворах пикриновой кислоты стойки до температуры кипения (скорость коррозии $< 0,1$ мм/год) [112, 150] (по другим данным [1, 2], стали типа X13—X17 в таких условиях нестойки).

Хромоникелевые стали типа X18N10T, X17N13M2T в любых растворах пикриновой кислоты при температуре кипения корродируют со скоростью менее $0,1$ мм/год [1, 40, 150] (по данным работы [3] — менее $0,5$ мм/год), в твердой кислоте и в расплавах при температуре до 150°C — удовлетворительно стойки (скорость коррозии $0,05$ — $0,5$ мм/год) [3].

Двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т в любых растворах пикриновой кислоты стойки до температуры кипения (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1, 112].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в любых растворах пикриновой кислоты до температуры кипения корродируют со скоростью менее $0,1$ мм/год [1, 2, 40] (по данным работы [3] — менее $0,5$ мм/год), в твердой кислоте и в расплавах до 150°C — со скоростью $0,05$ — $0,5$ мм/год [3].

Никель и сплавы никеля. Никель при обычной температуре в насыщенных растворах пикриновой кислоты нестойк [1—4], в твердой кислоте — удовлетворительно стоек (скорость коррозии $<0,5$ мм/год), в расплаве при 125°C — нестойк [3, 40].

Мопель-металл при обычной температуре в насыщенных растворах пикриновой кислоты обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии $0,1$ — 1 мм/год), в твердой кислоте и в расплаве при 125°C — нестойк [1, 3, 40, 62].

Никельмолибденовые сплавы ХН65МВУ, Н70МФВ в любых растворах пикриновой кислоты при температуре до 100°C корродируют со скоростью $0,1$ — 1 мм/год, в твердой кислоте и в расплавах при температуре ниже 150°C — со скоростью $0,1$ — $0,5$ мм/год [1, 3].

Медь и медные сплавы. Медь, бронзы, латуни, мельхиор в растворах пикриновой кислоты при обычной температуре и в ее расплавах неприменимы [1, 3, 44, 62].

Алюминий и сплавы АМг2, силумины в любых растворах пикриновой кислоты при температуре до 50°C стойки (скорость коррозии $<0,2$ мм/год) [40, 43, 61]. По другим данным [1, 3, 4, 44], эти материалы в растворах пикриновой кислоты неприменимы. В расплаве кислоты при 125°C алюминий обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии $0,1$ — $0,5$ мм/год) [1, 3, 40].

Свинец при обычной температуре в насыщенном растворе пикриновой кислоты нестойк [1, 3, 44]. В твердой кислоте при обычной температуре скорость коррозии свинца $0,05$ — $0,5$ мм/год, при 50°C — $0,5$ — $1,3$ мм/год [3]. В расплавах тринитрофенола свинец нестойк [1, 3, 40, 62].

Другие металлы. Серебро в любых растворах пикриновой кислоты при температуре до 100°C и в твердой кислоте при обычной температуре стойко (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [3, 4, 40].

Платина, золото, тантал в растворах и расплавах кислоты стойки до 125°C (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [3, 40].

Олово в безводном деаэрированном расплаве пикриновой кислоты стойко (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [4, 40, 62].

40.36. Пирогалловая кислота (пирогаллол) — $\text{C}_6\text{H}_3(\text{OH})_3$

Пирогалловая кислота (1,2,3-триоксibenзол) — трехатомный фенол. При нормальных условиях пирогаллол представляет собой кристаллическое вещество в виде пластинок или игл с температурой плавления 132°C и температурой кипения 309°C ($281,5^\circ\text{C}$ при 400 мм рт. ст.; 232°C при 100 мм рт. ст.; $167,7^\circ\text{C}$ при 10 мм рт. ст.). Пирогаллол легко возгоняется.

Пирогалловая кислота довольно хорошо растворима в воде (28,6% при 13 °С; 30,6% при 20 °С; 38,5% при 25 °С), в этиловом спирте (50% при 25 °С), эфире (45,4% при 25 °С). Пирогалловая кислота — сильный восстановитель, легко окисляется кислородом воздуха (особенно в щелочной среде). При электрохимическом окислении пирогаллол превращается в пурпурогаллин.

Металлы и сплавы в пирогалловой кислоте обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали в любых растворах пирогалловой кислоты обладают удовлетворительной стойкостью до температуры кипения (скорость коррозии 0,5—1 мм/год) [2]. В твердой кислоте при обычной температуре углеродистые стали и серые чугуны корродируют со скоростью 0,5—1,3 мм/год [3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в любых растворах пирогалловой кислоты при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) [1, 3], в твердой кислоте при температуре ниже 100 °С — корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в 10%-ной кислоте при обычной температуре стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х28 в любых растворах пирогалловой кислоты стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 112, 150]. В твердой кислоте при обычной температуре стали типа Х13 удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—1 мм/год), стали типа Х17 — стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [112].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в любых растворах пирогалловой кислоты стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 112, 150], в твердой кислоте — стойки при обычной температуре (скорость коррозии <0,1 мм/год) [112] (по данным работы [3] — менее 0,5 мм/год). Стали типа Х17Н13М2Т в твердой кислоте при температуре до 50 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т, 08Х18Г18Н2Т в любых растворах пирогалловой кислоты стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [2, 112].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в любых растворах пирогалловой кислоты стойки до температуры кипения [40]. По данным работы [3], такие сплавы в растворах концентрацией до 60% при температуре ниже 100 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл, нихром (15—22% Cr, 6—8% Fe) при обычной температуре в твердой пирогалловой кислоте разрушаются со скоростью 0,05—0,5 мм/год. Никельмолибденовые сплавы типа ХН65МВ, Н70МФВ с такой же скоростью корродируют в любых растворах пирогалловой кислоты при температуре до 100 °С [3].

Медь и медные сплавы. Медь при обычной температуре в твердой пирогалловой кислоте корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год, латуни — со скоростью 0,5—1,3 мм/год [3].

Алюминий в пирогаллоле стоек при температуре до 100 °С [1, 2], в твердой пирогалловой кислоте при обычной температуре — корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Другие металлы. Титан сохраняет стойкость (скорость коррозии <0,05 мм/год) в растворах пирогалловой кислоты концентрацией до 30% при температуре ниже 100 °С [3].

Свинец при обычной температуре в твердой пирогалловой кислоте корродирует со скоростью менее 0,5 мм/год [3].

40.37. Пропионовая кислота — $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$

Пропионовая (этанкарбонвая, пропановая) кислота — предельная одноосновная кислота жирного ряда. При обычных условиях кислота представляет собой жидкость с температурой кристаллизации $-22,4$ °С и температурой кипения $141,4$ °С (122 °С при 400 мм рт. ст.; $85,8$ °С при 100 мм рт. ст.; $39,7$ °С при 10 мм рт. ст.). С водой пропионовая кислота смешивается во всех отношениях. Азеотропная смесь концентрацией 17,7% кипит при температуре $99,98$ °С (по другим данным, кислота не азеотропна). При температуре 400 °С кислота самовоспламеняется.

Водные растворы пропионовой кислоты обладают слабыми кислотными свойствами ($K = 1,34 \cdot 10^{-4}$ при 25 °С). Нержавеющие стали в растворах пропионовой кислоты склонны к питтинговой коррозии [206].

В табл. 40.7 приведены предельные условия применения металлов и сплавов в пропионовой кислоте.

Таблица 40.7. Предельные условия применения металлов и сплавов в растворах пропионовой кислоты

Металлы и сплавы	Концентрация, %	Температура, °С	Источник
Алюминий	В 95—98	100—115	[257, 258]
	Любая	50	[206, 262]
Золото	Любая	100	[3]
Мельхиор	Любая	75	[3]
Платина	Любая	100	[3]
Серебро	Любая	100	[3]
Сплав:			
АМг3	В 95—98	100—110	[257, 258]
06ХН28МДТ	Любая	160	[257, 258]
ХН63МБ, ХН65МВУ	В 50—90	150	[3]
Н70МФВ	Любая	150	[3]
Сталь:			
типа Х13	В 95—98	30	[257, 258]
типа Х17	В 95—98	90	[257, 258]
типа Х18Н10Т	Любая	80	[148, 206, 262]
	В 95—98	100—110	[257, 258]
типа Х17Н13М2(М3)Т	Любая	80	[148, 206, 262]
	В 95—98	130—150	[257, 258]

Металлы и сплавы	Концентрация, %	Температура, °С	Источник
08Х22Н6Т	25	140	[206, 262]
	В 95—98	90—110	[257, 258]
08Х21Н6М2Т	Любая	140	[148, 206, 262]
Тантал	Любая	100	[3]
Титан ВТ1-0	Любая	200—250	[1, 206, 257]
Цирконий	Любая	100	[3]
Чугун ЧС15, ЧС17	Любая	100	[3, 45]

Металлы и сплавы в пропионовой кислоте обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны практически в любых растворах и в безводной пропионовой кислоте при обычной температуре нестойки (скорость коррозии $>1-1,3$ мм/год) [1—3, 148]. Даже в очень разбавленных ($<1\%$) растворах скорость коррозии углеродистых сталей $0,5-1,2$ мм/год [262, 263].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в любых растворах пропионовой кислоты стойки (скорость коррозии $<0,5$ мм/год) до 100°C [3] (по данным справочника [45] — до температуры кипения).

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в 30%-ной кислоте при обычной температуре стойки (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13 в любых растворах пропионовой кислоты при обычной температуре обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии до $0,3-0,4$ мм/год), при 50°C — корродируют со скоростью менее $1-2$ мм/год, при 100°C — нестойки [1, 206, 262]. Стали типа Х17 в любых растворах пропионовой кислоты при температуре до 100°C корродируют со скоростью менее $0,3-0,5$ мм/год [1, 206, 262], при 140°C — со скоростью менее $0,5-2,5$ мм/год [276]. Стали типа Х25, Х28 стойки до температуры кипения (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) в растворах концентрацией до 60% [2] (по данным справочника [1] — в любых растворах).

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т в любых растворах пропионовой кислоты стойки до 100°C (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [206, 262] (по данным работы [3], в растворах концентрацией 50—99% при 100°C нестойки). При температуре $130-160^\circ\text{C}$ в растворах концентрацией менее 25% стали корродируют со скоростью до $0,1-0,4$ мм/год, при концентрации 50—99% — со скоростью $0,7-1,9$ мм/год [206, 262, 276]. При температуре кипения в любых растворах скорость коррозии сталей менее $0,1-0,5$ мм/год [2, 15, 45]. В безводной кислоте стали стойки (скорость коррозии $<0,2$ мм/год) до 80°C (при 120°C скорость коррозии >5 мм/год) [148].

Стали типа Х17Н13М2Т в любых растворах пропионовой кислоты до 140°C корродируют со скоростью менее $0,1$ мм/год, при 160°C — со скоростью $0,2-0,5$ мм/год [206, 262], при температуре кипения — со скоростью менее $0,1$ мм/год [1, 15, 45]. В безводной кислоте при температуре $75-80^\circ\text{C}$ стали обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии $<0,1-0,5$ мм/год), при $100-150^\circ\text{C}$ — нестойки [1, 3, 148].

Хромоникелевые стали 20Х23Н13, 20Х23Н18 в растворах пропионовой кислоты концентрацией до 50% стойки до температуры кипения (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [45].

Двухфазная сталь 08Х22Н6Т в растворах пропионовой кислоты концентрацией до 25% стойка при температуре ниже 140°C (скорость коррозии $<0,1$ мм/год), при 160°C — удовлетворительно стойка (скорость коррозии $0,2$ — $0,5$ мм/год). В растворах концентрацией 50—99% сталь стойка до температуры 100°C [206, 262] (при 130 — 160°C скорость коррозии $0,8$ — $2,5$ мм/год [1, 206, 276]). При температуре кипения в любых растворах кислоты сталь корродирует со скоростью менее $0,1$ — $0,2$ мм/год [15] (по данным работы [2], в 99%-ной кислоте скорость коррозии более 1 мм/год).

Сталь 08Х21Н6М2Т в любых растворах пропионовой кислоты стойка при температуре ниже 140°C (скорость коррозии $<0,1$ — $0,2$ мм/год) и удовлетворительно стойка при 160°C (скорость коррозии $0,2$ — $0,5$ мм/год). При температуре кипения сталь корродирует со скоростью менее $0,1$ мм/год [15].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в любых растворах пропионовой кислоты стойки до 160°C (скорость коррозии $<0,1$ — $0,2$ мм/год) [206, 262] (по данным работы [3] — до 100°C). При температуре кипения в любых растворах кислоты сплавы обладают высокой стойкостью (скорость коррозии $<0,01$ мм/год) [1, 2, 45]. В безводной кислоте при температуре ниже 150°C сплавы корродируют со скоростью менее $0,5$ мм/год [3] (по данным работы [148], при 120°C скорость коррозии $1,9$ мм/год).

Никель и сплавы никеля. Никель в любых растворах пропионовой кислоты при температуре до 80°C разрушается со скоростью $0,1$ — $0,6$ мм/год, при 120°C — со скоростью до $1,3$ мм/год [1, 148]. В любых аэрированных растворах кислоты при обычной температуре никель нестойк [3].

Монель-металл при обычной температуре в любых растворах пропионовой кислоты корродирует со скоростью $0,1$ — $0,8$ мм/год [1, 45], при температуре до 150°C — со скоростью $0,5$ — $1,3$ мм/год [3].

Никельмолибденовый сплав Н70МФВ в любых растворах пропионовой кислоты стоек до 100°C (скорость коррозии $<0,05$ мм/год), в безводной кислоте — до 150°C . Сплав ХН65МВ в растворах концентрацией 50—90% стоек до 150°C [3].

Сплав ХН78Т в безводной пропионовой кислоте при обычной температуре корродирует со скоростью менее $0,3$ мм/год, при температуре ниже 120°C — со скоростью до $0,7$ — $1,2$ мм/год [148].

Медь и медные сплавы. Медь в любых деаэрированных растворах пропионовой кислоты стойка до 100°C (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [3, 148], при температуре кипения — нестойка [1, 206]. В безводной кислоте медь стойка до 150°C (скорость коррозии $<0,05$ мм/год), при температуре 250 — 300°C — удовлетворительно стойка (скорость коррозии $0,5$ — $1,3$ мм/год) [3].

Бронзы алюминиевые в любых деаэрированных растворах пропионовой кислоты стойки до 100°C (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [148] (по другим данным [1], до 1 мм/год). Бронзы оловянистые в любых растворах пропионовой кислоты при обычной температуре корродируют со скоростью менее $0,3$ мм/год, при 50°C — со скоростью до $0,3$ — $2,3$ мм/год, при 100°C — нестойки [1] (в деаэрированных растворах скорость коррозии $<0,1$ мм/год [148]).

Латуни в любых деаэрированных растворах пропионовой кислоты удовлетворительно стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,5 мм/год), в безводной кислоте — до 150 °С [3] (по другим данным [1], при 45 °С скорость коррозии 1,4 мм/год).

Мельхиор в любых растворах кислоты при обычной температуре корродирует со скоростью менее 0,5 мм/год, при 100 °С — нестойк [3].

Алюминий в любых растворах пропионовой кислоты при температуре до 50 °С обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии <0,2—0,5 мм/год), при 100 °С — нестойк [1, 3, 206, 262]. В безводной кислоте при температуре до 80 °С алюминий корродирует со скоростью менее 0,2 мм/год [1, 148, 276], при 120 °С — нестойк [148].

Сплавы алюминия типа АМц, АМг, силумины в любых растворах кислоты при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [10, 45]. Сплав АМг3 при температуре ниже 50 °С корродирует со скоростью 0,1—0,8 мм/год, при 70 °С — нестойк [206, 262].

Титан в любых растворах пропионовой кислоты стойк до 200 °С, в безводной кислоте — до 120 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [148]. В парах пропионовой кислоты (190 °С) титан нестойк (скорость коррозии >1 мм/год) [10, 39, 148].

Другие металлы. Серебро, платина, золото, тантал, цирконий в любых растворах пропионовой кислоты стойки до 100 °С, в безводной кислоте — до 150 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Свинец в любых растворах пропионовой кислоты при обычной температуре нестойк [1—3, 46].

40.38. Салициловая кислота — $\text{HOС}_6\text{H}_4\text{COOH}$

Салициловая (фенилкарбоновая, 2-оксибензойная) кислота при обычных условиях — твердое кристаллическое вещество с температурой плавления 159 °С и температурой кипения 256 °С (230 °С при 400 мм рт. ст.; 193,4 °С при 100 мм рт. ст.; 146 °С при 10 мм рт. ст.). При медленном нагреве кислота возгоняется (температура возгонки 76 °С), а при быстром нагреве происходит отщепление CO_2 , и она превращается в фенол.

Салициловая кислота малорастворима в холодной воде (0,08% при 0 °С; 0,18% при 20 °С; 8,6% при 60 °С), хорошо растворима в этиловом спирте (33,3% при 20 °С) и эфире (32,3% при 20 °С). Константа диссоциации кислоты $K = 1,06 \cdot 10^{-3}$ при 25 °С.

В химическом отношении для салициловой кислоты характерно сочетание свойств фенолов и ароматических кислот. При этом кислотные свойства обусловлены наличием в молекуле как карбоксила, так и фенольного гидроксила. Растворы салициловой кислоты агрессивны и могут вызывать питтинговую коррозию металлических материалов [3].

Металлы и сплавы в салициловой кислоте обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в разбавленных (до 10%) растворах и в 100%-ной салициловой кислоте при температуре ниже 100 °С обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,5—1,3 мм/год) [3, 44]. Согласно справочным данным [1, 4], углеродистые стали неприменимы в растворах салициловой кислоты.

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в разбавленных (до 10%) растворах и в 100%-ной кислоте стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3, 277].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в 100%-ной кислоте при обычной температуре корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х28 и хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в разбавленных (до 10%) растворах салициловой кислоты стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,05 мм/год) [1, 44, 150]. Согласно работе [3], стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в разбавленных (до 10%) растворах и в 100%-ной кислоте при температуре ниже 100 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т в растворах кислоты концентрацией до 5% стойки при температуре ниже 85 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [112].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в любых растворах и в 100%-ной салициловой кислоте при температуре ниже 100 °С остаются стойкими (скорость коррозии <0,05 мм/год) [1—3].

Никель и сплавы никеля. Никель в растворе салициловой кислоты концентрацией 10% и в 100%-ной кислоте при температуре до 100 °С стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Монель-металл при обычной температуре в растворах салициловой кислоты корродирует со скоростью менее 0,1 мм/год [1, 4, 46, 61] (по данным работы [3] — менее 0,5 мм/год). В 100%-ной кислоте при температуре ниже 150 °С скорость коррозии монель-металла менее 0,05 мм/год [3].

Никельмолибденовый сплав Н70МФВ при обычной температуре в растворах салициловой кислоты корродирует со скоростью менее 0,1 мм/год [1], сплавы Н70МФВ, ХН65МВ в 100%-ной кислоте — со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Нихром (15—22% Cr, 6—8% Fe) в 10%-ной салициловой кислоте удовлетворительно стоек до 100 °С (скорость коррозии до 0,5 мм/год) [3].

Медь и медные сплавы. Медь, бронза в растворах салициловой кислоты стойки [4, 44]. Медь в условиях деаэрации в 10%-ном растворе и в 100%-ной кислоте при температуре ниже 100 °С сохраняет высокую стойкость (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Латунь, мельхиор в 10%-ном растворе и в 100%-ной кислоте стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Алюминий в растворах салициловой кислоты стоек до 50—60 °С [1, 4, 44, 46] (в 10%-ной кислоте при 75 °С алюминий нестойк [3]). В 100%-ной салициловой кислоте алюминий сохраняет стойкость при температуре до 100 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Сплавы алюминия типа АМц, АМг, силумины в разбавленных (3%) растворах кислоты при обычной температуре обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии <0,2—0,3 мм/год) [4, 46, 194].

Свинец при обычной температуре в растворах салициловой кислоты удовлетворительно стоек (скорость коррозии <0,1—0,5 мм/год) [1, 277] (по данным работы [3], в 10%-ном растворе свинец нестойк). В 100%-ной кислоте свинец сохраняет стойкость до 100 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Другие металлы. Титан в очень разбавленном (<0,2%) растворе салициловой кислоты при 100 °С обладает высокой стойкостью (скорость коррозии <0,005 мм/год) [39].

Серебро в любых растворах салициловой кислоты стойко до 100 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Платина, золото, тантал в 100%-ной салициловой кислоте остаются стойкими до 100 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Олово применимо в растворах салициловой кислоты [4, 46, 194].

40.39. Стеариновая кислота — $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$

Стеариновая (октадекановая) кислота — одноосновная предельная карбоновая кислота жирного ряда. При обычных условиях кислота представляет собой кристаллическое вещество с температурой плавления 69,3 °С и температурой кипения 370 °С (343 °С при 400 мм рт. ст.; 291 °С при 100 мм рт. ст.; 225 °С при 10 мм рт. ст.).

В воде стеариновая кислота практически нерастворима (0,03% при 25 °С), больше растворима в этиловом спирте (2,2% при 20 °С) и эфире (20% при 20 °С).

В табл. 40.8 приведена предельная температура применения металлов и сплавов в стеариновой кислоте.

Таблица 40.8. Предельная температура применения металлов и сплавов в стеариновой кислоте

Металлы и сплавы	Температура, °С	Источник
Алюминий	220—230	[36, 257, 258]
Золото	340—370	[3, 40]
Мельхиор	350—380	[3]
Платина	340—370	[3, 40]
Серебро	300—350	[3, 4, 45]
Сплав:		
АМгЗ	220—230	[257, 258]
06ХН28МДТ	300	[257, 258]
ХН63МБ, ХН65МВУ	300	[3, 45]
Н70МФВ	150—200	[1, 3, 45]
Сталь:		
типа Х13	160	[1, 206, 257, 258]
типа Х17	200	[206, 258]
типа Х18Н10Т	250—300	[36, 206, 257]
типа Х17Н13М2(МЗ)Т	260—370	[1, 36, 257, 258]
08Х22Н6Т	230	[258]
08Х21Н6М2Т	280—300	[36, 258]
Тантал	340—370	[3, 40]
Титан ВТ1-0	340—370	[36, 257, 258]
Чугун ЧС15, ЧС17	300	[3, 40, 45]

Металлы и сплавы в стеариновой кислоте обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали в стеариновой кислоте стойки до 130 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [5, 46], удовлетворительно стойки — до 300 °С (скорость коррозии 0,5—1,3 мм/год) [3] (по данным работы [257], при 100 °С скорость коррозии более 1,3 мм/год).

Серые чугуны в стеариновой кислоте при температуре до 300 °С обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,5—1,3 мм/год) [3]. По данным справочника [40], при температуре выше 225 °С серые чугуны нестойки.

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в стеариновой кислоте стойки до 300 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [3, 40, 45].

Хромистые чугуны ЧХ28—ЧХ32 в стеариновой кислоте сохраняют стойкость до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в стеариновой кислоте удовлетворительно стойки при температуре ниже 300 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [3]. Чугуны типа нирезист при обычной температуре корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [45], при температуре 225 °С — со скоростью до 0,5 мм/год [40].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13 в стеариновой кислоте стойки до 160 °С (скорость коррозии до 0,1—0,3 мм/год), при 220—260 °С — нестойки [1, 206, 257, 258]. Стали типа Х17 в стеариновой кислоте стойки до 100 °С [2, 40, 45, 150], при 220—260 °С — корродируют со скоростью 0,1—0,6 мм/год, при 340—350 °С — со скоростью 0,3—2,2 мм/год [206, 258]. Стали типа Х25, Х28 при температуре ниже 100 °С корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [1, 2, 45], при температуре 300 °С — со скоростью 1—3 мм/год [1].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т в стеариновой кислоте стойки до 130—200 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [2, 3, 40, 112] и удовлетворительно стойки до 220—300 °С (скорость коррозии 0,4—1 мм/год) [3, 40, 150]. По другим данным [15, 206, 257], такие стали сохраняют стойкость до 260—350 °С (скорость коррозии <0,1—0,2 мм/год). Стали типа Х17Н13М2Т в стеариновой кислоте стойки до 260 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [3, 206, 257] (по данным справочников [1, 45, 150] — до 300—370 °С).

Нержавеющие стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в стеариновой кислоте могут подвергаться питтинговой коррозии и коррозионному растрескиванию [40].

Хромоникелевые стали 20Х23Н13, 20Х23Н18 в стеариновой кислоте сохраняют стойкость до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [45].

Двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т в стеариновой кислоте стойки при температуре ниже 160 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 15, 257], при температуре 340—350 °С сталь 08Х22Н6Т корродирует со скоростью 0,3—1,1 мм/год, сталь 08Х21Н6М2Т — со скоростью менее 0,2 мм/год [1, 206, 258].

Сталь 10Х14Г14Н4Т в стеариновой кислоте стойка до 130 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [112].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в стеариновой кислоте остаются стойкими при температуре ниже 300—350 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 3, 150, 206].

Никель и сплавы никеля. Никель в стеариновой кислоте стоек до 100—130 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1—3] (по данным справочника [5], до 225 °С), при 350—380 °С — удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) [3, 40].

Монель-металл при температуре ниже 100—170 °С в стеариновой кислоте корродирует со скоростью менее 0,1—0,3 мм/год [1, 3, 4, 45].

Никельмолибденовый сплав Н70МФВ в стеариновой кислоте при температуре ниже 100—150 °С корродирует со скоростью менее 0,1—0,5 мм/год [1, 3, 45], при температуре до 250 °С — со скоростью 0,5—1,3 мм/год, при 300 °С — нестойк [3]. По другим данным [40], сплав сохраняет удовлетворительную стойкость до 370 °С (скорость коррозии <0,1—1 мм/год). Сплав ХН65МВ в стеариновой кислоте обладает удовлетворительной стойкостью до 300—350 °С (скорость коррозии <0,1—0,5 мм/год) [3, 45].

Нихром (15—22% Cr, 6—8% Fe) в стеариновой кислоте при температуре ниже 300 °С корродирует со скоростью менее 0,1—0,5 мм/год, при температуре ниже 350—400 °С — со скоростью 0,1—1 мм/год [3, 40, 45].

Медь и медные сплавы. Медь в стеариновой кислоте стойка до 130 °С (скорость коррозии <0,3 мм/год) и удовлетворительно стойка — до 150—230 °С (скорость коррозии 0,5—1 мм/год) [2, 40, 46]. В деаэрированной кислоте медь стойка при обычной температуре (скорость коррозии <0,05 мм/год) и удовлетворительно стойка — до 125—130 °С (скорость коррозии 0,3—1,3 мм/год) [1, 3].

Бронза в деаэрированной кислоте при обычной температуре корродирует со скоростью менее 0,1 мм/год, при 100 °С — нестойка [1].

Латунь в деаэрированной кислоте удовлетворительно стойка до 75—100 °С (скорость коррозии <0,5—1,3 мм/год) [3].

Мельхиор в стеариновой кислоте стоек до температуры 380 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Алюминий в стеариновой кислоте стоек при температуре до 160—220 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [206, 257]. По справочным данным [40, 45], алюминий во влажной (>0,1% H₂O) кислоте сохраняет высокую стойкость до 270—300 °С, в безводной кислоте при температуре кипения — нестойк [1, 2, 4].

Сплавы алюминия типа АМц, АМг, силумины во влажной стеариновой кислоте стойки до 300 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [45]. По данным работ [206, 257], сплавы АМг3, АМг5 сохраняют стойкость до 160 °С (при 220—260 °С скорость коррозии 0,2—0,7 мм/год).

Другие металлы. Серебро в стеариновой кислоте сохраняет высокую стойкость до 300—400 °С [40, 45]. По другим данным [3, 4], серебро в стеариновой кислоте применимо до температуры 330—350 °С.

Титан, тантал, платина, золото в стеариновой кислоте остаются стойкими до 340—370 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3, 39, 206, 257].

Свинец в стеариновой кислоте обладает удовлетворительной стойкостью до температуры 100 °С (скорость коррозии 0,5—1,3 мм/год) [3].

40.40. Уксусная кислота — CH₃COOH

Уксусная (метанкарбоновая, этановая) кислота — одноосновная предельная карбоновая кислота жирного ряда. Безводная кислота представляет собой

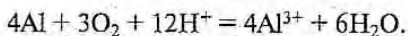
кристаллическое вещество с температурой плавления 16,75 °С и температурой кипения 118,1 °С (98,1 °С при 400 мм рт. ст.; 62,2 °С при 100 мм рт. ст.; 17,1 °С при 10 мм рт. ст.). При комнатной температуре уксусная кислота — бесцветная жидкость.

В воде, этиловом спирте, эфире уксусная кислота растворима в любых соотношениях. Чистая («ледяная») кислота за счет водородных связей образует димеры $(\text{CH}_3\text{COOH})_2$, устойчивые до 250 °С. Гидроксильная группа кислоты очень реакционноспособна. Кислота отличается высокой устойчивостью к окислению.

Уксусная кислота является слабой кислотой ($K = 1,75 \cdot 10^{-5}$ при 25 °С), ее кислотные свойства обусловлены смещением электронов в сторону кислорода карбонильной группы $>\text{C}=\text{O}$ с ослаблением связи между водородом и кислородом гидроксигруппы $-\text{OH}$. В результате этого атом водорода карбоксила кислоты, обладая большой подвижностью, легко отщепляется в виде катиона водорода.

Уксусная кислота оказывает сильное разрушающее действие на большинство металлических материалов, особенно с повышением температуры. При увеличении концентрации кислоты ее коррозионная активность сначала возрастает, а затем снижается (наибольшей агрессивностью обладают растворы концентрации 40—60%). Для алюминия скорость коррозии максимальна в кипящей 1—2%-ной кислоте [131]. Абсолютно безводная кислота, обладая специфическими свойствами, может вызывать очень сильную коррозию некоторых металлов (алюминия, титана). Для возникновения и сохранения пассивного состояния нержавеющей стали кислота должна содержать не менее 0,03% воды [278, 279]. Кроме того, агрессивность растворов кислоты зависит от степени аэрации. Так, нержавеющие стали в деаэрированных растворах подвергаются большей коррозии, чем в аэрированных растворах, а медь, ее сплавы и алюминий — наоборот.

Коррозия алюминия в зависимости от концентрации аэрированной кислоты протекает по чисто химическому, электрохимическому и смешанному механизму. При обычной температуре с увеличением концентрации кислоты до ~18% доля электрохимического механизма возрастает до ~95%, а затем монотонно снижается практически до нуля в 50—75%-ной кислоте [264, 280]. При этом химическая коррозия алюминия происходит за счет взаимодействия его с растворенным кислородом среды и не сопровождается выделением водорода:



В концентрированных растворах уксусной кислоты при высокой температуре некоторые нержавеющие стали подвержены локальной (питтинговой, межкристаллитной, селективной) коррозии [15, 44, 278].

Области применения металлических материалов в зависимости от температуры и концентрации уксусной кислоты ориентировочно показаны на рис. 40.10, предельные условия применения металлов и сплавов в растворах уксусной кислоты приведены в табл. 40.9.



Рис. 40.10. Области применения металлических материалов в уксусной кислоте:

1 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС15М4, ЧС17, ЧС17М3; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; чугун «ниррезист»; стали типа Х13—Х28, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т; 03Х23Н6; 08Х21Н6М2Т; 03Х22Н6М2; 03Х21Н21М4ГБ; 02Х21Н25М5ДБ; 20Х23Н13; 20Х23Н18; 10Х14Г14Н4Т; 08Х18Г18Н2Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН30МДБ; ХН40МДБ-ВИ; ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ; монель-металл; бронза; мельхиор (до 30%); алюминий; сплавы типа АМг; свинец; олово; титан; сплавы титана: 4200, 4201; цирконий; тантал; серебро; платина; золото; 2 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС15М4, ЧС17, ЧС17М3; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; стали типа Х17—Х28 (до 80%), Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; стали: 08Х22Н6Т, 03Х23Н6, 08Х21Н6М2Т, 03Х22Н6М2 (до 95—99%); 03Х21Н21М4ГБ (до 98%); 10Х14Г14Н4Т, 08Х18Г18Н2Т (до 80%); сплавы: 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН30МДБ; ХН40МДБ-ВИ; ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ; монель-металл; бронза; алюминий (до 99,9%); свинец, олово (до 80%); титан, сплавы титана 4200, 4201 (до 99,5%); цирконий; тантал; серебро; платина; золото; 3 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС15М4, ЧС17, ЧС17М3 (до 15—20%); хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; стали типа Х25, Х28, Х18Н10Т (до 20%), Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т (до 25%); 03Х23Н6; 08Х21Н6М2Т; 03Х22Н6М2; 03Х21Н21М4ГБ; 02Х21Н25М5ДБ (до 20%); 10Х14Г14Н4Т, 08Х18Г18Н2Т (до 80 °С); сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН30МДБ; ХН40МДБ-ВИ; ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ; монель-металл; бронза; олово; титан; сплавы титана: 4200, 4201; цирконий; тантал; серебро; платина; золото; 4 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС15М4, ЧС17, ЧС17М3; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; стали типа Х25, Х28, Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т; 03Х23Н6; 08Х21Н6М2Т; 03Х22Н6М2; 03Х21Н21М4ГБ; 10Х14Г14Н4Т; 08Х18Г18Н2Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН30МДБ; ХН40МДБ-ВИ; ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ; монель-металл; бронза; олово (до 60—70%); титан; сплавы титана: 4200, 4201; цирконий (до 99,9%); тантал; серебро; платина; золото; 5 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС15М4, ЧС17, ЧС17М3; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; стали типа Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т; 03Х23Н6; 08Х21Н6М2Т; 03Х22Н6М2; 03Х21Н21М4ГБ (до 98%); сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН30МДБ; ХН40МДБ-ВИ; ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ; монель-металл; бронза алюминиевая (до 98%); титан, сплавы титана 4200, 4201 (до 99,5%); цирконий (до 99,9%); тантал; серебро; платина; золото; 6 — стали типа Х17Н13М2Т; стали 03Х23Н6; 08Х21Н6М2Т; 03Х22Н6М2; 03Х21Н21М4ГБ; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН30МДБ; ХН40МДБ-ВИ; ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ; монель-металл; бронза алюминиевая (до 100 °С); бронза кремнистая; титан; сплавы титана: 4200, 4201; цирконий; серебро; платина; золото; тантал; 7 — стали типа Х17Н13М2Т; стали 08Х21Н6М2Т, 03Х22Н6М2 (до 98%); 03Х21Н21М4ГБ (до 96%); сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ (до 100 °С); ХН30МДБ, ХН40МДБ-ВИ (до 98%); ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ; монель-металл; титан, сплавы титана: 4200, 4201 (до 99,5%); цирконий (до 99,9%); тантал, серебро; платина; золото

Таблица 40.9. Предельные условия применения металлов и сплавов в растворах уксусной кислоты

Металлы и сплавы	Концентрация, %	Температура, °С	Источник
Алюминий	99,9	Комн.	[8, 45, 258]
	В 98—99,9	100—110	[8, 258]
Бронза алюминиевая	99,9	Комн.	[1, 88, 139]
Золото	Любая	Кип.	[3, 5, 40, 45]
Мельхиор	30	Комн.	[5, 68, 139]
Монель-металл	99,9	Кип.	[1, 4, 5, 40]
Нейзильбер	70	Комн.	[4]
Олово	99,9	Комн.	[4, 139, 194]
	60	Кип.	[46, 61, 68]
Платина	Любая	Кип.	[3, 5, 40, 45]
Серебро	Любая	Кип.	[3, 5, 40, 45]
Сплав:			
АМг3	В 98—99,9	110	[258]
06ХН28МДТ	99,9	100	[139, 206, 258]
ХН40МДБ	94	Кип.	[10, 31]
ХН65МВУ, Н70МФВ	99,9	Кип.	[2, 10, 45, 139]
	90—99,8	150—165	[2, 17, 27, 278]
4200, 4201	99,5	200	[39, 139]
Сталь:			
типа Х13	65	Комн.	[10, 40]
	50	Комн.	[4, 61, 102, 260]
типа Х17	В 98—99,9	70	[257, 258]
типа Х25, Х28	80	Кип.	[1]
типа Х18Н10Т	80	100—115	[1, 88]
типа Х17Н13М2(М3)Т	В 90—99,8	150	[258, 278]
03Х21Н21М4ГБ	В 90—99	200	[2, 278]
08Х22Н6Т	В 90—99,8	140	[278]
	25	Кип.	[44, 206, 257, 258]
	70	90	[59, 257, 281]
08Х21Н6М2Т	В 98	Кип.	[258]
	98	130	[15, 17, 139, 281]
03Х24Н6АМ3	В 98	150	[258]
Тантал	Любая	350—390	[3, 83]
Титан ВТ1-0	99,5	Кип.	[10, 39, 83, 138]
Цирконий	99,9	Кип.	[3, 10, 68, 194]
Чугун:			
ЧХ28, ЧХ34	99,9	Кип.	[4, 59, 88, 260]
ЧС15, ЧС17	99,9	Кип.	[4, 8, 40, 45]

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали при обычной температуре в уксусной кислоте концентрацией менее 50—70% корродируют со скоростью 0,4—1,3 мм/год [44, 257, 263] (по другим данным [3, 260], в кислоте любой концентрации стали нестойки). Согласно работе [62], углеродистые стали при концентрации кислоты выше 90% применимы до 80 °С, в безводной кислоте — до температуры кипения.

Серые чугуны в уксусной кислоте неприменимы при обычной температуре [1, 3, 4]. По данным работы [260], в концентрированной (>98%) кислоте при обычной температуре скорость коррозии чугунов не превышает 1 мм/год.

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в уксусной кислоте обладают удовлетворительной стойкостью до температуры кипения (скорость коррозии <0,1—1 мм/год) [4, 40, 45, 139]. По данным работ [3, 61, 88], в 20—30%-ной кислоте такие чугуны нестойки (скорость коррозии 1,3—3 мм/год).

Хромистые чугуны ЧХ28, ЧХ32 в уксусной кислоте любой концентрации удовлетворительно стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1—1 мм/год) [4, 61, 88, 260].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в разбавленной (<10—20%) уксусной кислоте при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,5 мм/год), в более концентрированной кислоте и при повышенной температуре — нестойки [3]. Чугуны типа нирезист при обычной температуре в кислоте концентрацией до 30% корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [4, 40, 61, 260], в 50—99,9%-ной кислоте — нестойки [10, 257]. При температуре ниже 70—80 °С в кислоте концентрацией менее 25% скорость коррозии таких чугунов до 0,6—0,8 мм/год [10, 139, 257].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13 при обычной температуре в уксусной кислоте концентрацией до 50% стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [4, 61, 102, 260], в 60—80%-ной кислоте — нестойки [139], в 98—99,9%-ной кислоте — удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—0,3 мм/год) [257, 258]. При температуре до 50 °С в кислоте концентрацией менее 25% стали корродируют со скоростью 0,1—1 мм/год, в более концентрированной кислоте — практически нестойки [139, 206, 257, 258].

Стали типа Х17 в уксусной кислоте концентрацией менее 80% при температуре ниже 70 °С удовлетворительно стойки (скорость коррозии <0,3 мм/год) [1]. В кислоте концентрацией менее 25% при температуре до 165 °С такие стали корродируют со скоростью 0,1—1 мм/год, при концентрации 60—98% и температуре до 100 °С — со скоростью 0,5—1,2 мм/год [257, 258, 281]. По данным работы [105], стали сохраняют достаточную стойкость при температуре до 50—60 °С только в разбавленной (<20%) и концентрированной (>80%) кислоте (рис. 40.11). Стали типа Х17 в уксусной кислоте могут подвергаться питтинговой коррозии [44].

Стали типа Х25—Х28 в уксусной кислоте концентрацией менее 50% при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год), в разбавленной (<10%) кислоте — удовлетворительно стойки до температуры кипения (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) [2, 61, 102, 260]. По другим данным [1, 88], такие стали сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,2 мм/год) в кислоте концентрацией менее 80% до температуры кипения.

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т в разбавленной (<20%) уксусной кислоте стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 140 °С [258] (по данным справочника [45], до температуры кипения), при 160—165 °С — удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,2—0,6 мм/год) [206, 257, 258]. В более

концентрированной (до 99,9%) кислоте стали обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) до 100 °С [40, 206, 258] (по другим данным [4, 260, 269] — до температуры кипения).

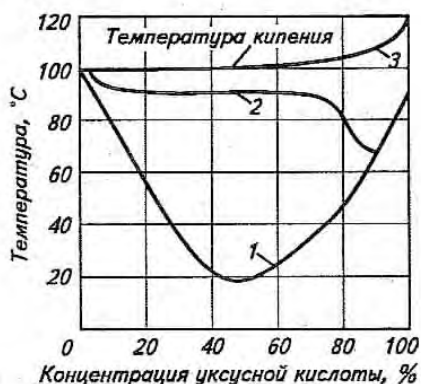


Рис. 40.11. Линии постоянной скорости коррозии (0,1 мм/год) в растворах уксусной кислоты нержавеющей сталей типа [105]:

1 — X17; 2 — X18H10T; 3 — X17H13M2T

Стали типа X17H13M2T в любых растворах уксусной кислоты стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [45, 257, 281] (по другим данным [1, 139], скорость коррозии до 1 мм/год). В концентрированной (90—99,5%) кислоте при температуре до 200 °С стали корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год, до 250 °С — со скоростью 0,5—0,8 мм/год [4, 278]. Стали этого типа в уксусной кислоте могут подвергаться питтинговой коррозии [278].

Двухфазная сталь 08X22H6T в разбавленной (<25%) уксусной кислоте стойка до 140 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [44, 206, 258], в более концентрированной (50—99,5%) кислоте — удовлетворительно стойка до температуры кипения (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) [1, 2, 257, 281]. По данным Sandvik Steel сталь SAF 2304 (типа 03X23H6) в кислоте концентрацией 20—90% сохраняет высокую стойкость (скорость коррозии <0,01 мм/год) до температуры кипения.

Двухфазная сталь 08X21H6M2T в уксусной кислоте концентрацией менее 98% стойка до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [17, 139, 281], при концентрации кислоты 50—99,5% — удовлетворительно стойка до 130—165 °С (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) [2, 206, 258]. При высоких значениях концентрации кислоты и температуры сталь может подвергаться межкристаллитной, селективной и питтинговой коррозии [15]. Сталь 03X22H6M2 стойка (скорость коррозии <0,1 мм/год) в кислоте концентрацией менее 98% до температуры кипения, сталь 03X24H6AM3 в 95%-ной кислоте — до 95 °С [17].

Хромоникелевые стали 20X23H13, 20X23H18 в уксусной кислоте концентрацией менее 50% стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [45].

Сталь 03X21H21M4ГБ в уксусной кислоте концентрацией менее 96% стойка до 120 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [17, 27, 270]. В концентрированной (90—99,8%) кислоте при температуре до 200 °С сталь корродирует со скоростью менее 0,1 мм/год, при 250 °С — со скоростью 0,3—1,9 мм/год [278]. Сталь

02X21H25M5ДБ в 20%-ной кислоте сохраняет высокую стойкость до температуры кипения (скорость коррозии $<0,01$ мм/год) [71]. Сталь 20X25H20C2 удовлетворительно стойка (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) в кислоте концентрацией менее 99,9% до температуры кипения [102, 260].

Хромомарганцевые стали 10X13Г18Д, 03X13АГ19, 10X14АГ15 в разбавленной (<10 —15%) уксусной кислоте стойки до температуры 50 °С (скорость коррозии $<0,01$ мм/год) [15, 18, 261]. Сталь 07X13АГ20 в 80%-ной кислоте стойка до 95 °С (скорость коррозии $<0,1$ мм/год), может подвергаться питтинговой коррозии [15].

Стали 10X14Г14Н4Т, 08X18Г18Н2Т в уксусной кислоте концентрацией до 80% стойки при температуре ниже 80 °С (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [2, 17]. При температуре кипения в кислоте концентрацией до 10% сталь 10X14Г14Н4Т корродирует со скоростью менее 0,1 мм/год, в 10—30%-ной кислоте — со скоростью 0,8—0,9 мм/год, в 50—80%-ной кислоте — нестойка [15, 112]. Сталь 08X18Г18Н2Т при температуре кипения стойка (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) в кислоте концентрацией до 30% и удовлетворительно стойка (скорость коррозии до 0,5—1 мм/год) в кислоте концентрацией 50—80% [2, 15, 102].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в любых растворах уксусной кислоты стойки до температуры кипения [40, 45] (по другим данным [139, 206, 258], до 100 °С). В концентрированной (80—96%) кислоте при температуре кипения сплавы корродируют со скоростью 0,1—1 мм/год [2, 30, 139]. В кислоте концентрацией менее 25% при температуре до 165 °С сплавы сохраняют высокую стойкость (скорость коррозии $<0,001$ мм/год), в кислоте концентрацией 50—98% при температуре до 140 °С скорость коррозии сплавов составляет 0,1—0,3 мм/год, при 160 °С — 0,2—0,6 мм/год [2, 206, 258].

Сплав ХН30МДБ в концентрированной (96%) уксусной кислоте практически не корродирует до температуры кипения [29, 30].

Сплав ХН40МДБ в растворах уксусной кислоты концентрацией до 94% сохраняет высокую стойкость (скорость коррозии $<0,005$ мм/год) до температуры кипения [10, 31].

Никель и сплавы никеля. Никель в любых растворах уксусной кислоты удовлетворительно стоек (скорость коррозии $<0,1$ —0,5 мм/год) до температуры кипения [10, 68] (по другим данным справочника [1], в кислоте концентрацией менее 80%). Согласно работе [3], никель удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) только в разбавленных (10%) растворах кислоты при температуре ниже 75 °С, в более концентрированной (20—99%) кислоте при обычной температуре — корродирует со скоростью до 1—1,7 мм/год [3, 40, 61].

Монель-металл в любых растворах уксусной кислоты корродирует со скоростью 0,1—0,6 мм/год как при обычной температуре [4, 10, 40, 45], так и при температуре кипения [1, 4, 5, 40].

Никельмолибденовые сплавы ХН65МВ, Н70МФВ в любых растворах уксусной кислоты стойки до температуры кипения (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [2, 10, 45, 139] (по другим данным [1], в кислоте концентрацией до 80%). В концентрированной ($>90\%$) кислоте сплавы стойки до температуры 150—165 °С [17, 27, 278] (сплав ХН65МВУ удовлетворительно стоек до 200—250 °С [278]). Сплав ХН55МБЮ остается стойким (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) в кислоте концентрацией менее 50% при температуре до 80 °С [27].

Сплав ХН78Т в любых растворах уксусной кислоты удовлетворительно стойк (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) до температуры кипения [102].

Нихром (15—22% Cr, 6—8% Fe) при обычной температуре в растворах уксусной кислоты концентрацией до 15% корродирует со скоростью менее 0,2—0,6 мм/год, при концентрации 25—60% — со скоростью менее 0,1 мм/год [5], в 80%-ной кислоте — со скоростью до 1 мм/год [40]. По данным работы [10], при обычной температуре в любых растворах кислоты скорость коррозии сплава менее 0,1 мм/год, при температуре кипения — 0,3—3 мм/год [4, 5, 139].

Медь и медные сплавы. Медь в растворах уксусной кислоты при обычной температуре корродирует со скоростью менее 0,1—1 мм/год [1, 5, 68] (по другим данным [3, 40, 260], до 1,2—1,5 мм/год), при температуре кипения — нестойка [1, 46, 139, 194]. В деаэрированных растворах концентрацией до 99% при обычной температуре медь корродирует со скоростью менее 0,1—0,2 мм/год, в кислоте концентрацией до 50% при температуре ниже 100 °С — со скоростью менее 0,5 мм/год [4, 40], в 99,9%-ной кислоте при 100 °С — нестойка [3].

Бронза алюминиевая (Бр.А5, Бр.А7, Бр.А10) в любых растворах уксусной кислоты при обычной температуре удовлетворительно стойка (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [1, 88, 139], при температуре ниже 100 °С в кислоте концентрацией 50—99% — корродирует со скоростью 0,1—1 мм/год [46, 110, 139]. В кислоте концентрацией менее 80% бронза удовлетворительно стойка (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) до температуры кипения [1, 40, 88], в 90%-ной кислоте при температуре кипения — нестойка [1] (рис. 40.12).

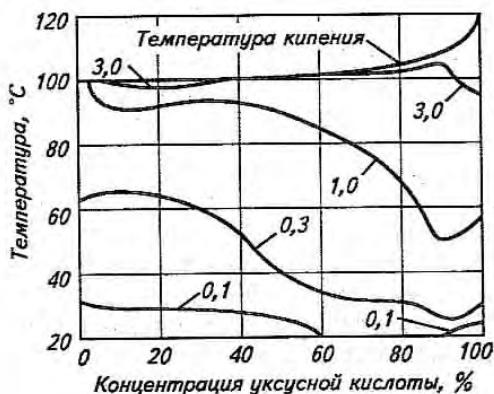


Рис. 40.12. Линии постоянной скорости коррозии (мм/год) алюминиевой бронзы в растворах уксусной кислоты [110]

Бронза оловянистая при обычной температуре в растворах уксусной кислоты концентрацией до 80% корродирует со скоростью менее 0,1—0,4 мм/год [1, 139, 260], в 80—99%-ной кислоте — со скоростью менее 0,6—0,7 мм/год [5, 46, 68], при температуре 100—115 °С в растворах концентрацией до 80% — нестойка [1].

Бронзы кремнистая и фосфористая при обычной температуре в растворах уксусной кислоты концентрацией до 75% стойки (скорость коррозии <0,1—0,2 мм/год) [4, 5, 64], при концентрации 80—99,5% — удовлетворительно стой-

ки (скорость коррозии 0,3—0,7 мм/год) [40, 88, 139]. При температуре кипения в растворах кислоты концентрацией до 80% кремнистая бронза корродирует со скоростью 0,1—0,5 мм/год [88, 139], фосфористая бронза — со скоростью 0,9—2 мм/год [4, 64].

Латунь в уксусной кислоте концентрацией менее 80% при обычной температуре неприменима [1, 3, 62], в 99,9%-ной кислоте — корродирует со скоростью 0,1—1 мм/год [40].

Мельхиор в кислоте концентрацией до 30% при обычной температуре стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) [5, 68, 139]. По данным работы [64], в 6%-ной кислоте при 30 °С скорость коррозии мельхиора 0,3 мм/год.

Нейзильбер при обычной температуре стоек в уксусной кислоте концентрацией до 70% (скорость коррозии <0,1—0,2 мм/год) [4].

Алюминий в растворах уксусной кислоты концентрацией до 99,9% при обычной температуре стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 45, 61, 258], при 50 °С — корродирует со скоростью 0,2—0,7 мм/год [3, 61, 258], при 80 °С — со скоростью до 0,5—1,3 мм/год [3, 34, 61, 257]. При температуре кипения в кислоте концентрацией менее 95% алюминий нестойк, в 96—99,8%-ной кислоте — удовлетворительно стоек (скорость коррозии до 0,1—0,4 мм/год) [4, 40, 61, 139]. В безводной кислоте алюминий неприменим [4, 40, 62]. По данным работы [64], при температуре кипения алюминий стоек (скорость коррозии <0,1—0,2 мм/год) в кислоте концентрацией 90—99,5%.

Сиумин при обычной температуре стоек в уксусной кислоте концентрацией до 99,9% (скорость коррозии <0,1 мм/год) [20, 45, 139], при температуре до 118 °С — стоек в концентрированной (98,8%) кислоте (скорость коррозии 0,001 мм/год) [40].

Сплавы типа АМг в растворах кислоты концентрацией менее 50% при обычной температуре корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год, при 50 °С — со скоростью 0,2—0,9 мм/год. В концентрированной (98%) кислоте сплавы стойки (скорость коррозии 0,1—0,2 мм/год) до температуры 100 °С [206, 257, 258] (по данным работы [282] — до 50 °С). В безводной кислоте сплав АМг6 стоек до 118 °С (скорость коррозии <0,1—0,3 мм/год) [283].

Свинец при обычной температуре в растворах уксусной кислоты концентрацией менее 60—80% обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) [1, 61, 139] и применим в более концентрированной кислоте [3, 62]. Сурьмянистый свинец при температуре кипения в разбавленной (10%) кислоте корродирует со скоростью менее 0,4—0,6 мм/год, в 80%-ной кислоте — со скоростью 1,2—1,4 мм/год [88].

Олово в уксусной кислоте концентрацией менее 99,9% при обычной температуре [4, 139, 194] и в кислоте концентрацией менее 60% при температуре кипения [46, 61, 68] обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии до 0,2—0,5 мм/год).

Титан и сплавы титана. Титан в растворах уксусной кислоты концентрацией менее 99,5% стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [10, 39, 64, 139] (по другим данным [206, 257] — до 165 °С). Согласно работе [3], при 125 °С скорость коррозии титана 0,05—0,5 мм/год. В безводной кислоте титан нестойк [131].

Сплавы 4200, 4201 в уксусной кислоте концентрацией менее 99,5% отличаются высокой стойкостью до температуры 200 °С (скорость коррозии <0,01—0,04 мм/год) [39, 139].

Цирконий в растворах уксусной кислоты концентрацией менее 99,9% стоек до температуры кипения [3, 10, 64, 194]. Сплавы циркония Э-110, Э-125 в 98%-ной кислоте обладают высокой стойкостью до температуры кипения (скорость коррозии 0,001 мм/год) [84, 146].

Другие металлы. Ниобий в концентрированной (>90%) уксусной кислоте при температуре до 100 °С практически не подвергается коррозии [46, 139, 194].

Серебро, плагина, рутений, родий, золото в растворах кислоты концентрацией менее 99,9% стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,01 мм/год) [3, 5, 40, 45], тантал — до температуры 350—390 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3, 83].

40.41. Фенилуксусная кислота — $C_6H_5CH_2COOH$

Фенилуксусная (α -толуиловая, 2-фенилэтановая) ароматическая кислота при обычных условиях представляет собой кристаллическое вещество с температурой плавления 76,9 °С и температурой кипения 266,5 °С (243,0 °С при 400 мм рт. ст.; 198,2 °С при 100 мм рт. ст.; 141,3 °С при 10 мм рт. ст.). Кислота хорошо растворима в этиловом спирте, эфире и плохо растворима в холодной воде (1,66% при 20 °С), при нагреве растворимость увеличивается. Фенилуксусная кислота — слабая одноосновная кислота ($K = 6 \cdot 10^{-5}$ при 25 °С).

По данным работы [3], коррозионное поведение металлических материалов в фенилуксусной кислоте характеризуется следующим образом.

Углеродистые стали и серые чугуны при обычной температуре в 100%-ной фенилуксусной кислоте стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год), в 90%-ной кислоте корродируют со скоростью 0,5—1,3 мм/год.

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в 90 и 100%-ной фенилуксусной кислоте стойки (скорость коррозии <0,5 мм/год) до температуры 100 °С.

Высоколегированные стали. Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в 100%-ной фенилуксусной кислоте обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) до температуры 175 °С, при 250 °С — нестойки. В 90%-ной кислоте стали стойки до 100 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в 100%-ной фенилуксусной кислоте при температуре ниже 250 °С и в 90%-ной кислоте при температуре до 100 °С корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год.

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл, сплав Н70МФВ в 100%-ной фенилуксусной кислоте стойки до температуры 250 °С, в 90%-ной кислоте — до 100 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год).

Медь стойка (скорость коррозии <0,05 мм/год) в 100%-ной фенилуксусной кислоте до 150 °С, в 90%-ной — до 100 °С.

Алюминий в 100%-ной фенилуксусной кислоте при температуре ниже 100 °С стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год), при 250 °С — нестойк. В 90%-

ной кислоте алюминий стоек до температуры 100 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год).

Свинец в 90%-ной фенилуксусной кислоте при температуре до 100 °С корродирует со скоростью менее 0,05 мм/год, при температуре до 150 °С — со скоростью 0,5—1,3 мм/год.

Другие металлы. Титан, цирконий, тантал, серебро, платина, золото стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) в 100%-ной фенилуксусной кислоте до температуры 250 °С, в 90%-ной кислоте — до 100 °С.

40.42. Фенолсульфоновая кислота — $\text{ONC}_6\text{H}_4\text{SO}_3\text{H}$

Фенолсульфоновая (фенол-4-сульфоновая, *пара*-оксibenзолсульфоновая) кислота при обычных условиях представляет собой кристаллическое вещество, расплывающееся на воздухе. Температура плавления моногидрата кислоты 138—142 °С. Фенолсульфоновая кислота хорошо растворима в воде и этиловом спирте.

По данным работы [3], коррозионное поведение металлических материалов в фенолсульфоновой кислоте характеризуется следующим образом.

Углеродистые стали и серые чугуны при обычной температуре в 100%-ной фенолсульфоновой кислоте обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии <0,5 мм/год), в 30%-ной кислоте при 150 °С — корродируют со скоростью более 1,3 мм/год.

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в 10%-ной фенолсульфоновой кислоте стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год), при концентрации 80—100% — корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Высоколегированные стали. Хромоникелевые стали типа X18H10T, X17H13M2T в 30%-ной фенолсульфоновой кислоте при обычной температуре нестойки (скорость коррозии более 1,3 мм/год). В 100%-ной кислоте стали обладают удовлетворительной стойкостью до температуры 150 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Никель и сплавы никеля. Никель удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) в 10%-ной фенолсульфоновой кислоте до температуры 100 °С, в 100%-ной кислоте — до 150 °С.

Монель-металл в 10%-ной фенолсульфоновой кислоте при температуре ниже 100 °С корродирует со скоростью до 0,5 мм/год.

Сплав Н70МФВ в фенолсульфоновой кислоте концентрацией 30 и 100% стоек до 100 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год).

Алюминий в фенолсульфоновой кислоте концентрацией 20 и 100% при обычной температуре корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год, при температуре 50 °С — нестойк.

Свинец удовлетворительно стоек (скорость коррозии <0,5 мм/год) в 30%-ной фенолсульфоновой кислоте до температуры 100 °С, в 100%-ной кислоте — до 75 °С.

Титан при обычной температуре в 10%-ной фенолсульфоновой кислоте корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год, в 100%-ной кислоте — со скоростью менее 0,05 мм/год.

40.43. Фталевая кислота — $C_6H_4(COOH)_2$

Фталевая (*орто*-бензолдикарбоновая, бензол-1,2-дикарбоновая) кислота является простейшей двухосновной ароматической кислотой. При обычных условиях фталевая кислота представляет собой кристаллическое вещество в форме листочков с температурой плавления $208^\circ C$ (с разложением). При нагреве выше температуры плавления кислота теряет воду и превращается во фталевый ангидрид, выше $300^\circ C$ идет процесс декарбоксилирования кислоты с образованием бензойной кислоты.

Фталевая кислота хорошо растворима в этиловом спирте (12% при $20^\circ C$), плохо растворима в эфире ($<0,7\%$ при $25^\circ C$), труднорастворима в воде ($\sim 0,6\%$ при $20^\circ C$; $7,1\%$ при $85^\circ C$). Фталевая кислота является слабой кислотой ($K_1 = 1,05 \cdot 10^{-3}$; $K_2 = 5,2 \cdot 10^{-6}$ при $25^\circ C$). Коррозионное действие кислоты проявляется при концентрации более 5% или наличии фталевого ангидрида в среде [44].

Металлы и сплавы во фталевой кислоте обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны при обычной температуре в 100%-ной фталевой кислоте обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии $<0,5$ мм/год) [3], в водном растворе кислоты — корродируют со скоростью более 1 мм/год [40, 277]. При температуре $100^\circ C$ в кислоте концентрацией 10% углеродистые стали нестойки [206].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 во фталевой кислоте обладают высокой стойкостью [44, 277]. В 100%-ной кислоте при температуре до $210^\circ C$ скорость коррозии чугунов $0,05—0,5$ мм/год [3].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в 100%-ной фталевой кислоте при обычной температуре стойки (скорость коррозии $0,05—0,5$ мм/год) [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X13 при обычной температуре в 100%-ной фталевой кислоте нестойки [1, 2], в насыщенном растворе кислоты — корродируют со скоростью $0,1—0,5$ мм/год [277]. Стали типа X17 в 100%-ной фталевой кислоте при температуре ниже $200^\circ C$ стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [40] (по другим данным [1, 2], при обычной температуре скорость коррозии более $0,5$ мм/год). В кислоте концентрацией 10% при температуре $100^\circ C$ стали корродируют со скоростью $0,03$ мм/год [206].

Хромоникелевые стали типа X18H10T в 100%-ной фталевой кислоте до температуры кипения стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [40], при температуре до $250^\circ C$ — удовлетворительно стойки (скорость коррозии $0,05—0,5$ мм/год) [3]. В парах, содержащих фталевый ангидрид, при температуре $220—288^\circ C$ стали корродируют со скоростью $0,1—1$ мм/год [284]. В растворах кислоты концентрацией менее 10% при температуре ниже $100^\circ C$ стали корродируют со скоростью $0,001$ мм/год [15, 206], в растворах концентрацией 10—30% при температуре до $210^\circ C$ — нестойки, причем коррозия носит межкристаллитный характер [3].

Стали типа X17H13M2T в 100%-ной фталевой кислоте при температуре ниже $250^\circ C$ корродируют со скоростью менее $0,05$ мм/год [3]. При температуре кипения и в парах, содержащих фталевый ангидрид, при температуре $220—288^\circ C$ скорость коррозии сталей менее $0,1$ мм/год [40, 284]. В растворе кислоты концентрацией 1,5% при температуре ниже $100^\circ C$ стали корродируют

со скоростью 0,001 мм/год [15], в растворе концентрацией 10% при температуре до 210 °С — со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т в разбавленной (1,5%) фталевой кислоте обладают высокой стойкостью до 100 °С (скорость коррозии <0,001 мм/год) [15].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в 100%-ной фталевой кислоте стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40] (по данным работы [3], скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл в 100%-ной фталевой кислоте стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 200 °С [4, 40] (по данным работы [3], при температуре до 150 °С скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год). В 10%-ной кислоте при 100 °С скорость коррозии никеля 0,6 мм/год [206].

Сплав Н70МФВ в 100%-ной фталевой кислоте стоек до температуры 400 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40]. Согласно работе [3], сплавы типа ХН65МВУ, Н70МФВ стойки до 250 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Нихром (15—22% Cr, 6—8% Fe) в 100%-ной фталевой кислоте стоек до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40] (по данным работы [3], при температуре до 100 °С скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Медь и медные сплавы. Медь, бронза, латунь в 100%-ной фталевой кислоте стойки до температуры 140 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40], при температуре до 210 °С скорость коррозии достигает 0,05—0,5 мм/год [3]. Медь в насыщенном растворе кислоты при обычной температуре корродирует со скоростью 0,1—1 мм/год [277], в 10%-ной кислоте при температуре 100 °С — со скоростью 0,5 мм/год [206].

Алюминий, силумин в 100%-ной фталевой кислоте стойки до температуры 140 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40] (по другим данным [2, 3, 44], скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год). В насыщенном растворе кислоты при обычной температуре алюминий корродирует со скоростью 0,1—0,5 мм/год [277], в 10%-ной кислоте при температуре 100 °С — нестойк [206].

Титан в 100%-ной фталевой кислоте при обычной температуре и в 10%-ном растворе кислоты при температуре до 100 °С стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3, 39].

Другие металлы. Свинец в разбавленных (<10%) растворах фталевой кислоты при температуре ниже 100 °С корродирует со скоростью 0,1—0,5 мм/год [1, 206, 277].

Олово в 100%-ной фталевой кислоте остается стойким до температуры 140 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40].

Цирконий в 100%-ной фталевой кислоте при обычной температуре стоек (скорость коррозии менее 0,05 мм/год) [3], серебро платина, золото — стойки до температуры кипения [40] (по данным работы [3] — до температуры 210 °С).

40.44. Хлоруксусные кислоты — $\text{CH}_{3-n}\text{Cl}_n\text{COOH}$

В хлоруксусных кислотах атомы водорода в ацетилрадикале карбоновой кислоты замещены одним, двумя или тремя атомами хлора. Из-за полярного характера связи C—Cl электронная пара в замещенном радикале и в карбониль-

ной группе смещается к атому хлора, что вызывает смещение электронов, связывающих атом углерода карбонильной группы с кислородом гидроксигруппы. Это приводит к ослаблению связи протона с кислородом и к увеличению силы галоидозамещенной кислоты. При многократном замещении водорода эффекты взаимно усиливаются, и степень диссоциации кислоты увеличивается. Поэтому трихлоруксусная кислота значительно сильнее монохлоруксусной кислоты.

Галоидозамещенные кислоты вступают во все реакции, свойственные карбоновым кислотам.

Хлоруксусная (монохлоруксусная) кислота — CH_2ClCOOH

Хлоруксусная кислота при обычных условиях представляет собой кристаллическое вещество, расплывающееся на воздухе, с температурой плавления $61,2^\circ\text{C}$ и температурой кипения $189,4^\circ\text{C}$ ($169,0^\circ\text{C}$ при 400 мм рт. ст.; $130,7^\circ\text{C}$ при 100 мм рт. ст.; $81,0^\circ\text{C}$ при 10 мм рт. ст.).

Хлоруксусная кислота очень хорошо растворима в воде. Водные растворы кислоты ($K = 1,5 \cdot 10^{-3}$ при 25°C) агрессивны и сильно разрушают многие металлы и сплавы.

Металлы и сплавы в хлоруксусной кислоте обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в любых растворах хлоруксусной кислоты нестойки при обычной температуре [1, 3, 40, 44].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в любых растворах хлоруксусной кислоты при обычной температуре корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год, при температуре ниже 100°C — со скоростью менее 0,5 мм/год [1, 3, 148]. В 100%-ной кислоте при температуре 125°C скорость коррозии чугунов достигает 0,5—1,3 мм/год [3].

Хромистые чугуны ЧХ28, ЧХ32 в хлоруксусной кислоте концентрацией 10—50% при обычной температуре стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год), при 70°C — удовлетворительно стойки (скорость коррозии <1 мм/год), при 90°C — нестойки [46, 148].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в хлоруксусной кислоте при обычной температуре нестойки [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х28 при обычной температуре в любых растворах хлоруксусной кислоты нестойки [1, 88, 148].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в любых растворах хлоруксусной кислоты при обычной температуре нестойки [3, 46, 88, 112]. По данным работы [44], стали типа Х18Н10Т при обычной температуре удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,3—0,8 мм/год), стали типа Х17Н13М2Т сохраняют удовлетворительную стойкость до 90 — 120°C (скорость коррозии <1 мм/год) [40, 148]. В 100%-ной кислоте стали типа Х18Н10Т могут подвергаться питтинговой коррозии [40, 148].

Двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т в любых растворах хлоруксусной кислоты при обычной температуре нестойки [1, 2].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в любых растворах хлоруксусной кислоты при обычной температуре обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии $<0,1$ — $0,5$ мм/год) [3, 148]. В 50%-ной кислоте сплавы корродируют со скоростью менее 0,5 мм/год при температуре до 100°C ,

в 70—80%-ной кислоте — при температуре до 75 °С, в 100%-ной кислоте — при температуре до 120 °С (возможна питтинговая коррозия) [3, 40, 148].

Никель и сплавы никеля. Никель в любых растворах хлоруксусной кислоты удовлетворительно стоек до 100 °С (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) [1, 3, 44], в расплаве кислоты при 65 °С — стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40].

Монель-металлы в любых растворах хлоруксусной кислоты при обычной температуре корродирует со скоростью 0,1—1 мм/год, при 100 °С — нестойк [1, 148]. По данным работы [3], в кислоте концентрацией 10—90% при температуре до 75 °С монель-металл корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год, в 100%-ной кислоте при температуре до 125 °С — со скоростью 0,5—1,3 мм/год.

Сплавы Н70МФВ, ХН65МВУ в любых растворах хлоруксусной кислоты удовлетворительно стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,1—0,5 мм/год) [1, 3, 44, 148], при более высокой температуре — нестойки [1].

Медь и медные сплавы. Медь, бронза, латунь в растворах хлоруксусной кислоты при обычной температуре обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) [1, 45, 61, 148], при температуре 100 °С и выше — нестойки [1, 148]. Согласно работе [3], медь и латунь нестойки при обычной температуре.

Титан в любых растворах хлоруксусной кислоты стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры 100 °С [3, 39, 40] (по другим данным [44, 148] — до температуры кипения). В разбавленной (10%) кислоте при 100 °С скорость коррозии титана 0,05—0,5 мм/год [3].

Цирконий в 30%-ной кислоте стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 80 °С [3, 10], в 100%-ной кислоте — до 100 °С [3, 194] (по данным работы [10], до температуры кипения).

Другие металлы. Тантал, серебро, платина, золото в любых растворах хлоруксусной кислоты стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 40, 44, 45], алюминий, свинец, цинк нестойки при обычной температуре [1, 3, 40, 61, 148].

Дихлоруксусная кислота — CHCl_2COOH

Дихлоруксусная кислота при обычных условиях — бесцветная жидкость с температурой кристаллизации 13,5 °С и температурой кипения 194,4 °С (с разложением). При давлении 400 мм рт. ст. температура кипения кислоты 173,7 °С; при 100 мм рт. ст. — 134,0 °С; при 10 мм рт. ст. — 81,0 °С. Кислота растворима в воде ($K = 5 \cdot 10^{-2}$ при 18 °С), этиловом спирте, эфире.

Металлы и сплавы в дихлоруксусной кислоте обладают следующей стойкостью.

Высоколегированные стали. Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т, Х23Н13, Х23Н18 в разбавленной (10%) дихлоруксусной кислоте при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Титан в 100%-ной дихлоруксусной кислоте стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры 100 °С [3, 10, 39, 46] (по данным работы [83] — до температуры кипения).

Цирконий в 100%-ной дихлоруксусной кислоте при температуре ниже 100 °С корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3, 68] (по данным работы [10] — со скоростью до 1,3 мм/год).

Тантал в 100%-ной дихлоруксусной кислоте сохраняет стойкость до температуры 210 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Трихлоруксусная кислота — СС13СООН

Трихлоруксусная кислота при обычных условиях представляет собой гигроскопичные кристаллы с температурой плавления 58 °С и температурой кипения 197,6 °С (175,2 °С при 400 мм рт. ст.; 137,8 °С при 100 мм рт. ст.; 88,2 °С при 10 мм рт. ст.). Кислота хорошо растворима в воде (54,6% при 20 °С), этиловом спирте, эфире. Трихлоруксусная кислота является весьма сильной кислотой ($K = 2 \cdot 10^{-1}$ при 25 °С). При кипячении с водой из-за разрыва связи С—С в молекуле кислоты образуются хлороформ и диоксид углерода.

Металлы и сплавы в трихлоруксусной кислоте обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в любых растворах трихлоруксусной кислоты при температуре до 100 °С нестойки [1—3, 148, 277]. В расплаве кислоты при 120 °С углеродистые стали нестойки [148].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в любых растворах трихлоруксусной кислоты при температуре ниже 100 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 3, 277].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в трихлоруксусной кислоте концентрацией 10—90% при обычной температуре нестойки [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х28 при обычной температуре стойки в любых растворах трихлоруксусной кислоты (скорость коррозии <0,1 мм/год) [4, 61, 148, 150] (по другим данным [1, 2, 88] — нестойки).

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т в растворах трихлоруксусной кислоты концентрацией до 55% стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) при обычной температуре [4, 61, 148, 150] (по данным справочника [1], стойки до температуры кипения). По другим данным, такие стали в растворах трихлоруксусной кислоты нестойки как при обычной температуре [3, 277], так и при температуре кипения [2, 148]. Кроме того, такие стали могут подвергаться питтинговой коррозии [2].

Стали типа Х17Н13М2Т в растворах трихлоруксусной кислоты концентрацией до 55% при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 2, 4, 150] (по данным работы [3] — нестойки), при температуре кипения — нестойки [2, 148]. В расплаве кислоты при 120 °С стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т корродируют со скоростью более 0,6—0,9 мм/год [2, 148].

Двухфазная сталь 08Х22Н6Т в любых растворах трихлоруксусной кислоты при обычной температуре стойка (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в растворах трихлоруксусной кислоты концентрацией до 55% при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [2, 148] (по другим данным [1], нестойки). Согласно данным работы [3], в 10%-ной кислоте сплавы корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год. При температуре кипения в растворах кислоты концентрацией до 55% и в расплаве кислоты при 120 °С сплавы нестойки [2, 148]. Кроме того, сплавы могут подвергаться питтинговой коррозии [2].

Никель и сплавы никеля. Никель в растворах трихлоруксусной кислоты при температуре до 100 °С корродирует со скоростью 0,1—1,3 мм/год [1, 3], в расплаве кислоты при 120 °С — со скоростью более 0,5 мм/год [148].

Монель-металл в растворах трихлоруксусной кислоты концентрацией до 55% при обычной температуре корродирует со скоростью 0,1—1 мм/год, при температуре выше 100 °С — нестойк [1, 148].

Сплавы Н70МФВ, ХН65МВУ в растворах трихлоруксусной кислоты концентрацией менее 55% при обычной температуре разрушаются со скоростью до 0,5 мм/год [1, 2, 148], при температуре ниже 60—80 °С — со скоростью до 1 мм/год [1, 148, 285], при 100 °С — нестойки [1, 112, 148].

Сплав ХН78Т в расплаве кислоты при 120 °С корродирует со скоростью менее 1,2 мм/год [148].

Медь и медные сплавы. Медь, бронза, латунь в растворах трихлоруксусной кислоты концентрацией до 55% при обычной температуре обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии <1 мм/год), при температуре кипения — нестойки [1, 148, 277].

Титан при температуре ниже 100 °С в растворах трихлоруксусной кислоты концентрацией до 55% стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3], при концентрации 80—100% — нестойк [3, 83, 194]. В расплаве кислоты при температуре 120—180 °С титан стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) [148].

Цирконий в 100%-ной кислоте при температуре до 100 °С и в 20%-ной кислоте при обычной температуре нестойк [3, 46, 131, 148].

Другие металлы. В растворах трихлоруксусной кислоты концентрацией до 55% тантал стоек до 100 °С, серебро — до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 148]. Алюминий, свинец в любых растворах трихлоруксусной кислоты при обычной температуре нестойки [1, 3, 148, 277]. Алюминий нестойк в расплаве кислоты при 120 °С [148].

40.45. Циануксусная кислота — NCCH_2COOH

Циануксусная кислота при обычных условиях — гигроскопичные кристаллы с температурой плавления 70,9 °С. Температура кипения кислоты 108 °С при давлении 15 мм рт. ст. При нагреве до 160—165 °С циануксусная кислота разлагается (теряет CO_2 и превращается в ацетонитрил). Кислота растворима в воде, этиловом спирте, эфире.

По данным работы [3], коррозионное поведение металлических материалов в циануксусной кислоте характеризуется следующим образом.

Углеродистые стали при обычной температуре в 100%-ной циануксусной кислоте обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,5—1,3 мм/год).

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в 100%-ной циануксусной кислоте при обычной температуре стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

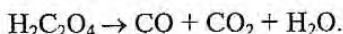
Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в 100%-ной циануксусной кислоте при обычной температуре корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Алюминий при обычной температуре в 100%-ной циануксусной кислоте разрушается со скоростью 0,05—0,5 мм/год, в 90%-ной кислоте — нестойк.

Другие металлы. Титан, цирконий, серебро в 100%-ной циануксусной кислоте сохраняют стойкость до температуры 100 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год). Медь, латунь, свинец в такой кислоте при обычной температуре нестойки.

40.46. Щавелевая кислота — НООС—СООН

Щавелевая (этандиовая) кислота — простейшая двухосновная насыщенная кислота. В обычных условиях безводная щавелевая кислота представляет собой гигроскопичные кристаллы, плавящиеся при температуре 180 °С. Обычно щавелевая кислота кристаллизуется с двумя молекулами воды ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) в твердое вещество с температурой плавления 101,5 °С. При нагреве выше 30 °С кристаллогидрат теряет воду, а при температуре выше 125 °С происходит возгонка кислоты с разложением:



Быстрый нагрев щавелевой кислоты сопровождается отщеплением CO_2 и образованием муравьиной кислоты.

Щавелевая кислота хорошо растворима в воде (8,7% при 20 °С; 23,9% при 50 °С; 45,8% при 80 °С; 54,5% при 100 °С), в этиловом спирте (19,4% при 15 °С), плохо растворима в эфире (1,4% при 15 °С). В водных растворах щавелевая кислота проявляет сильные кислотные свойства ($K_1 = 5,9 \cdot 10^{-2}$; $K_2 = 6,4 \cdot 10^{-5}$ при 25 °С). Кислота является восстановителем и легко окисляется.

С увеличением концентрации растворов и повышением температуры агрессивность щавелевой кислоты растет, и многие металлы при этом подвергаются сильной коррозии. Области применения металлических материалов в зависимости от температуры и концентрации щавелевой кислоты ориентировочно показаны на рис. 40.13.

Металлы и сплавы в щавелевой кислоте обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали при обычной температуре в растворах щавелевой кислоты любой концентрации (до насыщенной) обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,2—0,6 мм/год) [40, 43, 260, 262]. По другим данным [1, 3, 277], углеродистые стали и серые чугуны в таких условиях нестойки.

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 при обычной температуре в растворах щавелевой кислоты любой концентрации (до насыщенной) стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 43, 260, 277], при температуре до 100 °С — корродируют со скоростью 0,1—1 мм/год [1, 3, 4, 8]. Кремнистые чугуны ЧС15М4, ЧС17М3 в таких растворах как при обычной температуре, так и при температуре 100 °С нестойки [43, 46]. Согласно работам [40, 44, 45], все кремнистые чугуны в любых растворах щавелевой кислоты стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год).

Хромистые чугуны ЧХ28, ЧХ32 при обычной температуре в растворах щавелевой кислоты любой концентрации (до насыщенной) стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год), при 100 °С в кислоте концентрацией 10% — корродируют со скоростью до 1 мм/год, в 25—50%-ной кислоте — нестойки [4, 43, 46, 260].

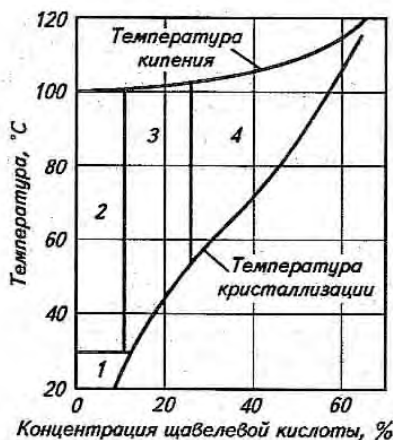


Рис. 40.13. Области применения металлических материалов в щавелевой кислоте:

1 — углеродистая сталь; кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; чугун «ниррезист» (<5%); стали типа X13 (до 5%), X17—X28, X18H10T, X17H13M2T; стали 08X22H6T; 08X21H6M2T; 03X21H21M4ГБ; 02X21H25M5ДБ; 10X13Г18Д; 10X14Г14H4T; 08X18Г18H2T; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН40МДБ-ВИ; ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металл; медь; бронза; латунь; алюминий; сплавы типа АМц, АМг, силумин; титан; сплав титана 4201; цирконий; тантал; серебро; платина; золото; 2 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; хромистый чугун ЧХ28, ЧХ32; стали типа X18H10T (до 50 °С), X17H13M2T (до 70 °С); стали 08X22H6T (до 100 °С); 08X21H6M2T; 03X21H21M4ГБ; 02X21H25M5ДБ; 10X13Г18Д (до 50 °С); 10X14Г14H4T; 08X18Г18H2T (до 80 °С); сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН40МДБ-ВИ; ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ; никель (до 70 °С); монель-металл; медь; бронза; латунь; сплав титана 4201 (до 80 °С); цирконий; тантал; серебро; платина; золото; 3 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; стали типа X17H13M2T (до 100 °С); стали 02X21H25M5ДБ, 10X14Г14H4T, 08X18Г18H2T (до 80 °С); сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН40МДБ-ВИ; ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ; монель-металл; медь; бронза, латунь (до 80 °С); цирконий (до 25%); тантал; серебро; платина; золото; 4 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; стали типа X17H13M2T (до 100 °С); сталь 08X18Г18H2T (до 80 °С); сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН40МДБ-ВИ; ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ; монель-металл; тантал; платина; золото

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в щавелевой кислоте концентрацией 10—50% стойки до 100 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3]. Чугуны типа ниррезист при обычной температуре в щавелевой кислоте концентрацией 5% корродируют со скоростью менее 0,5 мм/год [4], при повышенной температуре в любых растворах — нестойки [45].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X13 при обычной температуре обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) в щавелевой кислоте концентрацией до 3—5% [112, 260] (по другим данным [4, 88, 150], до насыщенной концентрации). Согласно работам [1, 43, 112, 277], при увеличении концентрации до насыщенной или при повышении температуры до 40 °С такие стали нестойки. Стали типа X17—X28 при обычной температуре в растворах щавелевой кислоты любой концентрации (до насыщенной) удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—1 мм/год), при температуре выше 80—100 °С — нестойки [1, 2, 88, 150].

Хромоникелевые стали типа X18H10T при обычной температуре в растворах щавелевой кислоты любой концентрации (до насыщенной) корродируют

со скоростью менее 0,1 мм/год [4, 43, 45, 150] (по другим данным [3, 40, 112, 277], со скоростью до 0,1—1 мм/год). При температуре 80—100 °С в кислоте концентрацией до 10% стали удовлетворительно стойки (скорость коррозии до 0,3—2 мм/год) [1, 2, 286], в 25—50%-ной кислоте — нестойки [1—3].

Стали типа X17H13M2T в растворах щавелевой кислоты концентрацией менее 10% стойки до температуры 50—80 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 45, 88, 286], в 10—50%-ной кислоте — удовлетворительно стойки до 100 °С (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) [2, 3, 8, 260]. При температуре кипения в любых растворах кислоты такие стали нестойки [1, 2, 40, 88] (по данным работ [3, 45, 102], скорость коррозии <1 мм/год).

Двухфазная сталь 08X22H6T в разбавленной (<10%) щавелевой кислоте обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,1—0,6 мм/год) до температуры 100 °С, сталь 08X21H6M2T — до температуры кипения [1, 15, 255]. В щавелевой кислоте концентрацией 10—50% такие стали нестойки [2, 15, 112].

Сталь 03X21H21M4ГБ в кислоте концентрацией до 10% стойка до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [270]. Сталь 2RK65 (типа 02X21H25M5ДБ) в щавелевой кислоте концентрацией менее 10% стойка (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения, при концентрации 10—40% — до температуры 80—90 °С (рис. 40.14).

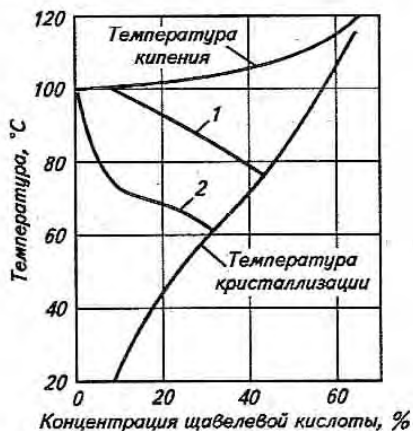


Рис. 40.14. Линии постоянной скорости коррозии (0,1 мм/год) нержавеющей сталей в растворах щавелевой кислоты:

1 — 2RK65 (типа 02X21H25M5ДБ), 2 — 316L (типа 03X17H14M2) [данные Sandvik Steel]

Хромомарганцевая сталь 10X14АГ15 при температуре ниже 50 °С сохраняет стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год) только в очень разбавленной (1%) щавелевой кислоте, сталь 10X13Г18Д — в кислоте концентрацией до 15% (скорость коррозии 0,1—0,2 мм/год) [15, 261]. Сталь 10X14Г14Н4Т в щавелевой кислоте концентрацией до 30% стойка при температуре ниже 80 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [2]. Сталь 08X18Г18Н2Т в кислоте концентрацией до 50% при температуре ниже 80 °С корродирует со скоростью менее 0,5 мм/год, в кислоте концентрацией до 20% при температуре кипения — со скоростью менее 1—1,2 мм/год [2, 15].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в любых растворах щавелевой кислоты удовлетворительно стойки до температуры кипения (скорость коррозии менее 0,1—1 мм/год) [3, 8, 40, 45].

Сплав типа ХН40МДБ при температуре кипения в кислоте концентрацией до 10% корродирует со скоростью менее 0,1 мм/год, при концентрации кислоты 10—50% — со скоростью менее 0,5 мм/год [10].

Никель и сплавы никеля. Никель в растворах щавелевой кислоты концентрацией до 8,7% при обычной температуре корродирует со скоростью менее 0,1 мм/год, при температуре 100 °С — со скоростью 0,1—1 мм/год [1, 4, 43, 44], в более концентрированной (10—50%) кислоте при 100 °С — нестойк [3].

Монель-металл в любых растворах щавелевой кислоты до температуры кипения корродирует со скоростью менее 0,1 мм/год [3, 45] (по другим данным [1, 40, 68] — до 1 мм/год).

Никельмолибденовые сплавы ХН65МВУ, Н70МФВ в любых растворах щавелевой кислоты стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 2, 40, 112] (по данным работ [3, 44, 83], при температуре кипения скорость коррозии до 1 мм/год). В 100%-ной кислоте при температуре до 100 °С сплавы корродируют со скоростью менее 0,5 мм/год [3].

Нихром (15—22% Cr, 6—8% Fe) в любых растворах щавелевой кислоты стоек до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [4, 40, 46, 260]. По данным работы [3], при температуре 100 °С скорость коррозии нихрома достигает 0,5—1,3 мм/год.

Медь и медные сплавы. Медь, бронза, латунь в любых растворах щавелевой кислоты обладают удовлетворительной стойкостью до температуры кипения (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) [1, 3, 40, 45]. В 100%-ной кислоте при температуре 100 °С медь и латунь нестойки [3].

Алюминий в растворах щавелевой кислоты любой концентрации (до насыщенной) при обычной температуре корродирует со скоростью менее 0,1 мм/год [1, 3, 4, 43] (по другим данным [8, 40, 59] — 0,2—0,6 мм/год), при 70—80 °С — нестойк [1, 4, 40, 43]. В 10—20%-ной кислоте при температуре 100 °С алюминий корродирует со скоростью 0,5—1,3 мм/год, в 30—50%-ной кислоте — нестойк [3, 8].

Сплавы типа АМц, АМг, силумины при обычной температуре в растворах щавелевой кислоты любой концентрации (до насыщенной) удовлетворительно стойки (скорость коррозии менее 0,1—0,4 мм/год) [4, 46, 194, 260].

Титан и сплавы титана. Титан в растворах щавелевой кислоты любой концентрации (до насыщенной) при обычной температуре стоек (скорость коррозии <0,1—0,2 мм/год) [1, 4, 40, 83], при температуре выше 40—60 °С — нестойк [1, 68, 83, 260] (по данным работы [3], удовлетворительно стоек до 100 °С). При температуре кипения в разбавленных растворах щавелевой кислоты титан корродирует со скоростью 0,1—0,25 мм/год, в концентрированных растворах — со скоростью 0,25 мм/год [64].

Сплав 4200 в очень разбавленной (1%) щавелевой кислоте при температуре кипения нестойк (скорость коррозии до 1,2 мм/год) [39, 81].

Сплав 4201 при обычной температуре в растворах щавелевой кислоты любой концентрации (до насыщенной) корродирует со скоростью менее 0,1 мм/год, при температуре кипения — со скоростью 0,2—0,7 мм/год [39, 46, 81, 83].

Цирконий в щавелевой кислоте концентрацией до 25% при температуре кипения корродирует со скоростью менее 0,1 мм/год [3, 5, 10, 83] (по другим данным [43, 46] — до 0,3 мм/год). По данным работы [64], цирконий при температуре кипения стоек в любых растворах щавелевой кислоты (скорость коррозии 0,06 мм/год).

Ниобий в любых растворах щавелевой кислоты при температуре до 100 °С корродирует со скоростью менее 0,01 мм/год [43, 46, 112] (по данным работы [4] — со скоростью до 0,4 мм/год).

Серебро в щавелевой кислоте любой концентрации до температуры кипения корродирует со скоростью менее 0,1 мм/год [3, 40] (по данным справочника [45], со скоростью до 1,3 мм/год).

Другие металлы. Тантал, платина, золото в любых растворах щавелевой кислоты стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [3, 40, 45, 64, 83], молибден — при обычной температуре [46, 83]. Свинец, цинк в любых растворах щавелевой кислоты при обычной температуре неприменимы [1, 43, 46, 277].

40.47. Яблочная кислота — $\text{HOOCCH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{COOH}$

Яблочная (оксиянтарная, 2-оксибутандиовая) двухосновная оксикарбоновая кислота при обычных условиях представляет собой бесцветные кристаллы с температурой плавления 98—99 °С. Кислота очень хорошо растворима в воде, этиловом спирте, плохо растворима в эфире (7,7% при 20 °С). Водные растворы кислоты концентрацией менее 34% вращают плоскость поляризации влево, более концентрированные растворы — вправо. Неактивная (рацематная) кислота плавится при температуре 128 °С.

При нагреве до 140—150 °С яблочная кислота теряет молекулу воды и переходит в фумаровую и малеиновую кислоты. Быстрый нагрев до 180 °С приводит к образованию малеинового ангидрида.

Металлы и сплавы в яблочной кислоте обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали при обычной температуре в растворах яблочной кислоты любой концентрации нестойки [1—3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в 100%-ной яблочной кислоте стойки до 100 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х28 в яблочной кислоте концентрацией до 50% при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год), при температуре выше 50 °С — нестойки [1, 2, 150, 194].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в растворах яблочной кислоты концентрацией менее 50% стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [1, 2, 150] (по данным работы [112], до 100 °С; по другим данным [3, 62, 194] — до 50 °С). В кислоте концентрацией менее 10% при температуре ниже 100 °С и в 100%-ной кислоте до 50 °С скорость коррозии сталей не превышает 0,05 мм/год [3].

Двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т в растворах яблочной кислоты стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 2].

Сталь 08Х18Г18Н2Т в яблочной кислоте концентрацией 5% при температуре 80 °С корродирует со скоростью менее 0,1 мм/год, сталь 10Х14Г14Н4Т — нестойка [2, 15].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в растворах яблочной кислоты концентрацией до 10% при температуре ниже 100 °С корродируют

со скоростью менее 0,05 мм/год, при концентрации 20—100% и температуре ниже 75 °С — со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Никель и сплавы никеля. Никель при температуре ниже 100 °С в растворах яблочной кислоты концентрацией менее 10% и в 100%-ной кислоте обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии до 0,2—0,5 мм/год) [3, 46, 194].

Монель-металлы в растворах яблочной кислоты стоек до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 3, 5], в 100%-ной кислоте — удовлетворительно стоек до 100 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Никельмолибденовые сплавы типа Н70МФВ в 100%-ной яблочной кислоте при температуре ниже 100 °С разрушаются со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Нихром (15—22% Cr, 6—8% Fe) в разбавленной (10%) яблочной кислоте при температуре ниже 100 °С корродирует со скоростью менее 0,5 мм/год [3, 5, 68].

Медь и медные сплавы. Медь в 100%-ной яблочной кислоте удовлетворительно стойка до температуры 100 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Мельхиор в кислоте концентрацией 5% при обычной температуре обладает высокой стойкостью (скорость коррозии <0,02 мм/год) [5].

Алюминий в растворах яблочной кислоты концентрацией до 50% при обычной температуре корродирует со скоростью менее 0,5 мм/год, при 100 °С — со скоростью 0,5—1,3 мм/год [1, 3, 46, 194]. В 100%-ной кислоте при температуре до 100 °С скорость коррозии алюминия 0,05—0,5 мм/год [3].

Титан в растворе яблочной кислоты концентрацией 10% и в 100%-ной кислоте стоек до 100 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3, 39]. В растворах кислоты концентрацией менее 50% при температуре 90 °С титан корродирует со скоростью менее 0,2 мм/год [1].

Другие металлы. Тантал при температуре до 100 °С в растворах яблочной кислоты концентрацией до 70% и в растворах концентрацией 90—100% стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Цирконий в 100%-ной яблочной кислоте при температуре ниже 100 °С корродирует со скоростью менее 0,05 мм/год, свинец и серебро — со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3]. Цинк при обычной температуре в любых растворах яблочной кислоты нестойк [68], олово стойко в очень разбавленных (<1%) растворах (скорость коррозии <0,01 мм/год) [46, 62, 68, 194].

40.48. Янтарная кислота — $\text{HOOC}(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$

Янтарная (бутандионовая, этан-1,2-дикарбоновая) двухосновная насыщенная кислота, при обычных условиях — бесцветное кристаллическое вещество с температурой плавления 183 °С. При температуре 130—140 °С кислота легко возгоняется, выше 235 °С — разлагается с отщеплением воды и образованием янтарного ангидрида.

Янтарная кислота хорошо растворима в воде (6,9% при 20 °С; 19,6% при 50 °С; 41,5% при 80 °С; 54,8% при 100 °С), в этиловом спирте (6,5% при 20 °С), труднорастворима в эфире (1,2% при 15 °С). В водных растворах янтарная кислота проявляет кислотные свойства (при 25 °С $K_1 = 6,65 \cdot 10^{-5}$; $K_2 = 2,6 \cdot 10^{-6}$).

Металлы и сплавы в янтарной кислоте обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали при обычной температуре в растворах янтарной кислоты любой концентрации (до насыщенной) обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) [1], при температуре кипения — нестойки [2]. В растворах концентрацией до 50% при температуре ниже 100 °С углеродистые стали и серые чугуны корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3]. В 100%-ной кислоте углеродистые стали удовлетворительно стойки до 210 °С (скорость коррозии менее 0,5 мм/год) [3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 при обычной температуре в растворах янтарной кислоты любой концентрации (до насыщенной) корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [1], в растворах концентрацией до 50% при температуре ниже 100 °С — со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3]. Никелевые чугуны (14—32% Ni) в янтарной кислоте ведут себя аналогично кремнистым чугунам [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13 при обычной температуре в растворах янтарной кислоты любой концентрации (до насыщенной) стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т при температуре ниже 100 °С в растворах янтарной кислоты концентрацией до 50% и в 100%-ной кислоте корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3]. По данным работ [1, 2, 15], стали в любых растворах янтарной кислоты стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год). В расплаве кислоты стали типа Х18Н10Т нестойки [256], стали типа Х17Н13М2Т — удовлетворительно стойки (скорость коррозии около 0,5 мм/год) [254].

Двухфазная сталь 08Х21Н6М2Т в любых растворах янтарной кислоты стойка до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [2, 15].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ при обычной температуре в растворах янтарной кислоты любой концентрации (до насыщенной) корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [1], в растворах концентрацией до 50% при температуре ниже 100 °С — со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл, сплавы типа ХН65МВУ, Н70МФВ, нихром (15—22% Сг, 6—8% Fe) при температуре ниже 100 °С в растворах янтарной кислоты концентрацией до 50% и в 100%-ной кислоте корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Медь и медные сплавы. Медь в растворах янтарной кислоты концентрацией менее 50% при температуре до 100 °С и в 100%-ной кислоте при температуре до 210 °С обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии <0,5 мм/год) [3]. По данным работы [1], медь и медные сплавы применимы в янтарной кислоте до 280—290 °С.

Алюминий в растворах янтарной кислоты концентрацией менее 10% при температуре до 75 °С корродирует со скоростью 0,1—0,5 мм/год [3, 10, 262], при 100 °С — со скоростью 0,5—1,3 мм/год [3] (по другим данным [1], менее 0,1 мм/год). В растворах концентрацией 20—50% при температуре 100 °С алюминий нестойк [3]. В 100%-ной кислоте при обычной температуре скорость коррозии алюминия 0,05—0,5 мм/год [3]. По данным справочника [1], в расплаве янтарной кислоты алюминий стоек.

Свинец при обычной температуре в растворах янтарной кислоты любой концентрации (до насыщенной) стоек (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1, 2]. В растворах кислоты концентрацией 10—50% при температуре до 100°C и в 100%-ной кислоте при температуре до 150°C свинец корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Титан при обычной температуре в растворах янтарной кислоты любой концентрации (до насыщенной) корродирует со скоростью менее 0,1 мм/год [1], при температуре 90°C — со скоростью до 0,2 мм/год [2]. В растворах концентрацией 10—50% и в 100%-ной кислоте титан сохраняет стойкость до температуры 150°C (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [3].

Цирконий в растворах янтарной кислоты концентрацией 10—50% и в 100%-ной кислоте стоек до температуры 150°C (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [3].

Серебро при обычной температуре в растворах янтарной кислоты любой концентрации (до насыщенной) стойко (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1, 2]. В растворах кислоты концентрацией 10—50% и в 100%-ной кислоте при температуре ниже 100°C серебро корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Другие металлы. Тантал при обычной температуре в растворах янтарной кислоты любой концентрации (до насыщенной) обладает очень высокой стойкостью (скорость коррозии $<0,001$ мм/год) [1, 2], цинк — нестойк [2].

ГЛАВА 41. СМЕСИ ОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ

41.1. Гуминовые кислоты

Гуминовые кислоты — сложная смесь природных органических соединений разного состава, свойств и строений. Гуминовые кислоты образуются при биохимическом превращении продуктов разложения органических остатков в гумус. Торф содержит 10—50% гуминовых кислот, бурый уголь — 35—70%, почва — 10%.

В сухом состоянии гуминовые кислоты — неплавкий аморфный порошкообразный продукт темно-бурого цвета. Гуминовые кислоты легко образуют коллоидные растворы, набухают и пептизируются в воде, щелочных растворах и др.

Гуминовые кислоты содержат 15—45% фульвокислот, которые придают кислый характер растворам гуминовых кислот, а также гиматомелановые кислоты и гумусовые кислоты. Элементный состав гуминовых кислот: 50—70% углерода, 4—6% водорода и 25—35% кислорода. В химической структуре гуминовых кислот присутствуют фенольные гидроксиды, карбоксильные, карбонильные и ацетогруппы, простые эфирные связи и др.

Металлы и сплавы в гуминовых кислотах обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в гуминовых кислотах в зависимости от содержания воды при температуре от 20°C до температуры кипения разрушаются со скоростью 0,1—10 мм/год и более [1].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в гуминовых кислотах при обычной температуре стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13 и хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в гуминовых кислотах при обычной температуре стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в гуминовых кислотах при обычной температуре стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1].

Никель и сплавы никеля. Никель и никельмолибденовые сплавы типа Н70МФВ в гуминовых кислотах стойки при обычной температуре, монель-металл — при температуре до 100°C (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1].

Медь и медные сплавы. Медь, бронза, латунь при температуре до 100°C в гуминовых кислотах корродируют со скоростью не более $0,1$ мм/год [1, 2].

Титан в гуминовых кислотах стоек до 100°C (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1, 39].

Другие металлы. Серебро, тантал в гуминовых кислотах остаются стойкими (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до 100°C [1].

Свинец при обычной температуре в гуминовых кислотах нестойк [1, 2].

41.2. Жирные кислоты (выше C_6)

Высшие жирные кислоты — природные (насыщенные и ненасыщенные) и синтетические (преимущественно насыщенные) карбоновые кислоты алифатического ряда с числом атомов углерода в молекуле не менее шести. Наиболее распространены кислоты с 10 — 22 атомами углерода в молекуле.

Высшие жирные кислоты ряда C_{10} — C_{22} нерастворимы в воде, растворимы в этиловом спирте и эфире. Эти кислоты отличаются высокой температурой плавления (30 — 80°C) и температурой кипения (270 — 340°C), причем с увеличением относительной молекулярной массы кислоты повышается ее температура кипения.

При температуре выше 260°C происходит разложение высших жирных кислот с образованием более низших кислот (ниже C_5 и даже муравьиной кислоты), обладающих большей агрессивностью по отношению к металлическим материалам. С этим (кроме эффекта от повышения температуры) связано увеличение коррозионной активности высших жирных кислот при большой температуре.

Ниже представлены усредненные данные коррозионного поведения металлов и сплавов в смесях жирных кислот фракций C_5 — C_9 , C_7 — C_9 , C_{10} — C_{13} , C_{10} — C_{16} , C_7 — C_{20} , C_{17} — C_{21} [269, 287, 288].

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали при температуре до 50°C в высших жирных кислотах корродируют со скоростью $0,2$ — $0,4$ мм/год [1, 287], при 70 — 120°C — со скоростью $0,2$ — $0,6$ мм/год [1, 40, 43, 288], при 150°C — нестойки [40].

Серые чугуны в высших жирных кислотах при температуре 70 — 120°C корродируют со скоростью $1,5$ — $1,6$ мм/год [3, 40].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС15М4, ЧС17, ЧС17М3 в жирных кислотах при температуре ниже 300 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [3, 40, 45, 61].

Хромистые чугуны ЧХ25, ЧХ30 сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры 100 °С [40].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в жирных кислотах при температуре до 300 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3], чугуны типа нирезист при 200—300 °С — со скоростью 0,3—1,5 мм/год [40, 68].

Низколегированные стали. Сталь 20Х3МВФ в высших жирных кислотах при температуре до 50 °С стойка (скорость коррозии <0,1 мм/год), в смеси кислот С₇—С₂₀ при 150 °С — нестойка [287]. Сталь 30ХГСА в смеси кислот С₁₆—С₂₀ удовлетворительно стойка при температуре до 100 °С (скорость коррозии <0,5 мм/год) [288].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13 в высших жирных кислотах при температуре до 50 °С корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [88, 287], до 100 °С — со скоростью 0,1—1 мм/год [1, 43, 61, 288], при 200—300 °С — со скоростью 0,7—1,8 мм/год [1, 43, 287, 288]. Хромистые стали типа Х17—Х28 в высших жирных кислотах стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 40, 45]. Стали типа Х25 при температуре 300 °С корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год, но подвергаются локальной коррозии [43].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т в высших жирных кислотах стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 100 °С [1, 40, 45] (по другим данным [3, 4, 287], до 150—230 °С), при температуре до 220—280 °С — удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) [1, 269, 287], при 300—320 °С — нестойки [1, 3, 269]. Согласно работам [40, 88, 287, 288], при температуре до 300—360 °С стали остаются стойкими (скорость коррозии <0,1 мм/год).

Хромоникелевые стали типа Х17Н13М2Т стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры 285—300 °С [1, 3, 269, 288], при 300—340 °С — корродируют со скоростью 0,2—1,9 мм/год [4, 68, 289].

Сталь 03Х21Н21М4ГБ в синтетических жирных кислотах фракций С₅—С₉ и С₁₀—С₁₇ при температуре кипения (263 и 340 °С соответственно) корродирует со скоростью менее 0,1 и 0,3 мм/год [289].

Хромоникелевые стали 20Х23Н13, 20Х23Н18 в высших жирных кислотах при температуре до 100 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [45].

Двухфазная сталь 08Х22Н6Т в высших жирных кислотах при температуре ниже 220 °С корродирует со скоростью 0,1—0,3 мм/год, при 260—280 °С — нестойка [1, 269, 289]. Сталь 08Х21Н6М2Т стойка до 280 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) и удовлетворительно стойка (скорость коррозии 0,5—1 мм/год) — до 300—310 °С [269].

При температуре 300 °С в смесях жирных кислот С₅—С₁₆, С₁₇—С₂₁ стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т и стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т подвержены питтинговой коррозии [1, 269].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в высших жирных кислотах стойки до температуры 285—300 °С (скорость коррозии <0,1—0,5 мм/год) [3, 4, 45]. По данным работы [289], при температуре 340 °С скорость коррозии сплавов 0,3—0,4 мм/год.

Никель и сплавы никеля. Никель в высших жирных кислотах стоек до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [45, 61] и удовлетворительно стоек — до 300—380 °С (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) [3, 40, 61, 68].

Монель-металл стоек до 100 °С (скорость коррозии <0,1—0,5 мм/год) и удовлетворительно стоек — до 200—320 °С (скорость коррозии <1,3 мм/год) [3, 40, 61, 68].

Никельмолибденовые сплавы типа Н70МФВ, ХН65МВУ в высших жирных кислотах стойки до 370 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Сплав ХН78Т в высших жирных кислотах практически не подвергается коррозии при температуре до 300 °С [287]. Сплав никеля, содержащий 16% Сг и 7% Fe, при температуре до 400 °С корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Медь и медные сплавы. Медь в высших жирных кислотах при температуре до 150 °С стойка (скорость коррозии <0,1 мм/год) [287], при 180—250 °С — нестойка [1, 40, 61]. По данным работы [288], в смесях жирных кислот C₇—C₉, C₁₆—C₂₀ медь остается стойкой до 300 °С. В высших жирных кислотах, содержащих до 10% воды, медь стойка до 250 °С [3].

Бронзы в высших жирных кислотах стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) при температуре ниже 200—300 °С [40, 43, 62, 288]. По данным справочника [40], алюминиевые бронзы применимы до 380 °С.

Латуни в высших жирных кислотах стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 150—200 °С [287] (по данным справочника [40], до 300 °С). По данным работы [3], латуни при температуре до 100 °С обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,5—1,3 мм/год). Согласно работам [43, 288], при температуре 300 °С может происходить обесцинкование латуни и увеличение скорости коррозии до 2 мм/год.

Мельхиоры, содержащие 20—30% Ni, в высших жирных кислотах стойки (скорость коррозии <0,1—0,2 мм/год) до 100 °С [68] (по другим данным [3, 40], до 250 °С).

Алюминий в высших жирных кислотах, содержащих более 0,1% воды, стоек до 270—340 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40, 45, 61, 287], в безводных кислотах при 230—270 °С — нестойк [1, 4, 40, 68].

Сплавы алюминия типа АМц, силумины стойки до 300 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [45] (по данным работ [4, 40, 287], силумины стойки до температуры кипения, сплавы типа АМг — до 130—150 °С).

Титан в высших жирных кислотах при температуре ниже 300 °С корродирует со скоростью менее 0,05 мм/год [39, 269], при температуре кипения — со скоростью менее 0,1 мм/год [39].

Другие металлы. Серебро в высших жирных кислотах стойко (скорость коррозии <0,1 мм/год) до 300 °С [45, 61] (по данным работ [3, 40], до 400 °С), золото, платина — до 300 °С [3], олово — до 100 °С [40].

Свинец при обычной температуре в аэрированных высших жирных кислотах нестойк [40], в деаэрированных кислотах — стоек [10].

41.3. Муравьиная и щавелевая кислоты

По данным работы [290], в смеси, содержащей 20% муравьиной кислоты и 10% щавелевой кислоты, высоколегированные стали имеют следующую стойкость.

Хромистая сталь 15X25Т остается стойкой до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год).

Хромоникелевая сталь 08X18Н10Т удовлетворительно стойка до 60 °С (скорость коррозии <0,7 мм/год) и нестойка при температуре кипения (скорость коррозии 1,5 мм/год).

Сталь 08X17Н13М2Т сохраняет стойкость до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год).

41.4. Нафтеновые кислоты — $(\text{CH}_2)_4\text{CH}(\text{CH}_2)_n(\text{COOH})_m$

Нафтеновые кислоты относятся к полициклическим карбоновым кислотам, в которых карбоксильная группа присоединена к нафтеновому радикалу через метилен или боковую углеродную цепь. Углеводородный нафтеновый радикал содержит циклопарафиновое кольцо. Нафтеновые кислоты чаще являются одноосновными кислотами с общей формулой $\text{C}_n\text{H}_{n-1}\text{COOH}$. Основная часть нафтеновых кислот — циклопентанкарбоновая кислота и ее гомологи.

При нормальных условиях нафтеновые кислоты представляют собой вязкие бесцветные жидкости, желтеющие со временем. Температура кипения нафтеновых кислот от 214 до 300 °С (55—64 °С при 20 мм рт. ст.), при температуре ниже —80 °С они застывают. Нафтеновые кислоты нерастворимы в воде, но растворимы в органических растворителях, особенно в углеводородах. В химическом отношении нафтеновые кислоты обладают всеми свойствами, характерными для карбоновых кислот.

Более агрессивными являются нафтеновые кислоты с меньшей молекулярной массой и меньшим числом циклических структур в молекуле [291]. На коррозионное поведение металлических материалов в нафтеновых кислотах большое влияние оказывают температура и скорость движения [292].

Металлы и сплавы в нафтеновых кислотах обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали в нафтеновых кислотах при температуре ниже 215 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год, при 250 °С — со скоростью 0,5—1,3 мм/год, выше 300 °С — нестойки [3]. По данным работы [292], углеродистые стали в нафтеновых кислотах нестойки при температуре 220—400 °С.

Серые чугуны в нафтеновых кислотах при обычной температуре стойки (скорость коррозии 0,2 мм/год) [4], при температуре ниже 215 °С — корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год, при 250 °С — со скоростью 0,5—1,3 мм/год [3].

Высоколегированные чугуны. Легированные чугуны не имеют преимуществ в коррозионной стойкости в нафтеновых кислотах перед нелегированными чугунами [292].

Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в нафтеновых кислотах стойки при температуре до 100 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) и чугуны типа нирезист в нафтеновых кислотах при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,3 мм/год) [4], при температуре до 215 °С — корродируют со скоростью менее 0,5 мм/год, при 250 °С — нестойки [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X13 в нефтяных кислотах обладают меньшей стойкостью, чем углеродистые стали [292].

Хромоникелевые стали типа X18H10T в нефтяных кислотах при температуре ниже 250 °C стойки (скорость коррозии <0,1—0,5 мм/год), при температуре 300 °C — обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,5—1,3 мм/год), при 350 °C — нестойки [3, 8]. По данным работы [292], стали в нефтяных кислотах сохраняют стойкость (скорость коррозии 0,04 мм/год) при температуре до 300 °C. Стали типа X18H10T в нефтяных кислотах могут подвергаться питтинговой, межкристаллитной коррозии и коррозионному растрескиванию [3, 292].

Стали типа X17H13M2T в нефтяных кислотах сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,05 мм/год) до 215 °C, при температуре 250—300 °C — корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год, при 350 °C — со скоростью 0,5—1,3 мм/год [3].

По данным работ [4, 36, 43], в нефтяных кислотах при температуре до 300 °C скорость коррозии сталей типа X18H10T, X17H13M2T менее 0,05 мм/год.

Сплавы на железоникелевой основе типа XH28MDT в нефтяных кислотах при температуре до 215 °C стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год), при 215—350 °C — корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Никель и сплавы никеля. Никель в деаэрированных нефтяных кислотах, не содержащих соединений серы, при обычной температуре обладает высокой стойкостью (скорость коррозии <0,01 мм/год) [4], при температуре ниже 300 °C — корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год, при 350 °C — нестойк [3].

Монель-металл в деаэрированных нефтяных кислотах, не содержащих соединений серы, при обычной температуре корродирует со скоростью менее 0,03 мм/год [4], при температуре ниже 215 °C — со скоростью 0,05—0,5 мм/год, при 300—350 °C — нестойк [3].

Никельмолибденовый сплав XH65MB в нефтяных кислотах удовлетворительно стойк до 300 °C (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год), сплав H70MFV стойк до 350 °C (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Нихром (15—22% Cr, 6—8% Fe) в нефтяных кислотах при обычной температуре обладает высокой стойкостью (скорость коррозии <0,02 мм/год) [4], при температуре ниже 300 °C — корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Медь и медные сплавы. Медь в нефтяных кислотах обладает высокой стойкостью до 300 °C (скорость коррозии 0,02 мм/год) [36]. В деаэрированных нефтяных кислотах при обычной температуре скорость коррозии меди 0,05—0,5 мм/год, при 250—350 °C — более 1,3 мм/год [3].

Бронза кремнистая в нефтяных кислотах обладает высокой стойкостью до 100 °C (скорость коррозии 0,03 мм/год) [36, 43].

Латунь в нефтяных кислотах удовлетворительно стойка (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) при обычной температуре и нестойка при температуре 250 °C [3].

По данным работы [292], медь и медные сплавы в нефтяных кислотах подвержены коррозии при температуре ниже 150 °C.

Алюминий во влажных нефтяных кислотах удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) при температуре ниже 350 °С [3, 8]. Силумин в таких условиях сохраняет стойкость до температуры кипения (скорость коррозии <0,06 мм/год) [4]. Дуралюмины неприменимы в нефтяных кислотах [292].

Свинец при обычной температуре в нефтяных кислотах нестойк [3].

41.5. Олеиновая, пальмитиновая и стеариновая кислоты

Олеиновая, пальмитиновая и стеариновая кислоты — одноосновные карбоновые кислоты из ряда высших жирных кислот. Температура плавления олеиновой кислоты 14—16 °С, температура кипения 360 °С; пальмитиновой кислоты — соответственно 62—64 и 353,8 °С; стеариновой кислоты — 69,3 и 370 °С. Все кислоты практически нерастворимы в воде.

Свойства указанных кислот близки, и частичная или полная замена одной кислоты на другую мало сказывается на коррозионной активности смеси. Для ориентировочной оценки коррозионного поведения металлических материалов в смеси указанных кислот можно использовать данные, представленные для жирных кислот (см. п. 41.2).

Металлы и сплавы в смеси олеиновой, пальмитиновой и стеариновой кислот имеют следующую коррозионную стойкость.

Углеродистые стали и серые чугуны в смеси олеиновой, пальмитиновой и стеариновой кислот при обычной температуре удовлетворительно стойки [1, 40].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X17 в смеси указанных кислот обладают высокой стойкостью до 80 °С (скорость коррозии 0,03 мм/год) [40].

Хромоникелевые стали типа X18H10T, X17H13M2T в смеси таких кислот отличаются высокой стойкостью при температуре до 170 °С (скорость коррозии <0,03 мм/год). Стали типа X17H13M2T в смеси, содержащей 50% олеиновой кислоты, 25% пальмитиновой кислоты и 25% стеариновой кислоты, сохраняют стойкость до 400 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40]. При температуре до 210 °С в смеси олеиновой и стеариновой кислот скорость коррозии сталей типа X18H10T 0,05—0,5 мм/год, сталей типа X17H13M2T — менее 0,05 мм/год [3].

Никель и сплавы никеля. Никель в смеси олеиновой, пальмитиновой и стеариновой кислот при температуре 150—175 °С корродирует со скоростью менее 0,2 мм/год, при температуре 245 °С — со скоростью 0,4 мм/год [40]. В смеси олеиновой и стеариновой кислот при температуре ниже 210 °С скорость коррозии никеля 0,05—0,5 мм/год [3].

Монель-металл в смеси, содержащей 50% олеиновой кислоты, 25% пальмитиновой кислоты и 25% стеариновой кислоты, при температуре до 80 °С стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40], в смеси олеиновой и стеариновой кислот при температуре ниже 210 °С — удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Нихром (15—22% Cr, 6—8% Fe) в смеси олеиновой и стеариновой кислот стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) до температуры 210 °С [3] (по данным работы [4] — до температуры кипения).

Серебро в смеси пальмитиновой и стеариновой кислот рекомендуют применять до температуры 330 °С [4].

41.6. Пропионовая и масляная кислоты

Масляная и пропионовая кислоты — одноосновные насыщенные кислоты жирного ряда. Температура плавления масляной кислоты $-5,3^{\circ}\text{C}$, температура кипения $163,5^{\circ}\text{C}$; пропионовой кислоты соответственно $-22,4$ и $141,4^{\circ}\text{C}$. Обе кислоты хорошо растворимы в воде и смешиваются с ней в любых отношениях.

Масляная и пропионовая кислоты являются слабыми кислотами, но кислотные свойства пропионовой кислоты несколько выше, и она является основным агрессивным компонентом смеси. С увеличением содержания пропионовой кислоты и повышением температуры коррозионная активность смеси кислот возрастает, особенно по отношению к сталям без молибдена.

Металлы и сплавы в смеси пропионовой и масляной кислот имеют следующую коррозионную стойкость.

Высоколегированные стали. Хромоникелевые стали типа X18H10T, X17H13M2T в водной смеси, содержащей 95% масляной кислоты и 0,5% пропионовой кислоты, при температуре 50°C обладают высокой стойкостью (скорость коррозии $<0,01$ мм/год) [40]. В смеси 65% пропионовой кислоты и 35% масляной кислоты при температуре $110-150^{\circ}\text{C}$ скорость коррозии сталей типа X18H10T может возрастать до $0,3$ мм/год, стали типа X17H13M2T сохраняют стойкость (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [40, 293]. В смеси, содержащей 95% пропионовой кислоты и 2% масляной кислоты, при температуре $140-165^{\circ}\text{C}$ стали типа X18H10T нестойки, стали типа X17H13M2T остаются стойкими (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [40].

Сталь 03X21H21M4ГБ в смеси 65% пропионовой кислоты и 35% масляной кислоты при температуре 113°C обладает высокой стойкостью (скорость коррозии $<0,01$ мм/год), двухфазная сталь 08X22H6T — корродирует со скоростью до $0,4$ мм/год, сталь 08X21H6M2T — со скоростью менее $0,03$ мм/год [293].

Необходимо учитывать, что нержавеющие стали без молибдена подвергаются неравномерной коррозии [293].

Сплав на железоникелевой основе 06ХН28МДТ в смеси 65% пропионовой кислоты и 35% масляной кислоты при температуре 113°C обладает очень высокой стойкостью (скорость коррозии $<0,006$ мм/год) [293].

Никель в смеси 66% пропионовой кислоты и 34% масляной кислоты при температуре 150°C удовлетворительно стоек (скорость коррозии $0,6$ мм/год) [40].

Титан в смеси 65% пропионовой кислоты и 35% масляной кислоты при температуре 113°C корродирует со скоростью менее $0,002$ мм/год [293].

41.7. Пропионовая, масляная и уксусная кислоты

Смеси пропионовой и масляной кислот могут содержать некоторое количество других кислот (уксусной, муравьиной, янтарной, высококипящих жирных кислот и т.д.). Коррозионная активность таких смесей в первую очередь определяется содержанием в смеси уксусной и муравьиной кислот, а также уровнем температуры.

Металлы и сплавы в смеси пропионовой, масляной и уксусной кислот имеют следующую коррозионную стойкость.

Высоколегированные стали. Хромоникелевые стали типа X18H10T, X17H13M2T в смеси, содержащей 99,5% пропионовой кислоты, 0,3% масляной кислоты и 0,2% уксусной кислоты, при температуре 50 °С обладают высокой стойкостью (скорость коррозии <0,02 мм/год) [40]. В смеси 66% пропионовой кислоты, около 34% масляной кислоты и небольшого количества уксусной кислоты при температуре 150 °С скорость коррозии сталей типа X18H10T может возрастать до 0,3 мм/год, а сталей типа X17H13M2T — до 0,2 мм/год [40].

В смеси, содержащей 5—6% пропионовой кислоты, до 9% масляной кислоты, 43—47% уксусной кислоты и дополнительно 8—9% муравьиной кислоты, при температуре 110—180 °С стали типа X17H13M3T корродируют со скоростью до 0,3—0,6 мм/год, сталь 03X21H21M4ГБ — со скоростью до 0,3 мм/год. Двухфазная сталь 08X21H6M2T в такой смеси остается стойкой (скорость коррозии <0,1 мм/год) [293].

В смеси, содержащей 20% пропионовой кислоты, 57% масляной кислоты, 8% уксусной кислоты и дополнительно около 2% муравьиной кислоты и 35% янтарной кислоты, при температуре 155 °С стали типа X17H13M3T и сталь 03X21H21M4ГБ стойки (скорость коррозии <0,02 мм/год) [293].

Сплав на железоникелевой основе 06ХН28МДТ в смеси 66% пропионовой кислоты, около 34% масляной кислоты и небольшого количества уксусной кислоты при температуре 150 °С стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40].

В смеси, содержащей 5—6% пропионовой кислоты, до 9% масляной кислоты, 43—47% уксусной кислоты и дополнительно 8—9% муравьиной кислоты, при температуре 110—180 °С скорость коррозии сплава может достигать 0,1—0,4 мм/год. В смеси, содержащей 20% пропионовой кислоты, 57% масляной кислоты, 8% уксусной кислоты и дополнительно около 2% муравьиной кислоты и 35% янтарной кислоты, при температуре 155 °С сплав сохраняет высокую стойкость (скорость коррозии <0,005 мм/год) [293].

Никельмолибденовый сплав ХН65МВ в смеси, содержащей 5—6% пропионовой кислоты, до 9% масляной кислоты, 43—47% уксусной кислоты и дополнительно 8—9% муравьиной кислоты, при температуре 110—180 °С отличается высокой стойкостью (скорость коррозии до 0,02 мм/год). В смеси, содержащей 20% пропионовой кислоты, 57% масляной кислоты, 8% уксусной кислоты и дополнительно около 2% муравьиной кислоты и 35% янтарной кислоты, при температуре 155 °С скорость коррозии сплава может возрастать до 0,15 мм/год [293].

Титан во всех указанных выше смесях кислот обладает высокой стойкостью (скорость коррозии менее 0,01 мм/год) [293].

41.8. Уксусная и муравьиная кислоты

Уксусная и муравьиная кислоты — одноосновные насыщенные карбоновые кислоты. Температура плавления уксусной кислоты 16,7 °С, температура кипения 118,1 °С; муравьиной кислоты — соответственно 8,3 и 100,7 °С. Обе кислоты хорошо растворимы в воде и смешиваются в любых отношениях.

Добавка муравьиной кислоты усиливает коррозионную активность смеси, оказывая депассивирующее действие на металлические материалы. Добавление муравьиной кислоты к концентрированной уксусной кислоте сильно

увеличивает коррозию нержавеющей сталей без молибдена и в значительно меньшей степени влияет на разрушение сталей, дополнительно легированных молибденом. На коррозионное поведение титана содержание муравьиной кислоты в смеси с уксусной кислотой влияет незначительно.

Коррозия алюминия сильно возрастает при добавлении муравьиной кислоты, особенно в смеси небольшой концентрации. При этом, как и в уксусной кислоте, коррозионное разрушение алюминия в смеси кислот может протекать как по электрохимическому, так и по химическому механизму. Так, в смеси, содержащей 33% уксусной и 27% муравьиной кислоты, при обычной температуре доля электрохимического механизма коррозии составляет 55%, доля химического механизма — 45% [264].

Металлы и сплавы в смеси уксусной и муравьиной кислот имеют следующую коррозионную стойкость.

Высоколегированные чугуны. Хромистые чугуны ЧХ25, ЧХ30 в смеси уксусной и муравьиной кислот при температуре ниже 100 °С корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [40].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х17 в смеси, содержащей 90% уксусной кислоты и до 5% муравьиной кислоты, при температуре ниже 95 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год), в условиях деаэрации скорость коррозии достигает 0,9—2,3 мм/год [269]. При температуре кипения стали в таких смесях обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,4—1,3 мм/год) [281], в смеси, содержащей 60% уксусной кислоты и 2% муравьиной кислоты, — нестойки [269].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т в смеси, содержащей 5—98% уксусной кислоты и до 5% муравьиной кислоты, при температуре ниже 100 °С корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [257, 269, 294]. По данным работы [270], при температуре 100 °С в 25%-ной уксусной кислоте, содержащей 1,5—4% муравьиной кислоты, скорость коррозии сталей 0,3—0,5 мм/год. При температуре 165 °С в смеси 5% уксусной кислоты и 0,3% муравьиной кислоты стали сохраняют высокую стойкость (скорость коррозии <0,03 мм/год), при увеличении содержания муравьиной кислоты до 5% — становятся нестойкими (скорость коррозии >4 мм/год) [257]. При температуре кипения в смеси 60% уксусной кислоты и до 5% муравьиной кислоты стали нестойки (скорость коррозии 1,1—1,3 мм/год), в концентрированных смесях (90—96% уксусной кислоты и до 5% муравьиной кислоты) — обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,5—1 мм/год) [269, 281]. В 96%-ной уксусной кислоте с добавкой 0,4% муравьиной кислоты стали корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [15].

Деаэрация смесей кислот значительно усиливает коррозию сталей типа Х18Н10Т. Так, в смеси 60—90% уксусной кислоты и до 5% муравьиной кислоты при температуре 95 °С скорость коррозии сталей менее 0,1 мм/год, в условиях деаэрации — 0,6—1,2 мм/год [269, 294].

Хромоникелевые стали типа Х17Н13М2Т в смеси, содержащей 5—98% уксусной кислоты и до 5% муравьиной кислоты, обладают высокой стойкостью при температуре ниже 100 °С (скорость коррозии <0,01 мм/год) и удовлетворительной стойкостью при температуре 140 °С [257]. По данным Sandvik Steel, в разбавленных (<50%) растворах уксусной кислоты, содержащих до 10% му-

равьиной кислоты, при температуре кипения такие стали корродируют со скоростью 0,1—0,4 мм/год, по данным работ [269, 281] такая же скорость коррозии сталей сохраняется в смесях, содержащих 60—96% уксусной кислоты. При добавлении до 25% муравьиной кислоты к 50%-ной уксусной кислоте при температуре кипения скорость коррозии сталей не превышает 0,25 мм/год (рис. 41.1).



Рис. 41.1. Скорость коррозии нержавеющей сталей в 50%-ном растворе уксусной кислоты, содержащем добавки муравьиной кислоты, при температуре кипения:

1—316L (типа 03X17H14M2); 2—317L (типа 03X18H16M3); 3—SAF 2205 (типа 03X24H6AM3); 4—сплав Sanicro 28 (типа XH30MДБ) [данные Sandvik Steel]

В смесях с содержанием уксусной и муравьиной кислот в количестве соответственно 60% + 4% и 66% + 24% стали обладают удовлетворительной стойкостью до 180 °С (скорость коррозии менее 0,4—0,6 мм/год) [293, 295].

Деаэрация смесей кислот оказывает несколько меньшее влияние на коррозию сталей типа X17H13M2T, чем сталей типа X18H10T. Так, в смеси 60—90% уксусной кислоты и до 5% муравьиной кислоты при температуре 95 °С скорость коррозии сталей типа X17H13M2T менее 0,02 мм/год, в условиях деаэрации — скорость коррозии до 0,1—0,4 мм/год [269, 294].

Поданным Sandvik Steel, при температуре кипения сталь типа 02X25H22AM2 в 50%-ной уксусной кислоте, содержащей до 20% муравьиной кислоты, корродирует со скоростью менее 0,1—0,2 мм/год, сталь типа 02X21H25M5ДБ в смесях, содержащих до 50% уксусной кислоты и 10% муравьиной кислоты, — со скоростью менее 0,1 мм/год. В смеси 1% уксусной кислоты и 97,5% муравьиной кислоты при температуре 104 °С сталь 02X21H25M5ДБ обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,6—0,7 мм/год) [293].

Двухфазная сталь 08X22H6T в смеси, содержащей 5—98% уксусной кислоты и до 5% муравьиной кислоты, при температуре ниже 100 °С корродирует со скоростью менее 0,1—0,2 мм/год (при 140 °С скорость коррозии до 1,7—4 мм/год) [257, 269, 294]. В уксусной кислоте концентрацией 60—90%, содержащей до 10% муравьиной кислоты, сталь стойка при температуре ниже 60 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [15, 269]. При температуре кипения в концентрированной (90—96%) уксусной кислоте с добавкой до 5% муравьиной кислоты сталь об-

Хромистая сталь 15X25T остается стойкой до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год).

Хромоникелевая сталь 08X18Н10Т удовлетворительно стойка до 60 °С (скорость коррозии <0,7 мм/год) и нестойка при температуре кипения (скорость коррозии 1,5 мм/год).

Сталь 08X17Н13М2Т сохраняет стойкость до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год).

41.4. Нафтеновые кислоты — $(\text{CH}_2)_4\text{CH}(\text{CH}_2)_n(\text{COOH})_m$

Нафтеновые кислоты относятся к полициклическим карбоновым кислотам, в которых карбоксильная группа присоединена к нафтеновому радикалу через метилен или боковую углеродную цепь. Углеводородный нафтеновый радикал содержит циклопарафиновое кольцо. Нафтеновые кислоты чаще являются одноосновными кислотами с общей формулой $\text{C}_n\text{H}_{n-1}\text{COOH}$. Основная часть нафтеновых кислот — циклопентанкарбоновая кислота и ее гомологи.

При нормальных условиях нафтеновые кислоты представляют собой вязкие бесцветные жидкости, желтеющие со временем. Температура кипения нафтеновых кислот от 214 до 300 °С (55—64 °С при 20 мм рт. ст.), при температуре ниже —80 °С они застывают. Нафтеновые кислоты нерастворимы в воде, но растворимы в органических растворителях, особенно в углеводородах. В химическом отношении нафтеновые кислоты обладают всеми свойствами, характерными для карбоновых кислот.

Более агрессивными являются нафтеновые кислоты с меньшей молекулярной массой и меньшим числом циклических структур в молекуле [291]. На коррозионное поведение металлических материалов в нафтеновых кислотах большое влияние оказывают температура и скорость движения [292].

Металлы и сплавы в нафтеновых кислотах обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали в нафтеновых кислотах при температуре ниже 215 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год, при 250 °С — со скоростью 0,5—1,3 мм/год, выше 300 °С — нестойки [3]. По данным работы [292], углеродистые стали в нафтеновых кислотах нестойки при температуре 220—400 °С.

Серые чугуны в нафтеновых кислотах при обычной температуре стойки (скорость коррозии 0,2 мм/год) [4], при температуре ниже 215 °С — корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год, при 250 °С — со скоростью 0,5—1,3 мм/год [3].

Высоколегированные чугуны. Легированные чугуны не имеют преимуществ в коррозионной стойкости в нафтеновых кислотах перед нелегированными чугунами [292].

Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в нафтеновых кислотах стойки при температуре до 100 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) и чугуны типа нирезист в нафтеновых кислотах при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,3 мм/год) [4], при температуре до 215 °С — корродируют со скоростью менее 0,5 мм/год, при 250 °С — нестойки [3].

Алюминий во влажных нефтяных кислотах удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) при температуре ниже 350 °С [3, 8]. Силумин в таких условиях сохраняет стойкость до температуры кипения (скорость коррозии <0,06 мм/год) [4]. Дуралюмины неприменимы в нефтяных кислотах [292].

Свинец при обычной температуре в нефтяных кислотах нестойк [3].

41.5. Олеиновая, пальмитиновая и стеариновая кислоты

Олеиновая, пальмитиновая и стеариновая кислоты — одноосновные карбоновые кислоты из ряда высших жирных кислот. Температура плавления олеиновой кислоты 14—16 °С, температура кипения 360 °С; пальмитиновой кислоты — соответственно 62—64 и 353,8 °С; стеариновой кислоты — 69,3 и 370 °С. Все кислоты практически нерастворимы в воде.

Свойства указанных кислот близки, и частичная или полная замена одной кислоты на другую мало сказывается на коррозионной активности смеси. Для ориентировочной оценки коррозионного поведения металлических материалов в смеси указанных кислот можно использовать данные, представленные для жирных кислот (см. п. 41.2).

Металлы и сплавы в смеси олеиновой, пальмитиновой и стеариновой кислот имеют следующую коррозионную стойкость.

Углеродистые стали и серые чугуны в смеси олеиновой, пальмитиновой и стеариновой кислот при обычной температуре удовлетворительно стойки [1, 40].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X17 в смеси указанных кислот обладают высокой стойкостью до 80 °С (скорость коррозии 0,03 мм/год) [40].

Хромоникелевые стали типа X18H10T, X17H13M2T в смеси таких кислот отличаются высокой стойкостью при температуре до 170 °С (скорость коррозии <0,03 мм/год). Стали типа X17H13M2T в смеси, содержащей 50% олеиновой кислоты, 25% пальмитиновой кислоты и 25% стеариновой кислоты, сохраняют стойкость до 400 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40]. При температуре до 210 °С в смеси олеиновой и стеариновой кислот скорость коррозии сталей типа X18H10T 0,05—0,5 мм/год, сталей типа X17H13M2T — менее 0,05 мм/год [3].

Никель и сплавы никеля. Никель в смеси олеиновой, пальмитиновой и стеариновой кислот при температуре 150—175 °С корродирует со скоростью менее 0,2 мм/год, при температуре 245 °С — со скоростью 0,4 мм/год [40]. В смеси олеиновой и стеариновой кислот при температуре ниже 210 °С скорость коррозии никеля 0,05—0,5 мм/год [3].

Монель-металл в смеси, содержащей 50% олеиновой кислоты, 25% пальмитиновой кислоты и 25% стеариновой кислоты, при температуре до 80 °С стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40], в смеси олеиновой и стеариновой кислот при температуре ниже 210 °С — удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Нихром (15—22% Cr, 6—8% Fe) в смеси олеиновой и стеариновой кислот стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) до температуры 210 °С [3] (по данным работы [4] — до температуры кипения).

Серебро в смеси пальмитиновой и стеариновой кислот рекомендуют применять до температуры 330 °С [4].

Высоколегированные стали. Хромоникелевые стали типа X18H10T, X17H13M2T в смеси, содержащей 99,5% пропионовой кислоты, 0,3% масляной кислоты и 0,2% уксусной кислоты, при температуре 50 °С обладают высокой стойкостью (скорость коррозии <0,02 мм/год) [40]. В смеси 66% пропионовой кислоты, около 34% масляной кислоты и небольшого количества уксусной кислоты при температуре 150 °С скорость коррозии сталей типа X18H10T может возрастать до 0,3 мм/год, а сталей типа X17H13M2T — до 0,2 мм/год [40].

В смеси, содержащей 5—6% пропионовой кислоты, до 9% масляной кислоты, 43—47% уксусной кислоты и дополнительно 8—9% муравьиной кислоты, при температуре 110—180 °С стали типа X17H13M3T корродируют со скоростью до 0,3—0,6 мм/год, сталь 03X21H21M4ГБ — со скоростью до 0,3 мм/год. Двухфазная сталь 08X21H6M2T в такой смеси остается стойкой (скорость коррозии <0,1 мм/год) [293].

В смеси, содержащей 20% пропионовой кислоты, 57% масляной кислоты, 8% уксусной кислоты и дополнительно около 2% муравьиной кислоты и 35% янтарной кислоты, при температуре 155 °С стали типа X17H13M3T и сталь 03X21H21M4ГБ стойки (скорость коррозии <0,02 мм/год) [293].

Сплав на железоникелевой основе 06ХН28МДТ в смеси 66% пропионовой кислоты, около 34% масляной кислоты и небольшого количества уксусной кислоты при температуре 150 °С стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40].

В смеси, содержащей 5—6% пропионовой кислоты, до 9% масляной кислоты, 43—47% уксусной кислоты и дополнительно 8—9% муравьиной кислоты, при температуре 110—180 °С скорость коррозии сплава может достигать 0,1—0,4 мм/год. В смеси, содержащей 20% пропионовой кислоты, 57% масляной кислоты, 8% уксусной кислоты и дополнительно около 2% муравьиной кислоты и 35% янтарной кислоты, при температуре 155 °С сплав сохраняет высокую стойкость (скорость коррозии <0,005 мм/год) [293].

Никельмолибденовый сплав ХН65МВ в смеси, содержащей 5—6% пропионовой кислоты, до 9% масляной кислоты, 43—47% уксусной кислоты и дополнительно 8—9% муравьиной кислоты, при температуре 110—180 °С отличается высокой стойкостью (скорость коррозии до 0,02 мм/год). В смеси, содержащей 20% пропионовой кислоты, 57% масляной кислоты, 8% уксусной кислоты и дополнительно около 2% муравьиной кислоты и 35% янтарной кислоты, при температуре 155 °С скорость коррозии сплава может возрастать до 0,15 мм/год [293].

Тиган во всех указанных выше смесях кислот обладает высокой стойкостью (скорость коррозии менее 0,01 мм/год) [293].

41.8. Уксусная и муравьиная кислоты

Уксусная и муравьиная кислоты — одноосновные насыщенные карбоновые кислоты. Температура плавления уксусной кислоты 16,7 °С, температура кипения 118,1 °С; муравьиная кислота — соответственно 8,3 и 100,7 °С. Обе кислоты хорошо растворимы в воде и смешиваются в любых отношениях.

Добавка муравьиной кислоты усиливает коррозионную активность смеси, оказывая депассивирующее действие на металлические материалы. Добавление муравьиной кислоты к концентрированной уксусной кислоте сильно

равьиной кислоты, при температуре кипения такие стали корродируют со скоростью 0,1—0,4 мм/год, по данным работ [269, 281] такая же скорость коррозии сталей сохраняется в смесях, содержащих 60—96% уксусной кислоты. При добавлении до 25% муравьиной кислоты к 50%-ной уксусной кислоте при температуре кипения скорость коррозии сталей не превышает 0,25 мм/год (рис. 41.1).

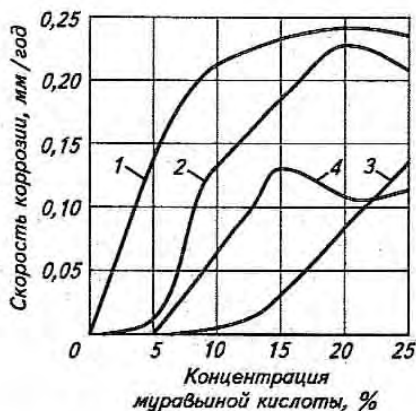


Рис. 41.1. Скорость коррозии нержавеющей сталей в 50%-ном растворе уксусной кислоты, содержащем добавки муравьиной кислоты, при температуре кипения:

1—316L (типа 03X17H14M2); 2—317L (типа 03X18H16M3); 3—SAF 2205 (типа 03X24H6AM3); 4—сплав Sanicro 28 (типа XH30MДБ) [данные Sandvik Steel]

В смесях с содержанием уксусной и муравьиной кислот в количестве соответственно 60% + 4% и 66% + 24% стали обладают удовлетворительной стойкостью до 180 °С (скорость коррозии менее 0,4—0,6 мм/год) [293, 295].

Деаэрация смесей кислот оказывает несколько меньшее влияние на коррозию сталей типа X17H13M2T, чем сталей типа X18H10T. Так, в смеси 60—90% уксусной кислоты и до 5% муравьиной кислоты при температуре 95 °С скорость коррозии сталей типа X17H13M2T менее 0,02 мм/год, в условиях деаэрации — скорость коррозии до 0,1—0,4 мм/год [269, 294].

Поданным Sandvik Steel, при температуре кипения сталь типа 02X25H22AM2 в 50%-ной уксусной кислоте, содержащей до 20% муравьиной кислоты, корродирует со скоростью менее 0,1—0,2 мм/год, сталь типа 02X21H25M5ДБ в смесях, содержащих до 50% уксусной кислоты и 10% муравьиной кислоты, — со скоростью менее 0,1 мм/год. В смеси 1% уксусной кислоты и 97,5% муравьиной кислоты при температуре 104 °С сталь 02X21H25M5ДБ обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,6—0,7 мм/год) [293].

Двухфазная сталь 08X22H6T в смеси, содержащей 5—98% уксусной кислоты и до 5% муравьиной кислоты, при температуре ниже 100 °С корродирует со скоростью менее 0,1—0,2 мм/год (при 140 °С скорость коррозии до 1,7—4 мм/год) [257, 269, 294]. В уксусной кислоте концентрацией 60—90%, содержащей до 10% муравьиной кислоты, сталь стойка при температуре ниже 60 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [15, 269]. При температуре кипения в концентрированной (90—96%) уксусной кислоте с добавкой до 5% муравьиной кислоты сталь об-

ладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,4—1 мм/год), в 60%-ной кислоте с такой же добавкой муравьиной кислоты — нестойка [269, 281].

Деаэрация смесей кислот сильно ускоряет коррозию стали: при 95 °С в аэрированной смеси 60—90% уксусной кислоты и до 5% муравьиной кислоты скорость коррозии менее 0,1 мм/год, в деаэрированной смеси — 0,5—1,1 мм/год [269, 294].

Двухфазная сталь 08Х21Н6М2Т в смеси, содержащей 5—98% уксусной кислоты и до 5% муравьиной кислоты, при температуре ниже 100 °С корродирует со скоростью менее 0,05 мм/год (при 165 °С скорость коррозии 0,6—1,4 мм/год) [257, 294]. В смеси 60—90% уксусной кислоты и до 10% муравьиной кислоты при температуре ниже 60 °С скорость коррозии стали менее 0,03 мм/год, при температуре кипения — скорость коррозии 0,1—0,3 мм/год [15, 269]. В смесях с содержанием уксусной и муравьиной кислот в количестве соответственно 60% + 4% и 66% + 24% сталь обладает удовлетворительной стойкостью до температуры 140 °С (скорость коррозии 0,1—0,5 мм/год) [295]. Деаэрация смесей кислот незначительно влияет на коррозию стали (при 95 °С в аэрированной смеси 60—90% уксусной кислоты и до 5% муравьиной кислоты скорость коррозии менее 0,04 мм/год, в деаэрированной смеси — менее 0,2 мм/год) [269, 294].

Двухфазная сталь типа 03Х24Н6АМ3 при температуре кипения остается стойкой в 50%-ной уксусной кислоте с добавлением до 25% муравьиной кислоты (см. рис. 41.1).

Сплав на железоникелевой основе 06ХН28МДТ в смеси 1% уксусной кислоты и 97,5% муравьиной кислоты обладает высокой стойкостью до температуры кипения (скорость коррозии <0,02 мм/год) [293]. В уксусной кислоте концентрацией 40—50% с добавкой до 5% муравьиной кислоты сплав стоек до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40]. В смесях с содержанием уксусной и муравьиной кислот в количестве соответственно 60% + 4% и 66% + 24% при температуре до 120—140 °С сплав корродирует со скоростью менее 0,1 мм/год (при 180 °С скорость коррозии 0,2—0,4 мм/год) [295]. В 90%-ной уксусной кислоте, содержащей 10% муравьиной кислоты, сплав сохраняет стойкость до 100 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Сплав типа ХН30МДБ при температуре кипения остается стойким в 50%-ной уксусной кислоте с добавлением до 25% муравьиной кислоты (см. рис. 41.1).

Сплавы никеля. Монель-металл в 25%-ной уксусной кислоте, содержащей 1,5—4% муравьиной кислоты, и в смеси 30—50% уксусной кислоты и 2—10% муравьиной кислоты при температуре 100 °С стоек (скорость коррозии <0,03 мм/год) [270].

Никельмолибденовый сплав ХН65МВ в смеси 1% уксусной кислоты и 97,5% муравьиной кислоты обладает высокой стойкостью до температуры кипения (скорость коррозии <0,02 мм/год) [293]. В смесях, содержащих уксусную и муравьиную кислоты соответственно 60% + 4% и 66% + 24%, сплав стоек до температуры 180 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [295]. При температуре 100 °С в 25%-ной уксусной кислоте, содержащей 1,5—4% муравьиной кислоты, сплав корродирует со скоростью менее 0,02 мм/год, в смеси 30—50% уксусной кислоты и 2—10% муравьиной кислоты — со скоростью менее 0,2 мм/год [270].

Нихром (15—22% Cr, 6—8% Fe) в уксусной кислоте с добавлением до 20% муравьиной кислоты при обычной температуре стоек (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [3].

Медь в 25%-ной уксусной кислоте, содержащей 1,5—4% муравьиной кислоты, и в смеси 30—50% уксусной кислоты и 2—10% муравьиной кислоты сохраняет стойкость при температуре до 100 °С (скорость коррозии $<0,03$ мм/год) [270].

Алюминий в 58%-ной уксусной кислоте, содержащей 2% муравьиной кислоты, стоек только при обычной температуре (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [40]. В уксусной кислоте концентрацией 5—50% с добавлением до 5% муравьиной кислоты алюминий удовлетворительно стоек до 50 °С (скорость коррозии $<0,3—0,6$ мм/год). Такая же скорость коррозии алюминия в 98%-ной уксусной кислоте, содержащей до 5% муравьиной кислоты, при температуре ниже 100 °С [257].

Сплав АМг3 в смеси 5—50% уксусной кислоты и до 5% муравьиной кислоты при температуре ниже 50 °С корродирует со скоростью 0,4—1,4 мм/год, в 98%-ной уксусной кислоте с таким же содержанием муравьиной кислоты при 100 °С — со скоростью 0,2—0,3 мм/год [257].

Титан в смеси, содержащей 5—98% уксусной кислоты и до 5% муравьиной кислоты, стоек до температуры 165 °С (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [257]. При температуре кипения в смеси, содержащей 5—98% уксусной кислоты и до 10% муравьиной кислоты, и в смеси 93—96% уксусной кислоты с добавкой до 5% муравьиной кислоты титан корродирует со скоростью менее 0,04 мм/год [295]. В концентрированной (90%) уксусной кислоте, содержащей до 5% муравьиной кислоты, при температуре 95 °С деаэрация смеси не влияет на коррозию титана, и он сохраняет очень высокую стойкость (скорость коррозии $<0,001$ мм/год) [269].

По данным работы [3], в любых смесях уксусной и муравьиной кислот титан стоек до температуры 125 °С (скорость коррозии $<-0,05$ мм/год).

41.9. Уксусная, муравьиная и пропионовая кислоты

Несмотря на то что уксусная кислота по силе сравнима с пропионовой кислотой, в смеси этих кислот уксусная кислота является основным коррозионным компонентом. Она оказывает сильное разрушающее действие на многие стали и сплавы, особенно при повышенной температуре. С увеличением концентрации уксусной кислоты ее коррозионная активность возрастает (до 40—60%), а затем снижается.

Присутствие муравьиной кислоты в смеси уксусной и пропионовой кислот способствует коррозионному разрушению металлических материалов. Муравьиная кислота облегчает катодный процесс за счет увеличения доли водородной деполяризации, тем самым ускоряя анодное растворение металла.

Металлы и сплавы в смеси уксусной, муравьиной и пропионовой кислот имеют следующую коррозионную стойкость.

Высоколегированные чугуны. Хромистые чугуны ЧХ25, ЧХ30 в смеси уксусной и пропионовой кислот при температуре 130 °С нестойки [40].

Высоколегированные стали. Хромоникелевые стали типа X17H13M3T, сталь 03X21H21M4ГБ и двухфазная сталь 08X21H6M2T в смеси, содержащей 0,4% уксусной кислоты и 95% пропионовой кислоты, при температуре 155 °С обладают высокой стойкостью (скорость коррозии <0,01—0,05 мм/год) [293]. При увеличении содержания уксусной кислоты до 11—14% скорость коррозии сталей типа X17H13M3T возрастает до 0,15 мм/год [40].

В смеси 55% уксусной кислоты и 45% пропионовой кислоты при температуре до 180 °С скорость коррозии сталей типа X17H13M3T может достигать 0,4—0,6 мм/год, стали 08X21H6M2T при температуре ниже 140 °С — 0,7 мм/год [295].

В смеси, содержащей около 77% уксусной кислоты, 8% пропионовой кислоты и дополнительно 15% муравьиной кислоты, при температуре 120 °С сталь 08X21H6M2T обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии до 0,3 мм/год), стали типа X17H13M3T и сталь 03X21H21M4ГБ остаются стойкими (скорость коррозии <0,01—0,04 мм/год) [293].

В смеси 87% уксусной кислоты, 5% пропионовой кислоты и 0,5% муравьиной кислоты при температуре ниже 160 °С сталь 08X21H6M2T корродирует со скоростью до 0,9 мм/год, стали типа X17H13M3T — со скоростью до 0,4—0,5 мм/год. При содержании в такой смеси 1% пропионовой кислоты и 5% муравьиной кислоты стали типа X17H13M3T удовлетворительно стойки до 180 °С (скорость коррозии <0,2—0,4 мм/год), сталь 08X21H6M2T — до 140 °С (скорость коррозии <0,25 мм/год) [295].

В смеси уксусной кислоты (90—95%) и пропионовой кислоты (остальное) при температуре 135—140 °С стали типа X17H13M3T и сталь 08X21H6M2T стойки (скорость коррозии <0,07 мм/год) [31, 293].

В смеси 99,1% уксусной кислоты, 0,6% пропионовой кислоты и 0,05% муравьиной кислоты сталь 08X21H6M2T сохраняет удовлетворительную стойкость до 160 °С (скорость коррозии <0,25 мм/год), стали типа X17H13M3T — до 180 °С (скорость коррозии <0,2 мм/год) [295].

Сплав на железоникелевой основе 06ХН28МДТ в смеси, содержащей до 5% уксусной кислоты и 95% пропионовой кислоты, стоек до температуры 150 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40, 293]. В смеси, содержащей 55—87% уксусной кислоты, 5—45% пропионовой кислоты и до 0,5% муравьиной кислоты, сплав обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии <0,4 мм/год) при температуре ниже 160—180 °С [295]. В смеси, содержащей 90—99% уксусной кислоты и до 9% пропионовой кислоты, сплав стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры 135—180 °С [293, 295].

При увеличении содержания муравьиной кислоты в смеси значительно снижается температура применения сплава 06ХН28МДТ. Так, в смеси 87% уксусной кислоты, 1% пропионовой кислоты и 5% муравьиной кислоты сплав сохраняет стойкость до 180 °С (скорость коррозии <0,2 мм/год) [295], а в смеси, содержащей 77% уксусной кислоты, 8% пропионовой кислоты и 15% муравьиной кислоты, сплав стоек до 120—130 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [293].

Сплав ХН40МДБ в смеси 90—95% уксусной кислоты и 1% пропионовой кислоты сохраняет высокую стойкость до 140 °С (скорость коррозии <0,01 мм/год) [31].

Сплавы никеля. Никельмолибденовый сплав Н70МФВ в смеси 90—95% уксусной кислоты и 1% пропионовой кислоты обладает высокой стойкостью до 140 °С (скорость коррозии <0,01 мм/год) [31].

Сплав ХН65МВ в смеси уксусной кислоты (1—99%) и пропионовой кислоты (остальное) или в смеси, содержащей 87% уксусной кислоты, до 5% пропионовой кислоты и до 5% муравьиной кислоты, стоек при температуре ниже 180 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [293, 295]. В смеси 77% уксусной кислоты, 8% пропионовой кислоты и 15% муравьиной кислоты при температуре 120 °С сплав корродирует со скоростью менее 0,001 мм/год [293].

Титан в смеси, содержащей 1—99% уксусной кислоты и 99—1% пропионовой кислоты, или в смеси, содержащей 77—87% уксусной кислоты, до 8% пропионовой кислоты и 5—15% муравьиной кислоты, сохраняет высокую стойкость при температуре ниже 120—180 °С (скорость коррозии <0,01 мм/год) [293, 295].

Сплав циркония Э-110 в смеси 97,5% уксусной кислоты и 2,5% пропионовой кислоты остается стойким до 155 °С (скорость коррозии <0,03 мм/год) [296].

41.10. Уксусная и щавелевая кислоты

По данным работы [290], в смеси, содержащей 50% уксусной кислоты и 5% щавелевой кислоты, **высоколегированные стали** обладают следующей стойкостью.

Хромистая сталь 15Х25Т остается стойкой до температуры 60 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год).

Хромоникелевая сталь 08Х18Н10Т при температуре 60 °С корродирует со скоростью менее 0,2 мм/год.

Сталь 08Х17Н13М2Т при температуре 60 °С обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии <0,9 мм/год).

ГЛАВА 42. СМЕСИ ОРГАНИЧЕСКИХ И НЕОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ

42.1. Карболовая и серная кислоты

По данным работы [3], в феноле, содержащем 3—5% серной кислоты, металлы и сплавы имеют следующую коррозионную стойкость.

Углеродистые стали обладают удовлетворительной стойкостью до температуры 150 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 сохраняют высокую стойкость до 150 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год).

Высоколегированные стали типа Х18Н10Т удовлетворительно стойки до температуры 150 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Медь и медные сплавы. Медь, латунь (70—80% Cu) при температуре 150 °С нестойки (скорость коррозии >1,3 мм/год).

Никельмолибденовый сплав Н65М, Н70МФВ сохраняют высокую стойкость до температуры 210 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год).

42.2. Левулиновая и соляная кислоты

Металлы и сплавы в смеси левулиновой и соляной кислот имеют следующую коррозионную стойкость.

Высоколегированные стали. Хромоникелевые стали типа X18H10T, X17H13M2T и двухфазная сталь 08X21H6M2T в смеси, содержащей 93—98% левулиновой кислоты, около 4,8% муравьиной кислоты и 1% соляной кислоты, при температуре 40 °С стойки (скорость коррозии 0,1—0,2 мм/год) [15].

Медь и медные сплавы. Медь, бронза, мельхиор в технической левулиновой кислоте, содержащей соляную кислоту, в условиях деаэрации при температуре 200 °С обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии <1 мм/год) [40].

Сплавы никеля. Никельмолибденовые сплавы ХН65МВ, Н70МФВ в левулиновой кислоте любой концентрации с добавками соляной, муравьиной кислот и хлоридов в условиях деаэрации стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40].

Титан в 98%-ной левулиновой кислоте в присутствии хлора при температуре 50 °С обладает высокой стойкостью [297].

Сплав 4200 в смеси 5—7% левулиновой кислоты, 5—6% соляной кислоты и 4—5% муравьиной кислоты при температуре 105 °С стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) [39].

42.3. Лимонная и серная кислоты

Металлы и сплавы в смеси лимонной и серной кислот имеют следующую коррозионную стойкость.

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в смеси лимонной и серной кислот при обычной температуре нестойки [40].

Высоколегированные стали. Хромоникелевые стали типа X18H10T в растворах лимонной кислоты концентрацией 25 и 50% с добавкой до 0,6% серной кислоты обладают высокой стойкостью до температуры кипения (скорость коррозии <0,01 мм/год), при добавлении 0,75% серной кислоты — корродируют со скоростью 0,4—2,9 мм/год [88].

По данным справочника [40], хромоникелевые стали типа X18H10T, X17H13M2T в смеси лимонной и серной кислот при обычной температуре нестойки.

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в смеси лимонной и серной кислот при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40].

Никельмолибденовые сплавы типа Н70МФВ в смеси водных растворов лимонной и серной кислот стойки до 60 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40].

Свинец в любых растворах лимонной кислоты, содержащих около 1% серной кислоты, стоек до 65 °С (скорость коррозии 0,1 мм/год) [40].

42.4. Муравьиная и соляная кислоты

По данным работы [298], в растворах, содержащих 0,25% муравьиной и 0,4% соляной кислот, представленные ниже материалы имеют следующую стойкость.

Углеродистая сталь 10 при обычной температуре подвергается неравномерной точечно-язвенной коррозии со скоростью 2—2,5 мм/год.

Высоколегированные стали. Хромистая сталь 12Х13 при обычной температуре нестойка (характер коррозии неравномерный точечно-язвенный).

Хромоникелевые стали 12Х18Н10Т и 10Х17Н13М2Т сохраняют высокую стойкость до 100 °С (скорость коррозии <0,01 мм/год). При температуре 100 °С сталь 12Х18Н10Т начинает подвергаться точечной коррозии.

Двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т стойки до температуры 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год).

Сталь 08Х18Г18Н2Т при обычной температуре стойка (скорость коррозии 0,01 мм/год), при температуре 80 °С — подвергается точечно-язвенной коррозии со скоростью 0,5 мм/год.

Титан ВТ1-0 сохраняет высокую стойкость до температуры 100 °С (скорость коррозии 0,001 мм/год).

42.5. Олеиновая и серная кислоты

Металлы и сплавы в смеси олеиновой и серной кислот имеют следующую коррозионную стойкость.

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в олеиновой кислоте при наличии серной кислоты стойки до 360 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в олеиновой кислоте, содержащей небольшое количество серной кислоты, стойки до температуры 350 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40].

Латунь в технической олеиновой кислоте, содержащей серную кислоту, обладает удовлетворительной стойкостью до температуры 225 °С (скорость коррозии <0,5 мм/год) [4].

Свинец в технической олеиновой кислоте, содержащей 1,5% концентрированной серной кислоты, при температуре 100 °С корродирует со скоростью 0,3—2,3 мм/год [40].

42.6. Уксусная и азотная кислоты

Металлы и сплавы в смеси уксусной и азотной кислот имеют следующую коррозионную стойкость.

Высоколегированные стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в смеси, содержащей 20% уксусной кислоты и 10—40% азотной кислоты, при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [2, 112].

Сплав на железоникелевой основе 06ХН28МДТ в смеси, содержащей 20% уксусной кислоты и 20% азотной кислоты, при обычной температуре обладает высокой стойкостью (скорость коррозии <0,01 мм/год) [2].

42.7. Уксусная и серная кислоты

Металлы и сплавы в смеси уксусной и серной кислот имеют следующую коррозионную стойкость.

Углеродистые стали и серые чугуны в смесях уксусной и серной кислот при обычной температуре нестойки (скорость коррозии >1,3 мм/год) [3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в смесях уксусной и серной кислот стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Хромистые чугуны ЧХ25, ЧХ30 в смеси 5% уксусной кислоты и 10% серной кислоты при температуре 120 °С нестойки [40].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х25 в смеси 0,5% уксусной кислоты и 2% серной кислоты при температуре кипения и в смеси 25% уксусной кислоты и 2% серной кислоты при температуре 80 °С нестойки [2, 112].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т в смеси 25% уксусной кислоты и 2% серной кислоты при температуре 80 °С нестойки, в смеси 90% уксусной кислоты и 5% серной кислоты при обычной температуре корродируют со скоростью менее 1 мм/год. В безводной смеси кислот, содержащей 90% уксусной кислоты и 10% серной кислоты, при обычной температуре такие стали стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [2, 112]. По данным работы [88], добавление 0,1—0,8% серной кислоты к ледяной уксусной кислоте при температуре 20 °С делает процесс коррозии неустойчивым (скорость коррозии от менее 0,1 до более 3 мм/год). Согласно работе [3], стали типа Х18Н10Т в смесях уксусной и серной кислот при обычной температуре нестойки (скорость коррозии >1,3 мм/год).

Стали типа Х17Н13М2Т в смеси 0,5% уксусной кислоты и 2% серной кислоты при температуре кипения и в смеси 25% уксусной кислоты и 2% серной кислоты при температуре 80 °С нестойки (скорость коррозии >1 мм/год). В смеси, содержащей 90% уксусной кислоты и 5—10% серной кислоты, при обычной температуре такие стали стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [2, 112].

Двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т в смеси 90% уксусной кислоты и 10% серной кислоты при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [2]. Сталь 08Х21Н6М2Т в смеси, содержащей 6% уксусной кислоты и 5% серной кислоты, при температуре 80 °С отличается высокой стойкостью (скорость коррозии 0,002 мм/год) [15].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в растворе, содержащем 0,5% уксусной кислоты и 2% серной кислоты, при температуре кипения и в смеси 27% уксусной кислоты и 5% серной кислоты при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [2, 40]. Согласно работе [3], такие сплавы в смесях уксусной и серной кислот при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год), при температуре 100 °С — удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,5—1,3 мм/год).

Никелевые сплавы. Монель-металл в смесях уксусной и серной кислот при обычной температуре стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год), при температуре 100 °С — удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Никельмолибденовые сплавы типа Н70МФВ в смеси 50% уксусной кислоты и 50% серной кислоты при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Медь и медные сплавы. Медь в смеси, содержащей 5% уксусной кислоты и 20% серной кислоты с добавкой 0,2% муравьиной кислоты, при температуре 120 °С стойка (скорость коррозии <0,1 мм/год), алюминиевая бронза — удовлетворительно стойка (скорость коррозии до 1 мм/год). В уксусной кислоте

концентрацией 28%, содержащей следы серной кислоты, бронза при обычной температуре стойка (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [40].

Титан и сплавы титана. Титан в смесях, содержащих 5% воды, 55—90% уксусной кислоты и 40—5% серной кислоты, при температуре ниже 40°C обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии $<0,1$ — $0,7$ мм/год), при 60°C — нестойк. При содержании в смесях 15—35% уксусной кислоты и 80—60% серной кислоты при температуре 20°C титан корродирует со скоростью $0,4$ — 1 мм/год, при 40°C — нестойк [39, 299]. В смеси 98% уксусной кислоты и 2% серной кислоты титан стоек до температуры кипения [39].

Титановый сплав 4200 в смесях, содержащих 5% воды, 5—90% уксусной кислоты и 90—5% серной кислоты, при температуре 20°C корродирует со скоростью менее $0,1$ — $0,5$ мм/год. В смесях, содержащих 15—90% уксусной кислоты и 80—5% серной кислоты, при температуре до 40°C скорость коррозии сплава менее $0,1$ — $0,7$ мм/год [299].

Другие металлы. Серебро в любых смесях уксусной и серной кислот стойко (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) до температуры 125°C [3] (по другим данным [40] — до температуры кипения).

Свинец неприменим в смесях уксусной и серной кислот при обычной температуре [3].

42.8. Щавелевая и азотная кислоты

Металлы и сплавы в смеси щавелевой и азотной кислот имеют следующую коррозионную стойкость.

Углеродистые стали в смеси, содержащей 20% щавелевой кислоты и 50% азотной кислоты, при температуре 70°C нестойки [2].

Высоколегированные стали. Хромоникелевые стали типа X18H10T, X17H13M2T в смеси, содержащей 20% щавелевой кислоты и 50% азотной кислоты, при температуре 70°C стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [2, 112]. В растворе, содержащем 3% щавелевой кислоты и 60% азотной кислоты, при температуре 100°C сталь 12X18H10T корродирует со скоростью $0,2$ мм/год [15].

Двухфазная сталь 08X22H6T в растворе, содержащем 3% щавелевой кислоты и 60% азотной кислоты, при температуре 100°C корродирует со скоростью около $0,3$ мм/год, сталь 08X21H6M2T — нестойка. При этом сталь 08X22H6T может подвергаться межкристаллитной коррозии [15].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в смеси, содержащей 20% щавелевой и 50% азотной кислоты, при температуре 70°C стойки (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [2].

42.9. Щавелевая и серная кислоты

Металлы и сплавы в смеси щавелевой и серной кислот имеют следующую коррозионную стойкость.

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в смеси, содержащей 5—50% щавелевой кислоты и 1% серной кислоты, стойки до температуры кипения (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [40]. По данным работы [3], такие сплавы в щавелевой кислоте концентрацией 10—40%, содержащей серную кислоту, при температуре ниже 100°C разрушаются со скоростью $0,05$ — $0,5$ мм/год.

Монель-металл в смеси, содержащей 5—50% шавелевой кислоты и 1% серной кислоты, стоек до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40]. Согласно работе [3], в шавелевой кислоте концентрацией 10—40%, содержащей серную кислоту, при температуре ниже 100 °С монель-металл корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Медь в смеси, содержащей 5—10% шавелевой кислоты и 1% серной кислоты, при обычной температуре стойка (скорость коррозии <0,1 мм/год) [40]. В шавелевой кислоте концентрацией 10—40%, содержащей серную кислоту, при температуре ниже 100 °С медь корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Свинец и его сплавы с сурьмой в смеси, содержащей 5—50% шавелевой кислоты и 1% серной кислоты, до температуры кипения обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии <0,1—0,5 мм/год) [3, 40].

ГЛАВА 43. СОЛИ ОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ

43.1. Ацетаты — CH_3COOM

43.1.1. Алюминий уксуснокислый — $(\text{CH}_3\text{COO})_3\text{Al}$

Уксуснокислый алюминий при обычных условиях — белый порошок, разлагающийся при нагреве. Ацетат алюминия растворим в холодной воде, в горячей воде подвергается сильному гидролизу. При температуре кипения из растворов выпадает аморфный хлопьевидный осадок основной соли $(\text{CH}_3\text{COO})_3\text{Al} \cdot \text{Al}(\text{OH})_3$.

Металлы и сплавы в уксуснокислом алюминии обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны при обычной температуре в любых растворах ацетата алюминия нестойки [1]. В 10%-ном растворе углеродистые стали корродируют со скоростью более 1,3 мм/год [3], в насыщенном растворе — со скоростью 0,3 мм/год [176].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в растворе уксуснокислого алюминия, насыщенном при 20 °С, стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры 90 °С [1, 4, 61]. По данным работы [3], при температуре до 100 °С в растворах концентрацией 10—30% скорость коррозии кремнистых чугунов 0,05—0,5 мм/год, в 100%-ной соли — менее 0,05 мм/год.

Хромистые чугуны ЧХ28, ЧХ32 в растворе ацетата алюминия, насыщенном при 20 °С, стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [4, 46].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в твердой соли при обычной температуре корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х25 в любых растворах уксуснокислого алюминия стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [1, 2, 112]. Согласно работе [150], стали типа Х13, Х17 стойки до температуры кипения в растворе, насыщенном при 20 °С.

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в любых растворах ацетата алюминия стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [1, 2, 15]. Согласно работам [4, 61, 62, 112], в растворе, насыщен-

ном при 20 °С, стали стойки до температуры 100 °С (по данным работ [88, 102, 150] — до температуры кипения). По данным работы [3], стали типа Х18Н10Т в любых растворах ацетата алюминия сохраняют стойкость (скорость коррозии <0,05 мм/год) при обычной температуре, стали типа Х17Н13М2Т — при температуре ниже 50 °С. В растворах концентрацией 10—20% при температуре до 100 °С стали типа Х18Н10Т корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год. В 100%-ной соли при 100 °С скорость коррозии сталей типа Х18Н10Т 0,5—1,3 мм/год, сталей типа Х17Н13М2Т — менее 0,05 мм/год.

Двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т в любых растворах ацетата алюминия стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 2, 15, 112].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в любых растворах уксуснокислого алюминия стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [1, 2] (по данным работы [3] — до температуры 100 °С).

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл при обычной температуре стойки в любых растворах ацетата алюминия (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1]. В 10%-ном растворе при температуре до 100 °С никель корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Никельмолибденовые сплавы типа ХН65МВ, Н70МФВ в любых растворах уксуснокислого алюминия стойки до 50 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3], при температуре до 100 °С — удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [1, 3]. В твердой соли при температуре ниже 100 °С сплав ХН65МВ корродирует со скоростью менее 0,05 мм/год, сплав Н70МФВ — со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Нихром (15—22% Cr, 6—8% Fe) в 10%-ном растворе уксуснокислого алюминия при температуре до 100 °С удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год), в твердой соли при температуре до 50 °С — стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Медь и медные сплавы. Медь, латунь при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) в любых растворах уксуснокислого алюминия [1] (по данным работы [3], в 10%-ном растворе скорость коррозии латуни до 0,5 мм/год). В твердой соли при температуре ниже 100 °С медь и латунь корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Алюминий при обычной температуре в твердой соли и в любых растворах ацетата алюминия стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 3]. При температуре 100 °С в растворах уксуснокислого алюминия концентрацией 10—20% скорость коррозии алюминия 0,05—0,5 мм/год [3] (по данным справочника [1], в любых растворах скорость коррозии 0,1—1 мм/год).

Свинец при обычной температуре в твердой соли и в любых растворах уксуснокислого алюминия стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 3]. В растворах концентрацией 10—20% при температуре до 100 °С скорость коррозии свинца менее 0,05 мм/год [3].

Титан при обычной температуре в любых растворах уксуснокислого алюминия стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1]. В 100%-ной соли и в растворе, насыщенном при 20 °С, титан стоек до 100 °С (скорость коррозии менее 0,05 мм/год) [3, 39].

Другие металлы. Серебро в 10%-ном растворе ацетата алюминия при температуре до 50 °С корродирует со скоростью менее 0,05 мм/год, при температуре до 100 °С — со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Тантал при температуре ниже 100 °С стоек в любых растворах уксуснокислого алюминия (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1], цирконий — в 100%-ной соли (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

43.1.2. Аммоний уксуснокислый — $\text{CH}_3\text{COO}(\text{NH}_4)$

Уксуснокислый аммоний — кристаллическое гигроскопичное вещество с температурой плавления 114 °С (при более высокой температуре разлагается). Ацетат аммония хорошо растворим в воде (59,7% при 4 °С), растворим в этиловом спирте.

Металлы и сплавы в уксуснокислом аммонии обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в растворах ацетата аммония концентрацией до 50% при температуре ниже 50 °С стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3]. По данным работы [1], стали и чугуны в растворах концентрацией до 60%, имеющих щелочную реакцию, при обычной температуре корродируют со скоростью 0,1—0,2 мм/год. В твердой соли при обычной температуре скорость коррозии углеродистых сталей менее 0,05 мм/год, серых чугунов — 0,05—0,5 мм/год [3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС15М4, ЧС17, ЧС7М3 при обычной температуре в любых растворах уксуснокислого аммония стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1]. В 10%-ном растворе при температуре до 100 °С чугуны корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год, в твердой соли — со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в растворах ацетата аммония концентрацией 10—50% при температуре ниже 50 °С разрушаются со скоростью менее 0,5 мм/год [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х28 в любых растворах уксуснокислого аммония при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в растворах ацетата аммония концентрацией до 60% при температуре ниже 100 °С обладают высокой стойкостью (скорость коррозии <0,01 мм/год) [1]. По данным работы [3], в твердой соли и в 10%-ном растворе такие стали корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год при температуре до 100 °С, в растворах концентрацией 20—50% — при температуре до 75 °С.

Двухфазная сталь 08Х22Н6Т в растворах ацетата аммония концентрацией менее 60% обладает высокой стойкостью до температуры 100 °С (скорость коррозии <0,001 мм/год) [1].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в твердой соли и в 10%-ном растворе уксуснокислого аммония при температуре до 100 °С, а также в растворах концентрацией 20—50% при температуре до 50 °С корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год [3].

Никель и сплавы никеля. Никель в разбавленных (10%) растворах ацетата аммония и в твердой соли стоек до 100 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год)

[3]. В растворе концентрацией 33% при обычной температуре скорость коррозии никеля менее 0,1 мм/год [1].

Монель-металл в растворах уксуснокислого аммония концентрацией 10—20% и в твердой соли при температуре ниже 100 °С корродирует со скоростью менее 0,05 мм/год [3].

Никельмолибденовый сплав Н70МФВ в растворах уксуснокислого аммония концентрацией до 60% стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) при обычной температуре [1], в твердой соли и в 10%-ном растворе — при температуре до 100 °С [3].

Нихром (15—22% Cr, 6—8% Fe) в твердой соли и в 10%-ном растворе уксуснокислого аммония стоек до 100 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Медь и медные сплавы. Медь, латунь, алюминиевая бронза в растворе уксуснокислого аммония концентрацией 33% при температуре 20 °С корродируют со скоростью до 0,2—0,3 мм/год [1]. В твердой соли при температуре 100 °С медь и латунь нестойки [3].

Алюминий при обычной температуре в растворах ацетата аммония концентрацией менее 60% обладает высокой стойкостью до температуры 100 °С (скорость коррозии <0,01 мм/год) [1], в твердой соли и в 10%-ном растворе — стоек до 100 °С, в растворах концентрацией 20—50% — до 50 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Серебро при обычной температуре в растворах ацетата аммония концентрацией до 60% стойко (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1]. При температуре до 100 °С в 10%-ном растворе серебро корродирует со скоростью менее 0,1 мм/год, в твердой соли — со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Другие металлы. Тантал в растворах уксуснокислого аммония концентрацией до 60% при обычной температуре стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1].

Свинец в твердой соли при обычной температуре нестойк (скорость коррозии <1,3 мм/год) [3].

43.1.3. Калий уксуснокислый — CH_3COOK

Уксуснокислый калий — кристаллическое вещество с температурой плавления около 292 °С, при температуре 100—200 °С разлагается. Ацетат калия хорошо растворим в воде (71,9% при 20 °С; 77,1% при 50 °С; 79,8% при 90 °С, 80,2% при 96 °С), растворим в этиловом спирте (24,8% при 20 °С), нерастворим в эфире. Водный раствор концентрацией 50% кипит при 115,1 °С, концентрацией 82,3% — при 153 °С. В результате гидролиза водные растворы могут иметь щелочную реакцию.

Области применения металлических материалов в зависимости от температуры и концентрации растворов ацетата калия ориентировочно показаны на рис. 43.1.

Металлы и сплавы в твердой соли и растворах ацетата калия обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в любых растворах ацетата калия при температуре 20 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1]. При температуре 50—100 °С углеродистые стали удовлетворительно стойки в любых растворах ацетата калия (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3], в расплаве при температуре 292 °С — нестойки [2]. Серые чугуны в твердой соли при температуре до 100 °С стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год), в растворах концентрацией 10—90% при температуре 300 °С — удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,5—1,3 мм/год) [3].

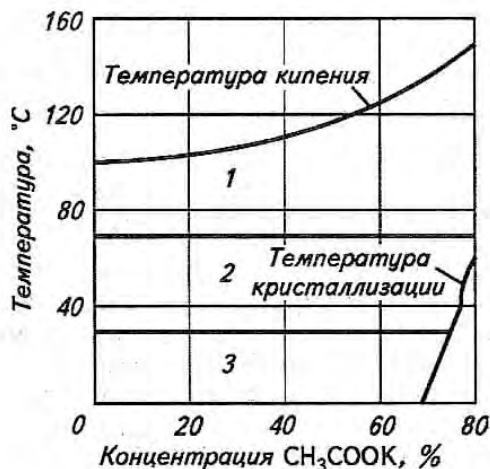


Рис. 43.1. Области применения металлических материалов в растворах ацетата калия:

1 — углеродистая сталь; серый чугун; кремнистый чугун ЧС15, ЧС17; стали типа X13—X25, X18H10T, X17H13M2T; стали 08X22H6T; 08X21H6M2T; сплавы 06XH28MДТ; 03XH28MДТ; ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металл; медь; бронза; латунь; алюминий; титан; цирконий; тантал; серебро; платина; золото; 2 — углеродистая сталь; серый чугун; стали типа X18H10T, X17H13M2T; стали 08X22H6T; 08X21H6M2T; сплавы 06XH28MДТ; 03XH28MДТ; ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металл; медь; бронза; латунь; титан; цирконий; тантал; серебро; платина; золото; 3 — серый чугун; стали типа X18H10T (до 100 °С), X17H13M2T; сплавы 06XH28MДТ; 03XH28MДТ; ХН65МВУ, Н70МФВ-ВИ (до 100 °С); никель (до 100 °С); монель-металл (до 100 °С); медь; бронза; латунь; титан (до 100 °С); цирконий; тантал; серебро; платина; золото

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в любых растворах уксуснокислого калия стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) при обычной температуре [1], в твердой соли — при температуре до 100 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в любых растворах ацетата калия при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X13 в любых растворах уксуснокислого калия при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1].

Хромоникелевые стали типа X18H10T, X17H13M2T в растворах ацетата калия концентрацией менее 72% до температуры кипения и в расплавах при температуре 292 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1]. По данным работы [3], такие стали в любых растворах при температуре ниже 100 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Двухфазные стали 08X22H6T, 08X21H6M2T в расплаве ацетата калия при температуре 292 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 2, 112].

Сплав на железоникелевой основе 06XH28MДТ в растворах и расплаве уксуснокислого калия стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) [2, 3].

Никель и сплавы никеля. Никель в растворах ацетата калия концентрацией до 72% при обычной температуре корродирует со скоростью менее 0,1 мм/год [1, 2], при температуре до 100 °С — со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Монель-металл в растворах уксуснокислого калия концентрацией менее 72% стоек до температуры кипения (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1]. По данным работы [3], при температуре до 100°C скорость коррозии монель-металла $0,05\text{--}0,5$ мм/год.

Никельмолибденовый сплав Н70МФВ в растворах уксуснокислого калия концентрацией до 72% при обычной температуре стоек (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1]. При температуре до 100°C в любых растворах сплавы типа ХН65МВ, Н70МФВ корродируют со скоростью $0,05\text{--}0,5$ мм/год [3].

Нихром (15—22% Сг, 6—8% Fe) при температуре ниже 100°C в растворах уксуснокислого калия концентрацией 10—90% корродирует со скоростью $0,05\text{--}0,5$ мм/год, в твердой соли — со скоростью менее $0,05$ мм/год [3].

Медь и медные сплавы. Медь, латунь, бронза в растворах ацетата калия концентрацией менее 72% стойки до температуры кипения (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1, 2]. По данным работы [3], при температуре ниже 100°C в растворах концентрацией 10—90% медь и латунь удовлетворительно стойки (скорость коррозии $<0,5$ мм/год). В 100%-ной соли при температуре до 300°C медь и латунь корродируют со скоростью $0,05\text{--}0,5$ мм/год, при температуре 350°C — со скоростью $0,5\text{--}1,3$ мм/год.

Алюминий при обычной температуре в растворах ацетата калия концентрацией до 72% стоек (скорость коррозии $<0,1$ мм/год), при температуре 100°C и в расплаве соли — нестойк [1, 2]. По данным работы [3], в 10%-ном растворе при обычной температуре алюминий корродирует со скоростью $0,05\text{--}0,5$ мм/год, при температуре $50\text{--}75^\circ\text{C}$ — нестойк.

Титан в растворах ацетата калия концентрацией менее 72% и в твердой соли стоек до температуры 100°C (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1, 3, 39].

Другие металлы. Тантал, цирконий в растворах уксуснокислого калия концентрацией до 72% при температуре ниже 100°C стойки (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [1—3].

Серебро, платина, золото в любых растворах ацетата калия стойки при температуре до 100°C , в 100%-ной соли — при температуре до 350°C (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [3].

43.1.4. Кальций уксуснокислый — $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca}$

Уксуснокислый кальций кристаллизуется в виде моногидрата $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca}\cdot\text{H}_2\text{O}$ и дигидрата $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Ацетат кальция растворим в воде (25,8% при 20°C ; 24,9% при 40°C ; 24,6% при 60°C ; 22,9% при 100°C). Причем растворимость его слабо зависит от температуры и несколько снижается с ее повышением. В этиловом спирте ацетат кальция плохо растворим. При нагревании уксуснокислый кальций разлагается с образованием CaCO_3 и ацетона.

По данным работы [3], в твердой соли и в растворах ацетата кальция металлы и сплавы имеют следующую коррозионную стойкость.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали в растворах ацетата калия концентрацией 10—25% при обычной температуре корродируют со скоростью $0,05\text{--}0,5$ мм/год, в 10%-ном растворе при температуре ниже 100°C — со скоростью $0,5\text{--}1,3$ мм/год.

Серые чугуны в нейтральных растворах концентрацией 10—20% при температуре до 100°C корродируют со скоростью $0,5\text{--}1,3$ мм/год. Такая же скорость коррозии чугунов в твердой соли при обычной температуре.

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 при температуре до 100 °С в любых растворах уксуснокислого кальция и в твердой соли разрушаются со скоростью менее 0,5 мм/год.

Высоколегированные стали. Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в 100%-ном ацетате кальция и в любых его растворах при температуре ниже 100 °С обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в растворах уксуснокислого кальция концентрацией до 25% и в твердой соли при температуре ниже 100 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл, никельмолибденовые сплавы типа ХН65МВ, Н70МФВ в любых растворах уксуснокислого кальция и в твердой соли до 100 °С обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Медь и медные сплавы. Медь, латунь при температуре до 100 °С в любых растворах уксуснокислого кальция и в твердой соли разрушаются со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Алюминий в 100%-ном ацетате кальция при температуре до 210 °С разрушается со скоростью 0,5—1,3 мм/год.

Свинец в нейтральном растворе ацетата кальция концентрацией 10% и в твердой соли при обычной температуре корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Титан в любых растворах уксуснокислого кальция и в твердой соли при температуре ниже 100 °С стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год).

Цирконий при температуре до 100 °С в растворе ацетата кальция концентрацией 20% и в твердой соли корродирует со скоростью менее 0,05 мм/год, в 25%-ном растворе — со скоростью 0,5—0,5 мм/год.

Серебро в 100%-ном ацетате кальция при температуре до 100 °С разрушается со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

43.1.5. Марганец уксуснокислый — $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Mn}$

Уксуснокислый марганец кристаллизуется в виде тетрагидрата $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Mn}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$, образуя светло-розовые кристаллы с температурой плавления 80 °С. Ацетат марганца хорошо растворим в холодной и горячей воде (27,6% при 50 °С), растворим в этиловом спирте.

По данным работы [300], в твердой соли и в водных растворах ацетата марганца металлы и сплавы имеют следующую коррозионную стойкость.

Углеродистые стали в разбавленных (до 1%) растворах ацетата марганца при обычной температуре стойки (скорость коррозии 0,1 мм/год), при температуре 60—80 °С — удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,4—1,2 мм/год). В растворах концентрацией 5—30% при обычной температуре стали корродируют со скоростью около 0,2 мм/год, при температуре 60—80 °С — нестойки. В твердой соли углеродистые стали стойки до 60 °С (скорость коррозии <0,2 мм/год) и удовлетворительно стойки до 80 °С (скорость коррозии <0,7 мм/год).

Высоколегированные стали. Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т и двухфазная сталь 08Х22Н6Т в растворах ацетата марганца концентрацией до 40%

и в твердой соли при температуре ниже 80 °С обладают высокой стойкостью (скорость коррозии <0,003 мм/год).

Алюминий и сплав АМц в растворах уксуснокислого марганца концентрацией менее 40% сохраняют высокую стойкость до температуры 80 °С (скорость коррозии <0,006 мм/год). В твердой соли при температуре ниже 80 °С алюминий и сплав АМц корродируют со скоростью менее 0,06 мм/год.

Титан ВТ1-0 при температуре ниже 80 °С в растворах уксуснокислого марганца концентрацией до 40% корродирует со скоростью менее 0,001 мм/год, в твердой соли — со скоростью менее 0,006 мм/год.

43.1.6. Медь уксуснокислая — $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Cu}$

Моногидрат уксуснокислой меди $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Cu}\cdot\text{H}_2\text{O}$ образует синие-зеленые моноклинические кристаллы с температурой плавления 115 °С и температурой разложения 240 °С. Ацетат меди растворим в холодной (6,7% при 20 °С) и горячей воде, в этиловом спирте (7% при 20 °С), в эфире.

Металлы и сплавы в уксуснокислой меди обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в любых деаэрированных растворах ацетата меди при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1—3], в условиях аэрации при любой температуре — нестойки [1, 4, 260] (по данным работы [3], в насыщенном растворе при 20 °С скорость коррозии 0,5—1,3 мм/год). В 100%-ной соли при температуре до 100 °С углеродистые стали корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год, серые чугуны — со скоростью менее 0,5 мм/год [3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 при обычной температуре в любых растворах уксуснокислой меди [4, 61, 62] и в твердой (в том числе влажной) соли [88] стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год). При температуре ниже 100 °С кремнистые чугуны в растворах концентрацией до 10% корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год, в 100%-ной соли — со скоростью менее 0,05 мм/год [3].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) при температуре до 100 °С ведут себя аналогично кремнистым чугунам [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х28, хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в растворе уксуснокислой меди, насыщенном при 20 °С, стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [1, 2, 61, 150].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в растворах ацетата меди концентрацией до 10% при температуре ниже 100 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3]. В твердой (в том числе влажной) соли стали типа Х18Н10Т стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) при обычной температуре [88] (по данным работы [3] — до 100 °С).

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в растворе уксуснокислой меди, насыщенном при 20 °С, стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 2, 4]. При температуре ниже 100 °С в растворах концентрацией до 10% сплавы корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год, в твердой (в том числе влажной) соли — со скоростью менее 0,05 мм/год [3].

Никель и сплавы никеля. Никель в растворе ацетата меди, насыщенном при 20 °С, стоек до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [2, 4]. При

температуре ниже 100 °С в растворах концентрацией до 10% и в твердой (в том числе влажной) соли никель корродирует со скоростью менее 0,05 мм/год [3].

Монель-металл в растворах уксуснокислой меди концентрацией менее 10% при температуре до 100 °С корродирует со скоростью менее 0,1 мм/год [1] (по данным работы [3] — 0,05—0,5 мм/год). В твердой (в том числе влажной) соли монель-металл стоек до 100 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Никельмолибденовые сплавы типа ХН65МВ, Н70МФВ в растворах уксуснокислой меди концентрацией до 10% при температуре ниже 100 °С обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Нихром (15—22% Cr, 6—8% Fe) при температуре ниже 100 °С в растворах концентрацией 10% корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год, в твердой (в том числе влажной) соли — со скоростью менее 0,05 мм/год [3].

Медь и медные сплавы. Медь, бронза в нейтральных и щелочных растворах ацетата меди концентрацией менее 10% стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1—4]. В кислых растворах ацетата меди эти металлы неприменимы [1]. В твердой (в том числе влажной) соли при температуре ниже 100 °С медь стойка (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Латунь, оловянистая бронза в растворах уксуснокислой меди неприменимы [1, 3, 46].

Другие металлы. Титан, цирконий, тантал, серебро, платина в растворах уксуснокислой меди концентрацией до 10% и в твердой (в том числе влажной) соли при температуре ниже 100 °С стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 3, 4].

Алюминий, олово, свинец, цинк при обычной температуре неприменимы в растворах ацетата меди [1—4].

43.1.7. Натрий уксуснокислый — CH_3COONa

Уксуснокислый натрий кристаллизуется в виде бесцветных моноклинических кристаллов тригидрата $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, плавящихся при 58 °С (безводная соль плавится при температуре 324 °С). Ацетат натрия растворим в этиловом спирте (7,8% при 20 °С), эфире, очень хорошо растворим в воде (31,7% при 20 °С; 57,3% при 50 °С; 60,5% при 80 °С; 63,0 при 100 °С; 65,6% при 120 °С), легко образует пересыщенные растворы.

Области применения металлических материалов в зависимости от температуры и концентрации растворов ацетата натрия ориентировочно показаны на рис. 43.2.

Металлы и сплавы в твердой соли и в растворах ацетата натрия обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в любых растворах ацетата натрия стойки до температуры 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [3].

По данным работ [2, 46, 260], углеродистые стали в растворах ацетата натрия при обычной температуре неприменимы. Согласно справочнику [1], в нейтральных и щелочных растворах при обычной температуре углеродистые стали стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год), в кислых растворах — нестойки. В 100%-ной безводной соли углеродистые стали стойки до температуры 380 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Серые чугуны в насыщенных растворах уксуснокислого натрия стойки при температуре кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [88].



Рис. 43.2. Области применения металлических материалов в растворах ацетата натрия:

1 — углеродистая сталь (с ограничениями); серый чугуны; кремнистый чугуны ЧС15, ЧС17; стали типа Х13—Х25, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т; 08Х21Н6М2Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металл; медь; бронза; латунь; мельхиор; алюминий; титан; цирконий; тантал; серебро; платина; золото; 2 — серый чугуны; кремнистый чугуны ЧС15, ЧС17; стали типа Х13—Х25, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т; 08Х21Н6М2Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металл; медь; бронза; латунь; мельхиор; титан; цирконий; тантал; серебро; платина; золото; 3 — серый чугуны; кремнистый чугуны ЧС15, ЧС17; стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т; 08Х21Н6М2Т; сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ (до 35%); ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металл; медь; бронза; латунь; мельхиор; титан; цирконий; тантал; серебро; платина; золото; 4 — серый чугуны; сплавы: 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ, Н70МФВ-ВИ (до 30%); медь; мельхиор; титан, тантал, серебро (до 30%)

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС15М4, ЧС17, ЧС17М3 применимы в растворах ацетата натрия [46, 61, 260]. В любых растворах при температуре до 100 °С скорость коррозии чугунов не превышает 0,1 мм/год [1, 3].

Хромистые чугуны ЧХ32, ЧХ34 в насыщенных растворах уксуснокислого натрия обладают высокой стойкостью до температуры кипения (скорость коррозии <0,01 мм/год) [46, 88, 260].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в любых растворах ацетата натрия стойки до температуры 100 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х25, хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т, двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т в насыщенных растворах уксуснокислого натрия стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 46, 88, 112] (по данным работы [2], стали типа Х13 корродируют со скоростью до 0,5 мм/год).

Стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в 10%-ном растворе ацетата натрия при температуре ниже 150 °С стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год), в растворах концентрацией 20—60% при температуре до 100 °С — удовлетворительно стойки (скорость коррозии <0,5 мм/год). В 100%-ной соли при температуре до 50 °С стали корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год, при температуре 75—350 °С — со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Сплавы на железоникелевой основе 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ в растворах уксуснокислого натрия концентрацией менее 32% стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл, сплавы типа ХН65МВ, Н70МФВ, нихром (15—22% Cr, 6—8% Fe) в любых растворах ацетата натрия стойки до температуры 100 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3]. В растворах концентрацией менее 32% монель-металл и никельмолибденовый сплав Н70МФВ стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1].

В 100%-ной соли никель стоек до температуры 380 °С, монель-металл — до 380 °С, нихром — до 400 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Медь и медные сплавы. Медь, бронза, латунь, мельхиор в любых растворах уксуснокислого натрия при температуре ниже 100 °С стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год). При температуре ниже 350 °С скорость коррозии меди возрастает до 0,5—1,3 мм/год, мельхиор остается стойким (скорость коррозии <0,05 мм/год). В расплаве ацетата натрия медь корродирует со скоростью менее 0,05 мм/год [3].

В растворах ацетата натрия концентрацией менее 32% при температуре до 60 °С медь стойка (скорость коррозии <0,1 мм/год), при температуре кипения — удовлетворительно стойка (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) [1].

Алюминий в любых растворах уксуснокислого натрия стоек при обычной температуре, в 100%-ной соли — при температуре до 100 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Свинец в растворах ацетата натрия концентрацией менее 32% до температуры кипения корродирует со скоростью 0,1—3 мм/год и более [1]. При обычной температуре в любых растворах скорость коррозии свинца 0,5—1,3 мм/год [3].

Сурьмянистый свинец в насыщенных растворах уксуснокислого натрия стоек до температуры кипения (скорость коррозии <0,01 мм/год) [88].

Другие металлы. Титан, тантал, серебро в растворах ацетата натрия концентрацией до 32% стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 2]. По данным работы [3], титан, цирконий, тантал, серебро, платина, золото в любых растворах уксуснокислого натрия стойки до 100 °С, в 100%-ной соли серебро, платина — до 400 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год).

43.1.8. Никель уксуснокислый — $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ni}$

Уксуснокислый никель кристаллизуется в виде зеленых кристаллов тетрагидрата $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ni} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, которые на воздухе при температуре 90 °С обезвоживаются, а при температуре 250 °С — разлагаются. Ацетат никеля растворим в воде (14,2% при 20 °С), в этиловом спирте.

По данным работы [3], в уксуснокислом никеле металлы и сплавы имеют следующую коррозионную стойкость.

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в твердой соли стойки до температуры 100 °С (скорость коррозии <0,5 мм/год).

Высоколегированные стали. Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в твердой соли сохраняют стойкость до температуры 50 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год).

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ при температуре ниже 50 °С стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год).

Монель-металл при обычной температуре в твердой соли обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Алюминий в 10%-ном растворе уксуснокислого никеля при обычной температуре корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

43.1.9. Свинец уксуснокислый — $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}$

Уксуснокислый свинец при обычных условиях образует бесцветные моноклинические кристаллы тригидрата $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, плавящиеся с обезвоживанием при температуре 75 °С. Температура плавления безводного уксуснокислого свинца 280 °С. На воздухе кристаллы тригидрата ацетата свинца выветриваются с образованием карбоната свинца.

Ацетат свинца слабо растворим в этиловом спирте, хорошо растворим в воде (30,7% при 20 °С; 41,1% при 30 °С; 56,9% при 40 °С; 68,8% при 50 °С). Раствор концентрацией 50% кипит при температуре 101,4 °С; концентрацией 82% — при температуре около 105 °С.

Области применения металлических материалов в зависимости от температуры и концентрации растворов ацетата свинца ориентировочно показаны на рис. 43.3.

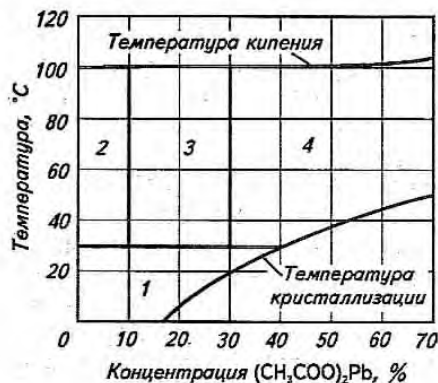


Рис. 43.3. Области применения металлических материалов в растворах ацетата свинца:

1 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС15М4, ЧС17, ЧС17М3; хромистый чугун ЧХ30, ЧХ34; стали типа Х13—Х28, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т; 08Х21Н6М2Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; ХН65МВУ; Н70МФВ-ВИ; никель; монель-металл; медь; латунь (до 10%); мельхиор; алюминий (до 10%); тантал; серебро; золото; 2 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС15М4, ЧС17, ЧС17М3; стали типа Х13—Х28, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т; 08Х21Н6М2Т; сплавы 06ХН28МДТ; 03ХН28МДТ; никель; монель-металл; тантал; серебро; золото; 3 — кремнистый чугун ЧС15, ЧС15М4, ЧС17, ЧС17М3; стали типа Х13 (до 80 °С), Х17—Х28, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т; стали 08Х22Н6Т; 08Х21Н6М2Т; сплавы 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ (до 20%); никель; тантал; золото; 4 — тантал; золото

Металлы и сплавы в твердой соли и в растворах ацетата свинца обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны при обычной температуре в любых растворах ацетата свинца нестойки [1]. В 100%-ной твердой соли при обычной температуре стали и чугуны стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год), при 100 °С — нестойки [3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС15М4, ЧС17, ЧС17М3 в растворах ацетата свинца концентрацией до 31% стойки при температуре ниже 90—100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 4]. В 10%-ном растворе уксуснокислого свинца при обычной температуре и в 100%-ной соли при температуре до 100 °С скорость коррозии таких чугунов 0,05—0,5 мм/год [3].

Хромистые чугуны ЧХ30—ЧХ34 в растворах уксуснокислого свинца концентрацией менее 25% стойки до температуры кипения (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [4, 46, 260].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х28 в растворах уксуснокислого свинца концентрацией менее 31% стойки до температуры кипения (скорость коррозии $0,1$ мм/год) [1, 4, 46, 150]. При температуре кипения скорость коррозии сталей типа Х13 может достигать 1 мм/год [1, 112]. В расплаве соли при 280°C стали типа Х17—Х28 остаются стойкими (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в растворах уксуснокислого свинца концентрацией менее 31% стойки до температуры кипения (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1, 4, 112, 150]. Согласно работам [62, 88], в растворах концентрацией до 25% при температуре ниже 100°C стали корродируют со скоростью менее $0,1$ мм/год (по данным работы [3], менее $0,5$ мм/год). В 100%-ной соли при температуре до 100°C стали обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии $0,05$ — $0,5$ мм/год) [3].

Двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т в растворах уксуснокислого свинца концентрацией менее 25—30% стойки до температуры кипения (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1, 112].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в растворах уксуснокислого свинца концентрацией 10—20% и в 100%-ной соли при температуре ниже 100°C удовлетворительно стойки (скорость коррозии $0,05$ — $0,5$ мм/год) [3].

Никель и сплавы никеля. Никель в разбавленных (10%) растворах ацетата свинца при температуре до 100°C корродирует со скоростью менее $0,1$ мм/год [2, 4, 46, 62] (по данным работы [3] — менее $0,5$ мм/год). Согласно справочным данным [1], в растворах концентрацией до 31% никель стоек до температуры кипения (скорость коррозии $<0,1$ мм/год). В 100%-ной соли при температуре ниже 100°C скорость коррозии никеля $0,05$ — $0,5$ мм/год [3].

Монель-металл в растворах уксуснокислого свинца концентрацией менее 31% при обычной температуре стоек (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1], в 10%-ном растворе и в 100%-ной соли при температуре ниже 100°C — удовлетворительно стоек (скорость коррозии $0,05$ — $0,5$ мм/год) [3].

Сплавы типа ХН65МВУ, Н70МФВ в растворах ацетата свинца концентрацией до 31% при обычной температуре стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1], в 100%-ной соли при температуре до 100°C — удовлетворительно стойки (скорость коррозии $0,05$ — $0,5$ мм/год) [3].

Нихром (15—22% Сг, 6—8% Fe) в 100%-ной соли при температуре до 100°C обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии $<0,5$ мм/год) [3].

Медь и медные сплавы. Медь, бронза оловянистая, латунь в растворах уксуснокислого свинца концентрацией 10—20% при обычной температуре корродируют со скоростью $0,5$ — $1,3$ мм/год [1, 3], в 10%-ном растворе при 100°C — нестойки [3].

Алюминий и сплавы его с кремнием (силумины) в разбавленных ($<10\%$) растворах уксуснокислого свинца при обычной температуре стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год), при температуре выше 50 — 60°C — нестойки [1]. В растворах концентрацией 10—30% алюминий нестойк при обычной температуре [3].

Серебро в растворах уксуснокислого свинца концентрацией менее 31% при обычной температуре стойко (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1, 2], в 10%-ном растворе и в 100%-ной соли при температуре ниже 100°C — удовлетворительно стойко (скорость коррозии $0,05$ — $0,5$ мм/год) [3].

Другие металлы. Титан в твердой соли ацетата свинца при обычной температуре стоек (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [3].

Тантал, золото в растворах ацетата свинца концентрацией 10—70% и в 100%-ной соли при температуре ниже 100°C стойки (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [3].

Свинец в любых растворах уксуснокислого свинца при обычной температуре неприменим [2—4, 62] (по данным справочника [1], скорость коррозии свинца $<0,1$ мм/год).

43.2. Оксалаты — $\text{C}_2\text{O}_4\text{M}_2$

43.2.1. Алюминий щавелевокислый — $(\text{C}_2\text{O}_4)_3\text{Al}_2$

Щавелевокислый алюминий нерастворим в воде. По данным работы [3], в твердой соли оксалата алюминия металлы и сплавы имеют следующую коррозионную стойкость.

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 стойки до температуры 100°C (скорость коррозии $<0,5$ мм/год).

Медь при обычной температуре обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии $0,05$ — $0,5$ мм/год).

Сплавы никеля. Монель-металл при обычной температуре удовлетворительно стоек (скорость коррозии $0,05$ — $0,5$ мм/год).

Никельмолибденовые сплавы типа ХН65МВ, Н70МФВ при обычной температуре стойки (скорость коррозии $<0,05$ мм/год).

43.2.2. Аммоний щавелевокислый — $\text{C}_2\text{O}_4(\text{NH}_4)_2$

Щавелевокислый аммоний при обычных условиях кристаллизуется в виде моногидрата $\text{C}_2\text{O}_4(\text{NH}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Оксалат аммония растворим в воде (4,26% при 20°C ; 5,74% при 30°C ; 9,74% при 50°C ; 18,3% при 80°C ; 25,7% при 100°C), плохо растворим в этиловом спирте. Раствор оксалата аммония концентрацией 5,1% кипит при температуре $100,4^\circ\text{C}$.

Металлы и сплавы в щавелевокислом аммонии обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны при обычной температуре в любых растворах щавелевокислого аммония неприменимы (скорость коррозии $>1,3$ мм/год) [3] (по данным работы [4] — применимы). В 100%-ной твердой соли стали и чугуны при обычной температуре стойки (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в растворах оксалата аммония концентрацией до 10% и в 100%-ной соли стойки до температуры 100°C (скорость коррозии $<0,5$ мм/год) [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13, Х17 в любых растворах щавелевокислого аммония при обычной температуре стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год), при температуре кипения — неприменимы [2, 46, 112].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в любых растворах оксалата аммония при обычной температуре корродируют со скоростью менее $0,1$ мм/год

[2, 4, 15, 112], при температуре кипения — со скоростью менее 0,5 мм/год [2—4, 46]. В 100%-ной соли при температуре до 100 °С стали типа Х17Н13М2Т обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т в любых растворах шавелевокислого аммония при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [2, 15, 112].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в любых растворах шавелевокислого аммония при температуре ниже 100 °С удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металлы, нихром (15—22% Сг, 6—8% Fe) в любых растворах оксалата аммония при обычной температуре и в 10%-ном растворе при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Сплавы типа ХН65МВ, Н70МФВ в любых растворах шавелевокислого аммония при температуре до 100 °С удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Медь и медные сплавы. Медь и латунь в кислых деаэрированных растворах оксалата аммония концентрацией до 5% и в 100%-ной соли при обычной температуре корродируют со скоростью менее 0,5 мм/год [3].

Алюминий в любых растворах шавелевокислого аммония при обычной температуре удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год), в 10%-ном растворе при температуре 100 °С — нестойк (скорость коррозии 0,5—1,3 мм/год) [3].

Другие металлы. Серебро в 10%-ном растворе шавелевокислого аммония при температуре до 100 °С корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Цирконий в 100%-ной соли оксалата аммония при температуре до 100 °С стоек (скорость коррозии <0,05 м/год) [3].

Свинец в любых растворах шавелевокислого аммония при обычной температуре неприменим (скорость коррозии >1,3 мм/год) [3].

43.2.3. Калий шавелевокислый — $C_2O_4K_2$

Шавелевокислый калий кристаллизуется в виде моногидрата $C_2O_4K_2 \cdot H_2O$. При температуре 100—160 °С оксалат калия теряет кристаллизационную воду, выше 160 °С разлагается. Соль хорошо растворима в воде (26,4% при 20 °С; 33% при 50 °С; 44% при 100 °С).

Металлы и сплавы в шавелевокислом калии обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали при обычной температуре в любых растворах шавелевокислого калия неприменимы [3, 4, 46, 62]. В 100%-ной твердой соли углеродистые стали и серые чугуны при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13 в любых растворах шавелевокислого калия при обычной температуре корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [2, 4, 88, 150], при температуре кипения — со скоростью 0,5—1 мм/год [2, 150] (по данным работы [4] — нестойки). Стали типа Х17—Х28 в любых растворах шавелевокислого калия остаются стойкими до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [2, 150]. По данным работы [4], стали типа Х17 при температуре кипения нестойки.

Хромоникелевые стали типа X18H10T, X17H13M2T в любых растворах оксалата калия стойки до температуры кипения (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [2, 4, 46, 150]. По данным работы [3], в любых растворах оксалата калия при температуре до 100°C и в 100%-ной соли при обычной температуре такие стали обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии $<0,5$ мм/год).

Двухфазные стали 08X22H6T, 08X21H6M2T в разбавленных (1%) растворах шавелевокислого калия при обычной температуре стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [112].

Сплавы на железоникелевой основе 03XH28MДТ, 06XH28MДТ в разбавленных (1%) растворах шавелевокислого калия при обычной температуре обладают высокой стойкостью (скорость коррозии $<0,01$ мм/год) [2]. В растворах концентрацией 10—40% при температуре ниже 100°C и в твердой соли при обычной температуре сплавы удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Никель в 100%-ной соли при обычной температуре корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Медь в твердой соли при обычной температуре обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Алюминий и алюминиевые сплавы с кремнием в растворе шавелевокислого калия концентрацией 5% при обычной температуре стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [2, 4, 46]. В 10%-ном растворе при температуре 100°C алюминий корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

43.2.4. Кальций шавелевокислый — $\text{C}_2\text{O}_4\text{Ca}$

Шавелевокислый кальций при обычных условиях кристаллизуется в виде моногидрата $\text{C}_2\text{O}_4\text{Ca}\cdot\text{H}_2\text{O}$. Оксалат кальция практически нерастворим в воде (0,0007% при 20°C ; 0,001% при 55°C ; 0,0012% при 65°C).

По данным работы [3], в растворах оксалата кальция и в твердой соли металлы и сплавы имеют следующую коррозионную стойкость.

Улеродистые стали и серые чугуны при обычной температуре в любых растворах шавелевокислого кальция неприменимы. В 100%-ной твердой соли при температуре до 100°C стали и чугуны корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в растворах оксалата кальция стойки до температуры 100°C (скорость коррозии $<0,5$ мм/год).

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в твердой соли при температуре до 100°C корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X13 и хромоникелевые стали типа X18H10T, X17H13M2T в растворах шавелевокислого кальция удовлетворительно стойки при температуре до 100°C (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28MДТ в растворах оксалата кальция при температуре ниже 100°C корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл, нихром (15—22% Cr, 6—8% Fe), сплавы типа ХН65МВ, Н70МФВ в растворах оксалата кальция об-

ладают удовлетворительной стойкостью до 100 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Монель-металл при обычной температуре в твердой соли корродирует со скоростью менее 0,5 мм/год.

Медь и медные сплавы. Медь, латунь в растворах шавелевокислого кальция удовлетворительно стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,5 мм/год).

Алюминий при обычной температуре в любых растворах шавелевокислого кальция неприменим (скорость коррозии >1,3 мм/год) [3, 62].

Свинец в твердой соли и в растворах оксалата кальция при температуре ниже 100 °С удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Другие металлы. Серебро в растворах оксалата кальция при температуре ниже 100 °С корродирует со скоростью менее 0,5 мм/год, титан, цирконий — со скоростью менее 0,05 мм/год.

43.2.5. Натрий шавелевокислый — $C_2O_4Na_2$

Шавелевокислый натрий плавится при температуре 250—270 °С, при температуре выше 400 °С разлагается. Оксалат натрия растворим в воде (3,3% при 20 °С; 4,4% при 50 °С; 6,1% при 100 °С), нерастворим в этиловом спирте.

Металлы и сплавы в шавелевокислом натрии обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали при обычной температуре в любых растворах шавелевокислого натрия неприменимы [3, 46, 62].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в 100%-ной соли оксалата натрия стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,5 мм/год) [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х28 в растворах шавелевокислого натрия при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год), при температуре кипения стали типа Х13 корродируют со скоростью 0,1—1 мм/год, стали типа Х17 — со скоростью менее 0,1 мм/год [2, 150].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в любых растворах оксалата натрия стойки до температуры 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [2, 150].

Двухфазная сталь 08Х22Н6Т в насыщенном растворе оксалата натрия сохраняет высокую стойкость до 100 °С (скорость коррозии <0,001 мм/год) [15, 255].

Алюминий и алюминиевые сплавы в насыщенном растворе шавелевокислого натрия при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,03 мм/год) [2, 4, 46]. В любых растворах оксалата натрия при температуре ниже 100 °С и в 100%-ной соли при обычной температуре алюминий корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Титан в твердой соли шавелевокислого натрия при обычной температуре стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

43.3. Салицилаты — $HOOC_6H_4COOH$

43.3.1. Аммоний салициловокислый — $HOOC_6H_4COO(NH_4)$

По данным работы [3], в 100%-ной соли салицилата аммония металлы и сплавы имеют следующую коррозионную стойкость.

Углеродистые стали и серые чугуны при обычной температуре стойки (скорость коррозии $<0,05$ мм/год).

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 при температуре до 50°C корродируют со скоростью менее $0,05$ мм/год, при температуре до 100°C — со скоростью $0,05$ — $0,5$ мм/год.

Никелевые чугуны (14—32% Ni) при обычной температуре стойки (скорость коррозии $<0,05$ мм/год).

Высоколегированные стали. Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т при температуре до 75°C стойки (скорость коррозии $<0,05$ мм/год).

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ при температуре ниже 75°C корродируют со скоростью менее $0,05$ мм/год.

Сплавы никеля типа ХН65МВ при температуре до 75°C стойки (скорость коррозии $<0,05$ мм/год).

Серебро сохраняет стойкость до 100°C (скорость коррозии $<0,05$ мм/год).

43.3.2. Натрий салициловокислый — $\text{HO}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{COONa}$

Салициловокислый натрий — кристаллическое вещество, растворимое в этиловом спирте (17,7% при 15°C), хорошо растворимое в воде (50% при 20°C ; 64,2% при 114°C ; 68% при 137°C).

Металлы и сплавы в салициловокислом натрии обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в растворах салициловокислого натрия концентрацией 10—90% при температуре до 100°C обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии $0,5$ — $1,3$ мм/год) [3]. По данным работы [2], углеродистые стали в насыщенном растворе при температуре 20°C нестойки. В 100%-ной соли при температуре 150°C стали и чугуны корродируют со скоростью менее $0,05$ мм/год [3].

Высоколегированные чугуны. Никелевые чугуны (14—32% Ni) в растворах салицилата натрия концентрацией 10—90% при температуре ниже 100°C обладают высокой стойкостью (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13, Х17 в насыщенном растворе салициловокислого натрия при обычной температуре корродируют со скоростью менее $0,1$ мм/год, стали типа Х25 — со скоростью менее $0,01$ мм/год [2, 112].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в насыщенном растворе салицилата натрия при обычной температуре стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [2, 4, 112], в растворах концентрацией 10—90% при температуре до 100°C — удовлетворительно стойки (скорость коррозии $0,05$ — $0,5$ мм/год) [3].

Двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т в насыщенном растворе салицилата натрия при температуре до 100°C стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [112].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в растворах салициловокислого натрия концентрацией 10—90% при температуре до 100°C обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии $0,05$ — $0,5$ мм/год) [3].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл, нихром (15—22% Сг, 6—8% Fe) в растворах салицилата натрия концентрацией 10—90% и в 100%-ной соли при температуре ниже 100°C стойки (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [3].

Медь и медные сплавы. Медь, латунь в растворах салицилата натрия концентрацией 10—90% при температуре до 100 °С стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Алюминий в растворах салициловокислого натрия концентрацией 10—90% и в 100%-ной соли при обычной температуре стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Другие металлы. Титан, тантал, серебро, платина в растворах салициловокислого натрия концентрацией 10—90% при температуре ниже 100 °С корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год, с такой же скоростью платина, титан, тантал корродируют в 100%-ной соли [3].

43.4. Тартраты — $C_4O_6H_4M_2$

43.4.1. Калий кислый виннокислый — $C_4O_6H_5K$

Дитартрат калия $C_4O_6H_5K$ плохо растворим в воде: 0,57% при 20 °С; 1,37% при 40 °С; 2,4% при 60 °С; 4,2% при 80 °С; 6,2% при 100 °С.

Металлы и сплавы в кислом виннокислом калии обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в любых растворах кислого виннокислого калия и в твердой соли при обычной температуре нестойки [3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС15М4, ЧС17, ЧС17М3 в насыщенных растворах дитартрата калия при температуре ниже 100 °С нестойки [3, 4].

Хромистые чугуны ЧХ28—ЧХ34 в насыщенных растворах кислого виннокислого калия до температуры 100 °С обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии <1 мм/год) [4].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х25 в насыщенных растворах дитартрата калия при температуре 100 °С нестойки [2—4].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в насыщенных растворах дитартрата калия обладают удовлетворительной стойкостью до температуры 100 °С (скорость коррозии <1 мм/год) [4, 46]. По данным работы [3], в этих условиях стали типа Х18Н10Т нестойки, стали типа Х17Н13М2Т — удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в насыщенных растворах кислого виннокислого калия при температур до 100 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3] (по данным работы [2] — нестойки).

Никель при обычной температуре в любых растворах дитартрата калия стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) [4, 46], при температуре до 100 °С в 5%-ном растворе — корродирует со скоростью 0,1 мм/год, в насыщенных растворах — со скоростью менее 0,5—1 мм/год [3, 4, 46].

Алюминий в насыщенных растворах кислого виннокислого калия стоек до температуры кипения [4, 46].

Серебро в насыщенных растворах дитартрата калия при температуре до 100 °С и в твердой соли при обычной температуре стойко (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

43.4.2. Натрий виннокислый — $C_4O_6H_4Na_2$

Виннокислый натрий кристаллизуется в виде дигидрата $C_4O_6H_4Na_2 \cdot 2H_2O$ с температурой плавления $57^\circ C$. При температуре $154^\circ C$ происходит обезвоживание соли. Тартрат натрия хорошо растворим в воде (22,5% при $6^\circ C$; 39,8% при $43^\circ C$). Раствор виннокислого натрия концентрацией 50% кипит при температуре $105,8^\circ C$.

По данным работы [3], в растворах и твердой соли виннокислого натрия металлы и сплавы обладают следующей коррозионной стойкостью.

Серые чугуны в растворах виннокислого натрия концентрацией до 40% при температуре ниже $100^\circ C$ стойки (скорость коррозии $<0,05$ мм/год).

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в растворах виннокислого натрия концентрацией до 30% при температуре ниже $100^\circ C$ и в твердой соли при обычной температуре стойки (скорость коррозии $<0,5$ мм/год).

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в растворах тартрата натрия концентрацией до 40% при температуре ниже $100^\circ C$ корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год, в твердой соли при обычной температуре — со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Высоколегированные стали. Хромистые стали применимы в растворах виннокислого натрия [4].

Хромоникелевые стали типа X18H10T, X17H13M2T в растворах виннокислого натрия концентрацией до 30% при температуре ниже $100^\circ C$ обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии $<0,5$ мм/год). В твердой соли при обычной температуре стали типа X18H10T корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в растворах виннокислого натрия концентрацией до 30% при температуре ниже $100^\circ C$ корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл, нихром (15—22% Cr, 6—8% Fe), сплавы типа ХН65МВ, Н70МФВ в растворах тартрата натрия концентрацией до 30% при температуре ниже $100^\circ C$ удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год). С такой же скоростью никель, монель-металл, нихром корродируют в твердой соли при обычной температуре.

Медь и медные сплавы. Медь в растворах виннокислого натрия концентрацией до 40% при обычной температуре стойка (скорость коррозии $<0,05$ мм/год), в растворах концентрацией до 30% при температуре ниже $100^\circ C$ и в твердой соли при обычной температуре — удовлетворительно стойка (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Латунь ($>60\%$ Cu) в растворах тартрата натрия концентрацией до 40% при обычной температуре нестойка (скорость коррозии $>1,3$ мм/год), в насыщенных растворах при температуре ниже $100^\circ C$ — удовлетворительно стойка (скорость коррозии $<0,5$ мм/год).

Алюминий в растворах виннокислого натрия концентрацией до 30% при температуре ниже $100^\circ C$ и в твердой соли при обычной температуре — удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Другие металлы. Титан, тантал, серебро, платина в растворах виннокислого натрия концентрацией до 30% при температуре ниже 100 °С и в твердой соли при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год). Свинец при обычной температуре в растворах концентрацией до 30% и в твердой соли нестойк (скорость коррозии >1,3 мм/год).

43.5. Формиаты — HCOOM

43.5.1. Алюминий муравьинокислый — (HCOO)₃Al

По данным работы [3], в формиате алюминия металлы и сплавы обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые стали при обычной температуре в растворах (10%) муравьинокислого алюминия удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,5—1,3 мм/год), в твердой соли — нестойки (скорость коррозии >1,3 мм/год).

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 при температуре до 100 °С в растворах муравьинокислого алюминия концентрацией до 10% корродируют со скоростью менее 0,5 мм/год, в 100%-ной соли — со скоростью менее 0,05 мм/год.

Высоколегированные стали. Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т при температуре до 100 °С в растворах (<10%) формиата алюминия и в 100%-ной соли обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в растворе муравьинокислого алюминия концентрацией 10% и в 100%-ной соли удовлетворительно стойки до 100 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл, нихром (15—22% Сг, 6—8% Fe), сплавы типа ХН65МВ, Н70МФВ при температуре ниже 100 °С в растворах формиата алюминия концентрацией менее 10% и в 100%-ной соли корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Медь и медные сплавы. Медь, томпак в 100%-ной соли муравьинокислого алюминия при обычной температуре удовлетворительно стойки (скорость коррозии <0,5 мм/год), при температуре 150 °С — нестойки (скорость коррозии >1,3 мм/год).

Алюминий в растворах формиата алюминия концентрацией до 30% при обычной температуре и в 100%-ной соли при температуре ниже 100 °С корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Свинец в 100%-ной соли муравьинокислого алюминия при обычной температуре удовлетворительно стоек (скорость коррозии <0,5 мм/год), при температуре 100 °С — нестойк (скорость коррозии >1,3 мм/год).

Другие металлы. Титан, цирконий в 100%-ной соли формиата алюминия сохраняют стойкость до температуры 100 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год).

Серебро при температуре ниже 100 °С в растворе муравьинокислого алюминия концентрацией 10% и в 100%-ной соли стойко (скорость коррозии <0,05 мм/год).

43.5.2. Аммоний муравьинокислый — HCOO(NH₄)

Муравьинокислый аммоний хорошо растворим в воде: 58,9% при 20 °С; 67% при 40 °С; 75,5% при 60 °С; 79,5% при 80 °С; 83,6% при 100 °С.

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл, сплавы типа ХН65МВ, Н70МФВ, нихром (15—22% Cr, 6—8% Fe) в любых растворах ацетата натрия стойки до температуры 100 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3]. В растворах концентрацией менее 32% монель-металл и никельмолибденовый сплав Н70МФВ стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1].

В 100%-ной соли никель стоек до температуры 380 °С, монель-металл — до 380 °С, нихром — до 400 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Медь и медные сплавы. Медь, бронза, латунь, мельхиор в любых растворах уксуснокислого натрия при температуре ниже 100 °С стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год). При температуре ниже 350 °С скорость коррозии меди возрастает до 0,5—1,3 мм/год, мельхиор остается стойким (скорость коррозии <0,05 мм/год). В расплаве ацетата натрия медь корродирует со скоростью менее 0,05 мм/год [3].

В растворах ацетата натрия концентрацией менее 32% при температуре до 60 °С медь стойка (скорость коррозии <0,1 мм/год), при температуре кипения — удовлетворительно стойка (скорость коррозии 0,1—1 мм/год) [1].

Алюминий в любых растворах уксуснокислого натрия стоек при обычной температуре, в 100%-ной соли — при температуре до 100 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Свинец в растворах ацетата натрия концентрацией менее 32% до температуры кипения корродирует со скоростью 0,1—3 мм/год и более [1]. При обычной температуре в любых растворах скорость коррозии свинца 0,5—1,3 мм/год [3].

Сурьмянистый свинец в насыщенных растворах уксуснокислого натрия стоек до температуры кипения (скорость коррозии <0,01 мм/год) [88].

Другие металлы. Титан, тантал, серебро в растворах ацетата натрия концентрацией до 32% стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 2]. По данным работы [3], титан, цирконий, тантал, серебро, платина, золото в любых растворах уксуснокислого натрия стойки до 100 °С, в 100%-ной соли серебро, платина — до 400 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год).

43.1.8. Никель уксуснокислый — $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ni}$

Уксуснокислый никель кристаллизуется в виде зеленых кристаллов тетрагидрата $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ni} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, которые на воздухе при температуре 90 °С обезвоживаются, а при температуре 250 °С — разлагаются. Ацетат никеля растворим в воде (14,2% при 20 °С), в этиловом спирте.

По данным работы [3], в уксуснокислом никеле металлы и сплавы имеют следующую коррозионную стойкость.

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в твердой соли стойки до температуры 100 °С (скорость коррозии <0,5 мм/год).

Высоколегированные стали. Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в твердой соли сохраняют стойкость до температуры 50 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год).

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ при температуре ниже 50 °С стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год).

Монель-металл при обычной температуре в твердой соли обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Алюминий в 10%-ном растворе уксуснокислого никеля при обычной температуре корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Хромистые чугуны ЧХ30—ЧХ34 в растворах уксуснокислого свинца концентрацией менее 25% стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [4, 46, 260].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х28 в растворах уксуснокислого свинца концентрацией менее 31% стойки до температуры кипения (скорость коррозии 0,1 мм/год) [1, 4, 46, 150]. При температуре кипения скорость коррозии сталей типа Х13 может достигать 1 мм/год [1, 112]. В расплаве соли при 280 °С стали типа Х17—Х28 остаются стойкими (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в растворах уксуснокислого свинца концентрацией менее 31% стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 4, 112, 150]. Согласно работам [62, 88], в растворах концентрацией до 25% при температуре ниже 100 °С стали корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год (по данным работы [3], менее 0,5 мм/год). В 100%-ной соли при температуре до 100 °С стали обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т в растворах уксуснокислого свинца концентрацией менее 25—30% стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 112].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в растворах уксуснокислого свинца концентрацией 10—20% и в 100%-ной соли при температуре ниже 100 °С удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Никель и сплавы никеля. Никель в разбавленных (10%) растворах ацетата свинца при температуре до 100 °С корродирует со скоростью менее 0,1 мм/год [2, 4, 46, 62] (по данным работы [3] — менее 0,5 мм/год). Согласно справочным данным [1], в растворах концентрацией до 31% никель стоек до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год). В 100%-ной соли при температуре ниже 100 °С скорость коррозии никеля 0,05—0,5 мм/год [3].

Монель-металл в растворах уксуснокислого свинца концентрацией менее 31% при обычной температуре стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1], в 10%-ном растворе и в 100%-ной соли при температуре ниже 100 °С — удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Сплавы типа ХН65МВУ, Н70МФВ в растворах ацетата свинца концентрацией до 31% при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1], в 100%-ной соли при температуре до 100 °С — удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Нихром (15—22% Cr, 6—8% Fe) в 100%-ной соли при температуре до 100 °С обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии <0,5 мм/год) [3].

Медь и медные сплавы. Медь, бронза оловянистая, латунь в растворах уксуснокислого свинца концентрацией 10—20% при обычной температуре корродируют со скоростью 0,5—1,3 мм/год [1, 3], в 10%-ном растворе при 100 °С — нестойки [3].

Алюминий и сплавы его с кремнием (силумины) в разбавленных (<10%) растворах уксуснокислого свинца при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год), при температуре выше 50—60 °С — нестойки [1]. В растворах концентрацией 10—30% алюминий нестойк при обычной температуре [3].

[2, 4, 15, 112], при температуре кипения — со скоростью менее 0,5 мм/год [2—4, 46]. В 100%-ной соли при температуре до 100 °С стали типа Х17Н13М2Т обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т в любых растворах щавелевокислого аммония при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [2, 15, 112].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в любых растворах щавелевокислого аммония при температуре ниже 100 °С удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл, нихром (15—22% Сг, 6—8% Fe) в любых растворах оксалата аммония при обычной температуре и в 10%-ном растворе при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Сплавы типа ХН65МВ, Н70МФВ в любых растворах щавелевокислого аммония при температуре до 100 °С удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Медь и медные сплавы. Медь и латунь в кислых деаэрированных растворах оксалата аммония концентрацией до 5% и в 100%-ной соли при обычной температуре корродируют со скоростью менее 0,5 мм/год [3].

Алюминий в любых растворах щавелевокислого аммония при обычной температуре удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год), в 10%-ном растворе при температуре 100 °С — нестойк (скорость коррозии 0,5—1,3 мм/год) [3].

Другие металлы. Серебро в 10%-ном растворе щавелевокислого аммония при температуре до 100 °С корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Цирконий в 100%-ной соли оксалата аммония при температуре до 100 °С стоек (скорость коррозии <0,05 м/год) [3].

Свинец в любых растворах щавелевокислого аммония при обычной температуре неприменим (скорость коррозии >1,3 мм/год) [3].

43.2.3. Калий щавелевокислый — $C_2O_4K_2$

Щавелевокислый калий кристаллизуется в виде моногидрата $C_2O_4K_2 \cdot H_2O$. При температуре 100—160 °С оксалат калия теряет кристаллизационную воду, выше 160 °С разлагается. Соль хорошо растворима в воде (26,4% при 20 °С; 33% при 50 °С; 44% при 100 °С).

Металлы и сплавы в щавелевокислом калии обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали при обычной температуре в любых растворах щавелевокислого калия неприменимы [3, 4, 46, 62]. В 100%-ной твердой соли углеродистые стали и серые чугуны при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13 в любых растворах щавелевокислого калия при обычной температуре корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [2, 4, 88, 150], при температуре кипения — со скоростью 0,5—1 мм/год [2, 150] (по данным работы [4] — нестойки). Стали типа Х17—Х28 в любых растворах щавелевокислого калия остаются стойкими до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [2, 150]. По данным работы [4], стали типа Х17 при температуре кипения нестойки.

ладают удовлетворительной стойкостью до 100 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Монель-металл при обычной температуре в твердой соли корродирует со скоростью менее 0,5 мм/год.

Медь и медные сплавы. Медь, латунь в растворах щавелевокислого кальция удовлетворительно стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,5 мм/год).

Алюминий при обычной температуре в любых растворах щавелевокислого кальция неприменим (скорость коррозии >1,3 мм/год) [3, 62].

Свинец в твердой соли и в растворах оксалата кальция при температуре ниже 100 °С удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Другие металлы. Серебро в растворах оксалата кальция при температуре ниже 100 °С корродирует со скоростью менее 0,5 мм/год, титан, цирконий — со скоростью менее 0,05 мм/год.

43.2.5. Натрий щавелевокислый — $C_2O_4Na_2$

Щавелевокислый натрий плавится при температуре 250—270 °С, при температуре выше 400 °С разлагается. Оксалат натрия растворим в воде (3,3% при 20 °С; 4,4% при 50 °С; 6,1% при 100 °С), нерастворим в этиловом спирте.

Металлы и сплавы в щавелевокислом натрии обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали при обычной температуре в любых растворах щавелевокислого натрия неприменимы [3, 46, 62].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в 100%-ной соли оксалата натрия стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,5 мм/год) [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х28 в растворах щавелевокислого натрия при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год), при температуре кипения стали типа Х13 корродируют со скоростью 0,1—1 мм/год, стали типа Х17 — со скоростью менее 0,1 мм/год [2, 150].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в любых растворах оксалата натрия стойки до температуры 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [2, 150].

Двухфазная сталь 08Х22Н6Т в насыщенном растворе оксалата натрия сохраняет высокую стойкость до 100 °С (скорость коррозии <0,001 мм/год) [15, 255].

Алюминий и алюминиевые сплавы в насыщенном растворе щавелевокислого натрия при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,03 мм/год) [2, 4, 46]. В любых растворах оксалата натрия при температуре ниже 100 °С и в 100%-ной соли при обычной температуре алюминий корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Титан в твердой соли щавелевокислого натрия при обычной температуре стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

43.3. Салицилаты — $HO_2C_6H_4COOH$

43.3.1. Аммоний салициловокислый — $HO_2C_6H_4COO(NH_4)$

По данным работы [3], в 100%-ной соли салицилата аммония металлы и сплавы имеют следующую коррозионную стойкость.

Медь и медные сплавы. Медь, латунь в растворах салицилата натрия концентрацией 10—90% при температуре до 100 °С стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Алюминий в растворах салициловокислого натрия концентрацией 10—90% и в 100%-ной соли при обычной температуре стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Другие металлы. Титан, тантал, серебро, платина в растворах салициловокислого натрия концентрацией 10—90% при температуре ниже 100 °С корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год, с такой же скоростью платина, титан, тантал корродируют в 100%-ной соли [3].

43.4. Тартраты — $C_4O_6H_4M_2$

43.4.1. Калий кислый виннокислый — $C_4O_6H_5K$

Дитарtrat калия $C_4O_6H_5K$ плохо растворим в воде: 0,57% при 20 °С; 1,37% при 40 °С; 2,4% при 60 °С; 4,2% при 80 °С; 6,2% при 100 °С.

Металлы и сплавы в кислом виннокислом калии обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в любых растворах кислого виннокислого калия и в твердой соли при обычной температуре нестойки [3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС15М4, ЧС17, ЧС17М3 в насыщенных растворах дитартрата калия при температуре ниже 100 °С нестойки [3, 4].

Хромистые чугуны ЧХ28—ЧХ34 в насыщенных растворах кислого виннокислого калия до температуры 100 °С обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии <1 мм/год) [4].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х25 в насыщенных растворах дитартрата калия при температуре 100 °С нестойки [2—4].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в насыщенных растворах дитартрата калия обладают удовлетворительной стойкостью до температуры 100 °С (скорость коррозии <1 мм/год) [4, 46]. По данным работы [3], в этих условиях стали типа Х18Н10Т нестойки, стали типа Х17Н13М2Т — удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в насыщенных растворах кислого виннокислого калия при температур до 100 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3] (по данным работы [2] — нестойки).

Никель при обычной температуре в любых растворах дитартрата калия стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) [4, 46], при температуре до 100 °С в 5%-ном растворе — корродирует со скоростью 0,1 мм/год, в насыщенных растворах — со скоростью менее 0,5—1 мм/год [3, 4, 46].

Алюминий в насыщенных растворах кислого виннокислого калия стоек до температуры кипения [4, 46].

Серебро в насыщенных растворах дитартрата калия при температуре до 100 °С и в твердой соли при обычной температуре стойко (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Другие металлы. Титан, тантал, серебро, платина в растворах виннокислого натрия концентрацией до 30% при температуре ниже 100 °С и в твердой соли при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год). Свинец при обычной температуре в растворах концентрацией до 30% и в твердой соли нестойк (скорость коррозии >1,3 мм/год).

43.5. Формиаты — НСООМ

43.5.1. Алюминий муравьинокислый — (НСОО)₃Al

По данным работы [3], в формиате алюминия металлы и сплавы обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые стали при обычной температуре в растворах (10%) муравьинокислого алюминия удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,5—1,3 мм/год), в твердой соли — нестойки (скорость коррозии >1,3 мм/год).

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 при температуре до 100 °С в растворах муравьинокислого алюминия концентрацией до 10% корродируют со скоростью менее 0,5 мм/год, в 100%-ной соли — со скоростью менее 0,05 мм/год.

Высоколегированные стали. Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т при температуре до 100 °С в растворах (<10%) формиата алюминия и в 100%-ной соли обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в растворе муравьинокислого алюминия концентрацией 10% и в 100%-ной соли удовлетворительно стойки до 100 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл, нихром (15—22% Сг, 6—8% Fe), сплавы типа ХН65МВ, Н70МФВ при температуре ниже 100 °С в растворах формиата алюминия концентрацией менее 10% и в 100%-ной соли корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Медь и медные сплавы. Медь, томпак в 100%-ной соли муравьинокислого алюминия при обычной температуре удовлетворительно стойки (скорость коррозии <0,5 мм/год), при температуре 150 °С — нестойки (скорость коррозии >1,3 мм/год).

Алюминий в растворах формиата алюминия концентрацией до 30% при обычной температуре и в 100%-ной соли при температуре ниже 100 °С корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Свинец в 100%-ной соли муравьинокислого алюминия при обычной температуре удовлетворительно стоек (скорость коррозии <0,5 мм/год), при температуре 100 °С — нестойк (скорость коррозии >1,3 мм/год).

Другие металлы. Титан, цирконий в 100%-ной соли формиата алюминия сохраняют стойкость до температуры 100 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год).

Серебро при температуре ниже 100 °С в растворе муравьинокислого алюминия концентрацией 10% и в 100%-ной соли стойко (скорость коррозии <0,05 мм/год).

43.5.2. Аммоний муравьинокислый — НСОО(NH₄)

Муравьинокислый аммоний хорошо растворим в воде: 58,9% при 20 °С; 67% при 40 °С; 75,5% при 60 °С; 79,5% при 80 °С; 83,6% при 100 °С.

По данным работы [3], в формиате аммония металлы и сплавы обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны при температуре 100 °С в растворе формиата аммония концентрацией 20% и в 100%-ной соли нестойки (скорость коррозии >1,3 мм/год).

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 при температуре до 100 °С в любых растворах муравьинокислого аммония и в 100%-ной соли стойки (скорость коррозии <0,5 мм/год).

Высоколегированные стали. Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т при температуре ниже 100 °С в любых растворах формиата аммония и в 100%-ной соли обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в любых растворах муравьинокислого аммония и в 100%-ной соли удовлетворительно стойки до 100 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металлы в любых растворах муравьинокислого аммония при температуре до 100 °С обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Сплавы типа ХН65МВ, Н70МФВ в растворах муравьинокислого аммония концентрацией до 40% при температуре ниже 75 °С корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год, при температуре 100 °С — со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Нихром (15—22% Сг, 6—8% Fe) в любых растворах муравьинокислого аммония и в 100%-ной соли удовлетворительно стоек до 100 °С (скорость коррозии <0,5 мм/год).

Медь и медные сплавы. Медь, томпак при температуре 100 °С в деаэрированном растворе муравьинокислого аммония концентрацией 10% обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год), в 100%-ной соли — нестойки.

Латунь (>60% Cu) в 100%-ной соли муравьинокислого аммония нестойка.

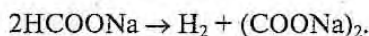
Алюминий при температуре 100 °С в 10%-ном растворе муравьинокислого аммония обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Свинец в разбавленных (10%) растворах муравьинокислого аммония при температуре до 100 °С корродирует со скоростью 0,5—1,3 мм/год.

Другие металлы. Титан, цирконий, серебро при температуре ниже 100 °С в любых растворах муравьинокислого аммония и в 100%-ной соли стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год).

43.5.3. Натрий муравьинокислый — HCOONa

Муравьинокислый натрий хорошо растворим в воде (46,5% при 20 °С; 51,8% при 40 °С; 54,6% при 60 °С; 57,6% при 80 °С; 61,4% при 100 °С), растворим в этиловом спирте, нерастворим в эфире. Формиат натрия плавится при температуре 253 °С, выше 300 °С разлагается. При быстром нагреве до 400 °С из формиата натрия выделяется водород и образуется щавелевокислый натрий:



По данным работы [3], в муравьинокислом натрия металлы и сплавы обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны при температуре до 100 °С в любых растворах муравьинокислого натрия с $\text{pH} > 7$ корродируют со скоростью менее 0,5 мм/год, в 100%-ной соли — со скоростью менее 0,05 мм/год.

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17, никелевые чугуны (14—32% Ni) при температуре до 100 °С в любых растворах муравьинокислого натрия стойки (скорость коррозии $< 0,5$ мм/год).

Высоколегированные стали. Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т при температуре ниже 100 °С в любых растворах формиата натрия удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в любых растворах муравьинокислого натрия обладают удовлетворительной стойкостью до 100 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл, нихром (15—22% Cr, 6—8% Fe), сплавы типа ХН65МВ, Н70МФВ в любых растворах муравьинокислого натрия при температуре до 100 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год. В 100%-ной соли никель, монель-металл, нихром стойки при температуре до 250 °С (скорость коррозии $< 0,05$ мм/год).

Медь и медные сплавы. Медь, томпак, латунь ($> 60\%$ Cu) при температуре до 100 °С в любых растворах муравьинокислого натрия обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Алюминий в любых нейтральных растворах муравьинокислого натрия корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Свинец в любых растворах муравьинокислого натрия с $\text{pH} < 7$ сохраняет удовлетворительную стойкость (скорость коррозии $< 0,5$ мм/год) до температуры 100 °С.

Другие металлы. Серебро при температуре ниже 100 °С в любых растворах муравьинокислого натрия корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год, цирконий, платина, золото — со скоростью менее 0,05 мм/год. В 100%-ной соли платина, золото стойки до 250 °С (скорость коррозии $< 0,05$ мм/год).

43.6. Цитраты — $\text{C}_3\text{H}_4(\text{OH})(\text{COO})_3\text{M}_3$

43.6.1. Аммоний лимоннокислый — $\text{C}_3\text{H}_4(\text{OH})(\text{COO})_3(\text{NH}_4)_3$

Лимоннокислый аммоний при обычных условиях — кристаллическое вещество, растворимое в воде, плохо растворимое в этиловом спирте.

По данным работы [3], в лимоннокислом аммонии металлы и сплавы обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали при обычной температуре в растворах лимоннокислого аммония концентрацией 10—40% нестойки, в 100%-ной соли — стойки (скорость коррозии $< 0,05$ мм/год).

Серые чугуны при обычной температуре в 30%-ном растворе лимоннокислого аммония корродируют со скоростью более 1,3 мм/год.

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 при температуре ниже 100 °С в растворах лимоннокислого аммония концентрацией 10—40% и в твердой соли стойки (скорость коррозии $< 0,5$ мм/год).

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в растворах лимоннокислого аммония концентрацией 30% при обычной температуре нестойки (скорость коррозии >1,3 мм/год).

Высоколегированные стали. Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т при температуре ниже 100 °С в растворах цитрата аммония концентрацией 10—40% удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в растворах лимоннокислого аммония концентрацией 10—40% обладают удовлетворительной стойкостью при температуре до 100 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Никель и сплавы никеля. Никель при температуре ниже 100 °С удовлетворительно стоек (скорость коррозии <0,5 мм/год) в нейтральных растворах цитрата аммония концентрацией 10—40%, монель-металл — в растворах концентрацией 10—30%.

Сплавы типа ХН65МВ, Н70МФВ, нихром (15—22% Cr, 6—8% Fe) при температуре до 100 °С в 10%-ном растворе лимоннокислого аммония и в 100%-ной соли корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Алюминий в растворах лимоннокислого аммония концентрацией 10—40% при обычной температуре корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год, при температуре 75 °С — со скоростью 0,5—1,3 мм/год. В 100%-ной соли при обычной температуре скорость коррозии алюминия менее 0,5 мм/год, при 100 °С — 0,5—1,3 мм/год.

Титан при температуре ниже 100 °С в растворах цитрата аммония концентрацией 10—30% стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год), в 100%-ной соли — корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Цирконий в 10%-ном растворе лимоннокислого аммония стоек до 100 °С, в растворах концентрацией 20—30% — до 50 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год). В 100%-ной соли при температуре до 100 °С цирконий стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год).

Другие металлы. Серебро при температуре ниже 100 °С в растворах лимоннокислого аммония концентрацией 10—40% и в 100%-ной соли корродирует со скоростью менее 0,05 мм/год, свинец в 100%-ной соли — нестойк.

43.6.2. Калий лимоннокислый — $C_3H_4(OH)(COO)_3K_3$

Лимоннокислый калий кристаллизуется в виде моногидрата $C_3H_4(OH)(COO)_3K_3 \cdot H_2O$. Соль плавится при температуре 230 °С (с разложением). Цитрат калия хорошо растворим в воде (61,8% при 15 °С; 63,2% при 20 °С; 66% при 30 °С), плохо растворим в этиловом спирте.

По данным работы [3], в лимоннокислом калии металлы и сплавы обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны при обычной температуре в 100%-ном лимоннокислом калии стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год).

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в 100%-ном лимоннокислом калии стойки до температуры 100 °С (скорость коррозии <0,5 мм/год).

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в 100%-ной соли цитрата калия при обычной температуре корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

43.6.3. Натрий лимоннокислый — $C_3H_4(OH)(COO)_3Na_3$

Лимоннокислый натрий кристаллизуется в виде дигидрата $C_3H_4(OH)(COO)_3Na_3 \cdot 2H_2O$. Соль плавится при температуре $150^\circ C$ (с дегидратацией). Цитрат натрия растворим в воде, нерастворим в этиловом спирте.

Металлы и сплавы в лимоннокислом натрии обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали при обычной температуре в растворах лимоннокислого натрия концентрацией 3—10% нестойки (скорость коррозии $>1,3$ мм/год), в 100%-ной соли — стойки (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [2, 3].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в 100%-ной соли лимоннокислого натрия стойки при температуре до $100^\circ C$ (скорость коррозии $<0,5$ мм/год) [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали при обычной температуре в разбавленном (3,5%) растворе лимоннокислого натрия стойки: стали типа Х13, Х17 корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год, стали типа Х25 — со скоростью менее 0,01 мм/год [2, 88, 112].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т при обычной температуре в разбавленном (3,5%) растворе лимоннокислого натрия обладают высокой стойкостью (скорость коррозии $<0,01$ мм/год) [2, 112]. В более концентрированных (10—40%) растворах при температуре до $100^\circ C$ и в 100%-ной соли цитрата натрия при обычной температуре скорость коррозии сталей 0,05—0,5 мм/год [3].

Двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т в разбавленном (3,5%) растворе лимоннокислого натрия при обычной температуре стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [112].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в разбавленном (3,5%) растворе цитрата натрия при обычной температуре обладают высокой стойкостью (скорость коррозии $<0,01$ мм/год) [2]. В более концентрированных (10—40%) растворах при температуре до $100^\circ C$ и в 100%-ной соли при обычной температуре сплавы корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Сплавы никеля. Монель-металл при обычной температуре в 100%-ной соли цитрата натрия удовлетворительно стоек (скорость коррозии $<0,5$ мм/год) [3].

Сплавы типа ХН65МВ, Н70МФВ при обычной температуре в растворах лимоннокислого натрия концентрацией 10—50% корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год, в твердой соли — со скоростью менее 0,05 мм/год [3].

Другие металлы. Титан в 50%-ном растворе цитрата натрия при температуре $75^\circ C$ стоек (скорость коррозии $<0,05$ мм/год), серебро с такой же скоростью корродирует в растворах концентрацией 10—70% при температуре до $100^\circ C$, тантал — в растворах концентрацией 10—90% при обычной температуре [3]. Алюминий при обычной температуре нестойк в разбавленных (10%) растворах лимоннокислого натрия, свинец — в растворах концентрацией 10—50% [3].

Медь, алюминий, свинец при обычной температуре в твердой соли цитрата натрия нестойки (скорость коррозии $>1,3$ мм/год) [3].

ГЛАВА 44. СПИРТЫ

Спирты являются производными углеводородов, в которых атомы водорода замещены на гидроксильную группу. По числу гидроксидов спирты бывают одноатомными, двухатомными и т.д. Молекулы спиртов обладают дипольным моментом (для этилового спирта $\mu = 1,7$) и за счет водородных связей образуют ассоциаты, что приводит к аномальному повышению температуры кипения спиртов.

Низшие спирты при обычных условиях представляют собой жидкости, высшие (начиная с C_{12}) — твердые вещества. Низшие спирты ($C_1—C_3$) смешиваются с водой в любых соотношениях, следующие гомологи ограниченно растворимы в воде (C_5 до 10%), высшие спирты практически нерастворимы в воде. Как сами спирты, так и их растворы не обладают заметной электропроводностью. Гидроксильная группа спиртов не диссоциирует, не образует иона водорода ($K = 10^{-16} \div 10^{-19}$), поэтому спирты являются нейтральными соединениями.

Спирты оказывают ограниченное коррозионное воздействие на металлы и сплавы. В сильно обезвоженных спиртах, особенно с большим молекулярным весом, алюминий интенсивно корродирует при температуре кипения [68]. Агрессивность спиртов увеличивают содержащиеся в них примеси и продукты распада. Так, медь корродирует в спиртах только в присутствии каких-либо агрессивных компонентов [206]. Аустенитные нержавеющие стали обладают высокой коррозионной стойкостью в спиртах и не вызывают изменения их цвета при температуре 100—150 °C [206]. Необходимо отметить, что смесь спиртов иногда может оказывать большее коррозионное воздействие на металлические материалы, чем отдельные спирты, входящие в ее состав [301].

44.1. Аллиловый спирт — $CH_2=CHCH_2OH$

Аллиловый (2-пропен-1-ол) спирт — простейший, существующий в свободном виде, ненасыщенный спирт с температурой плавления -129 °C. При обычных условиях это жидкость с температурой кипения $96,9$ °C. Аллиловый спирт с водой и органическими растворителями (этиловым спиртом, эфиром) смешивается в любых соотношениях. С водой аллиловый спирт образует азеотропную смесь концентрацией 82,3%, кипящую при температуре $88,89$ °C.

Аллиловый спирт вступает во все реакции, свойственные первичным спиртам и этиленовым углеводородам. Химические реакции обусловлены наличием в молекуле спирта гидроксила и двойной связи.

По данным работы [3], в аллиловом спирте металлы и сплавы обладают следующей коррозионной стойкостью.

Серые чугуны в чистом спирте и в растворах любой концентрации обладают высокой стойкостью до температуры 100 °C (скорость коррозии $<0,05$ мм/год).

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 и никелевые чугуны (14—32% Ni) при температуре ниже 100 °C в чистом аллиловом спирте и в любых растворах стойки (скорость коррозии $<0,05$ мм/год).

Высоколегированные стали. Хромоникелевые стали типа X18H10T, X17H13M2T в любых растворах аллилового спирта стойки до температуры 100 °C, в чистом спирте — до 150 °C (скорость коррозии $<0,05$ мм/год).

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в растворах алиливого спирта концентрацией менее 100% стойки до 100 °С, в 100%-ном спирте — до 150 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год).

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл, нихром (15—22% Сг, 6—8% Fe), сплавы типа ХН65МВ, Н70МФВ в любых растворах алиливого спирта стойки при температуре до 100 °С, в чистом спирте — до 150 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год).

Медь и медные сплавы. Медь, томпак, латунь (70—80% Cu; Zn, Sn, Pb) в любых растворах алиливого спирта стойки при температуре до 100 °С. В чистом спирте медь стойка до 210 °С, латунь — до 125 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год).

Алюминиевая латунь (>60% Cu) в растворах алиливого спирта концентрацией 10—100% удовлетворительно стойка до 100 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Алюминий в любых растворах алиливого спирта при температуре ниже 100 °С удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год), в 90%-ном растворе при температуре 150 °С — нестойк.

Свинец при температуре ниже 100 °С в чистом алилиловом спирте стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год), в любых растворах — удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Другие металлы. Титан, цирконий, серебро при температуре ниже 100 °С в любых растворах алиливого спирта корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год.

44.2. *n*-Амиловый спирт — $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CH}_2\text{OH}$

Нормальный амиловый спирт (1-пентанол) при обычных условиях — жидкость с температурой кристаллизации —78,2 °С и температурой кипения 137,8 °С. Этот спирт плохо растворим в воде (2,7% при 22 °С), растворим в органических растворителях (этиловом спирте, эфире). С водой *n*-амиловый спирт образует азеотропную смесь концентрацией 45,6%, кипящую при температуре 95,8 °С.

Металлы и сплавы в *n*-амиловом спирте обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны при температуре до 100 °С в чистом 100%-ном спирте корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [1, 3] (по данным работы [2], менее 0,5 мм/год). При контакте с воздухом и наличии влаги в спирте коррозия усиливается [1, 44].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в чистом спирте при температуре ниже 75 °С корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год [1, 3], при 100 °С — со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в чистом спирте сохраняют высокую стойкость до 100 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13 при температуре ниже 100 °С в 100%-ном спирте стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [2].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в чистом *n*-амиловом спирте при температуре до 100 °С корродируют со скоростью менее 0,01 мм/год [1—3], в растворах спирта при температуре до 50 °С — со скоростью менее 0,05 мм/год [3].

Двухфазная сталь 08Х22Н6Т в *n*-амиловом спирте при обычной температуре стойка (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 15].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в 100%-ном спирте при температуре до 100 °С обладают высокой стойкостью (скорость коррозии 0,01 мм/год) [2, 3].

Никель и сплавы никеля. Никель в чистом *n*-амиловом спирте при обычной температуре стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1]. В спирте типа «сырец» никель стоек до 50 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год), при температуре до 100 °С — удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Монель-металл, нихром (15—22% Сг, 6—8% Fe), сплавы типа ХН65МВ, Н70МФВ в чистом *n*-амиловом спирте при температуре ниже 100 °С стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) [1, 3].

Медь и медные сплавы. Медь, бронза в 100%-ном *n*-амиловом спирте стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1]. По данным работы [3], медь в *n*-амиловом спирте, содержащем менее 0,1% влаги, при температуре ниже 100 °С стойка, при 125 °С — нестойка (скорость коррозии >1,3 мм/год).

Латуни (Zn, Sn, Pb) в 100%-ном спирте при температуре до 50 °С корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год, при температуре до 100 °С — со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Алюминий в чистом *n*-амиловом спирте стоек до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 61], в спирте, содержащем до 0,1% влаги, при обычной температуре — корродирует со скоростью менее 0,05 мм/год, при 125 °С — нестойк [3].

Другие металлы. Цинк, свинец, титан, цирконий, серебро, платина при температуре ниже 100 °С в 100%-ном *n*-амиловом спирте корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год [2, 3].

44.3. *изо*-Амиловый спирт — $(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$

Изомер амилового спирта (3-метил-1-бутанол) при обычных условиях — жидкость с температурой кристаллизации $-117,2$ °С и температурой кипения 132 °С. Изоамиловый спирт плохо растворим в воде (2,6% при 20 °С), растворим в органических растворителях (этиловом спирте, эфире). С водой изоамиловый спирт образует азеотропную смесь концентрацией 50,4%, кипящую при температуре $95,15$ °С.

Технический изоамиловый спирт, содержащий примесь другого изомера (2-метил-1-бутанола), часто называют просто амиловым спиртом. Эти два изомера амилового спирта являются главной составной частью сивушных масел.

В изоамиловом спирте металлы и сплавы обладают следующей стойкостью. **Углеродистые стали и серые чугуны** в чистом изоамиловом спирте применимы [4]. При температуре 120 — 130 °С углеродистые стали корродируют со скоростью $0,4$ — $0,5$ мм/год [276]. В спирте «сырец» углеродистые стали нестойки [4].

Высоколегированные стали. Хромистые стали 08Х13, 08Х17Т, хромоникелевая сталь 12Х18Н10Т, двухфазная сталь 08Х22Н6Т в 100%-ном изоамиловом спирте стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [276].

По данным работы [3], в формиате аммония металлы и сплавы обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны при температуре 100 °С в растворе формиата аммония концентрацией 20% и в 100%-ной соли нестойки (скорость коррозии >1,3 мм/год).

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 при температуре до 100 °С в любых растворах муравьинокислого аммония и в 100%-ной соли стойки (скорость коррозии <0,5 мм/год).

Высоколегированные стали. Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т при температуре ниже 100 °С в любых растворах формиата аммония и в 100%-ной соли обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в любых растворах муравьинокислого аммония и в 100%-ной соли удовлетворительно стойки до 100 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл в любых растворах муравьинокислого аммония при температуре до 100 °С обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Сплавы типа ХН65МВ, Н70МФВ в растворах муравьинокислого аммония концентрацией до 40% при температуре ниже 75 °С корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год, при температуре 100 °С — со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Нихром (15—22% Сг, 6—8% Fe) в любых растворах муравьинокислого аммония и в 100%-ной соли удовлетворительно стойки до 100 °С (скорость коррозии <0,5 мм/год).

Медь и медные сплавы. Медь, томпак при температуре 100 °С в деаэрированном растворе муравьинокислого аммония концентрацией 10% обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год), в 100%-ной соли — нестойки.

Латунь (>60% Cu) в 100%-ной соли муравьинокислого аммония нестойка.

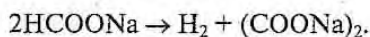
Алюминий при температуре 100 °С в 10%-ном растворе муравьинокислого аммония обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Свинец в разбавленных (10%) растворах муравьинокислого аммония при температуре до 100 °С корродирует со скоростью 0,5—1,3 мм/год.

Другие металлы. Титан, цирконий, серебро при температуре ниже 100 °С в любых растворах муравьинокислого аммония и в 100%-ной соли стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год).

43.5.3. Натрий муравьинокислый — HCOONa

Муравьинокислый натрий хорошо растворим в воде (46,5% при 20 °С; 51,8% при 40 °С; 54,6% при 60 °С; 57,6% при 80 °С; 61,4% при 100 °С), растворим в этиловом спирте, нерастворим в эфире. Формиат натрия плавится при температуре 253 °С, выше 300 °С разлагается. При быстром нагреве до 400 °С из формиата натрия выделяется водород и образуется щавелевокислый натрий:



Никелевые чугуны (14—32% Ni) в растворах лимоннокислого аммония концентрацией 30% при обычной температуре нестойки (скорость коррозии >1,3 мм/год).

Высоколегированные стали. Хромоникелевые стали типа X18H10T, X17H13M2T при температуре ниже 100 °С в растворах цитрата аммония концентрацией 10—40% удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в растворах лимоннокислого аммония концентрацией 10—40% обладают удовлетворительной стойкостью при температуре до 100 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Никель и сплавы никеля. Никель при температуре ниже 100 °С удовлетворительно стоек (скорость коррозии <0,5 мм/год) в нейтральных растворах цитрата аммония концентрацией 10—40%, монель-металл — в растворах концентрацией 10—30%.

Сплавы типа ХН65МВ, Н70МФВ, нихром (15—22% Cr, 6—8% Fe) при температуре до 100 °С в 10%-ном растворе лимоннокислого аммония и в 100%-ной соли корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Алюминий в растворах лимоннокислого аммония концентрацией 10—40% при обычной температуре корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год, при температуре 75 °С — со скоростью 0,5—1,3 мм/год. В 100%-ной соли при обычной температуре скорость коррозии алюминия менее 0,5 мм/год, при 100 °С — 0,5—1,3 мм/год.

Титан при температуре ниже 100 °С в растворах цитрата аммония концентрацией 10—30% стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год), в 100%-ной соли — корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Цирконий в 10%-ном растворе лимоннокислого аммония стоек до 100 °С, в растворах концентрацией 20—30% — до 50 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год). В 100%-ной соли при температуре до 100 °С цирконий стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год).

Другие металлы. Серебро при температуре ниже 100 °С в растворах лимоннокислого аммония концентрацией 10—40% и в 100%-ной соли корродирует со скоростью менее 0,05 мм/год, свинец в 100%-ной соли — нестойк.

43.6.2. Калий лимоннокислый — $C_3H_4(OH)(COO)_3K_3$

Лимоннокислый калий кристаллизуется в виде моногидрата $C_3H_4(OH)(COO)_3K_3 \cdot H_2O$. Соль плавится при температуре 230 °С (с разложением). Цитрат калия хорошо растворим в воде (61,8% при 15 °С; 63,2% при 20 °С; 66% при 30 °С), плохо растворим в этиловом спирте.

По данным работы [3], в лимоннокислом калии металлы и сплавы обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны при обычной температуре в 100%-ном лимоннокислом калии стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год).

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в 100%-ном лимоннокислом калии стойки до температуры 100 °С (скорость коррозии <0,5 мм/год).

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в 100%-ной соли цитрата калия при обычной температуре корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

ГЛАВА 44. СПИРТЫ

Спирты являются производными углеводов, в которых атомы водорода замещены на гидроксильную группу. По числу гидроксидов спирты бывают одноатомными, двухатомными и т.д. Молекулы спиртов обладают дипольным моментом (для этилового спирта $\mu = 1,7$) и за счет водородных связей образуют ассоциаты, что приводит к аномальному повышению температуры кипения спиртов.

Низшие спирты при обычных условиях представляют собой жидкости, высшие (начиная с C_{12}) — твердые вещества. Низшие спирты ($C_1—C_3$) смешиваются с водой в любых соотношениях, следующие гомологи ограниченно растворимы в воде (C_5 до 10%), высшие спирты практически нерастворимы в воде. Как сами спирты, так и их растворы не обладают заметной электропроводностью. Гидроксильная группа спиртов не диссоциирует, не образует иона водорода ($K = 10^{-16} \div 10^{-19}$), поэтому спирты являются нейтральными соединениями.

Спирты оказывают ограниченное коррозионное воздействие на металлы и сплавы. В сильно обезвоженных спиртах, особенно с большим молекулярным весом, алюминий интенсивно корродирует при температуре кипения [68]. Агрессивность спиртов увеличивают содержащиеся в них примеси и продукты распада. Так, медь корродирует в спиртах только в присутствии каких-либо агрессивных компонентов [206]. Аустенитные нержавеющие стали обладают высокой коррозионной стойкостью в спиртах и не вызывают изменения их цвета при температуре 100—150 °С [206]. Необходимо отметить, что смесь спиртов иногда может оказывать большее коррозионное воздействие на металлические материалы, чем отдельные спирты, входящие в ее состав [301].

44.1. Аллиловый спирт — $CH_2=CHCH_2OH$

Аллиловый (2-пропен-1-ол) спирт — простейший, существующий в свободном виде, ненасыщенный спирт с температурой плавления -129 °С. При обычных условиях это жидкость с температурой кипения 96,9 °С. Аллиловый спирт с водой и органическими растворителями (этиловым спиртом, эфиром) смешивается в любых соотношениях. С водой аллиловый спирт образует азеотропную смесь концентрацией 82,3%, кипящую при температуре 88,89 °С.

Аллиловый спирт вступает во все реакции, свойственные первичным спиртам и этиленовым углеводородам. Химические реакции обусловлены наличием в молекуле спирта гидроксидла и двойной связи.

По данным работы [3], в аллиловом спирте металлы и сплавы обладают следующей коррозионной стойкостью.

Серые чугуны в чистом спирте и в растворах любой концентрации обладают высокой стойкостью до температуры 100 °С (скорость коррозии $<0,05$ мм/год).

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 и никелевые чугуны (14—32% Ni) при температуре ниже 100 °С в чистом аллиловом спирте и в любых растворах стойки (скорость коррозии $<0,05$ мм/год).

Высоколегированные стали. Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в любых растворах аллилового спирта стойки до температуры 100 °С, в чистом спирте — до 150 °С (скорость коррозии $<0,05$ мм/год).

Двухфазная сталь 08Х22Н6Т в *n*-амиловом спирте при обычной температуре стойка (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 15].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в 100%-ном спирте при температуре до 100 °С обладают высокой стойкостью (скорость коррозии 0,01 мм/год) [2, 3].

Никель и сплавы никеля. Никель в чистом *n*-амиловом спирте при обычной температуре стоек (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1]. В спирте типа «сырец» никель стоек до 50 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год), при температуре до 100 °С — удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Монель-металл, нихром (15—22% Cr, 6—8% Fe), сплавы типа ХН65МВ, Н70МФВ в чистом *n*-амиловом спирте при температуре ниже 100 °С стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) [1, 3].

Медь и медные сплавы. Медь, бронза в 100%-ном *n*-амиловом спирте стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1]. По данным работы [3], медь в *n*-амиловом спирте, содержащем менее 0,1% влаги, при температуре ниже 100 °С стойка, при 125 °С — нестойка (скорость коррозии >1,3 мм/год).

Латуни (Zn, Sn, Pb) в 100%-ном спирте при температуре до 50 °С корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год, при температуре до 100 °С — со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3].

Алюминий в чистом *n*-амиловом спирте стоек до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 61], в спирте, содержащем до 0,1% влаги, при обычной температуре — корродирует со скоростью менее 0,05 мм/год, при 125 °С — нестойк [3].

Другие металлы. Цинк, свинец, титан, цирконий, серебро, платина при температуре ниже 100 °С в 100%-ном *n*-амиловом спирте корродируют со скоростью менее 0,05 мм/год [2, 3].

44.3. *изо*-Амиловый спирт — $(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$

Изомер амилового спирта (3-метил-1-бутанол) при обычных условиях — жидкость с температурой кристаллизации $-117,2$ °С и температурой кипения 132 °С. Изоамиловый спирт плохо растворим в воде (2,6% при 20 °С), растворим в органических растворителях (этиловом спирте, эфире). С водой изоамиловый спирт образует азеотропную смесь концентрацией 50,4%, кипящую при температуре $95,15$ °С.

Технический изоамиловый спирт, содержащий примесь другого изомера (2-метил-1-бутанола), часто называют просто амиловым спиртом. Эти два изомера амилового спирта являются главной составной частью сивушных масел.

В изоамиловом спирте металлы и сплавы обладают следующей стойкостью. **Углеродистые стали и серые чугуны** в чистом изоамиловом спирте применимы [4]. При температуре 120 — 130 °С углеродистые стали корродируют со скоростью $0,4$ — $0,5$ мм/год [276]. В спирте «сырец» углеродистые стали нестойки [4].

Высоколегированные стали. Хромистые стали 08Х13, 08Х17Т, хромоникелевая сталь 12Х18Н10Т, двухфазная сталь 08Х22Н6Т в 100%-ном изоамиловом спирте стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [276].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл, нихром применимы в чистом изоамиловом спирте. Никель применим в спирте «сырец» [4].

Алюминий в изоамиловом спирте удовлетворительно стоек до температуры 130 °С (скорость коррозии <0,3 мм/год) [4]. По данным работы [276], при температуре 120—130 °С алюминий и сплав АМгЗ в 100%-ном спирте стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год).

Другие металлы. В изоамиловом спирте применимы бронза, латунь, свинец, олово, серебро, платина [4].

44.4. Бензиловый спирт — $C_6H_5CH_2OH$

Бензиловый спирт (фенилметанол) — простейший ароматический спирт. При обычных условиях бензиловый спирт — бесцветная жидкость с температурой кристаллизации $-15,5$ °С и температурой кипения $205,5$ °С. Спирт труднорастворим в воде (4% при 17 °С), растворим в органических растворителях (этиловом спирте, эфире). С водой бензиловый спирт образует азеотропную смесь концентрацией 9%, кипящую при температуре $99,9$ °С.

В присутствии влаги в бензиловом спирте образуется бензойная кислота, усиливающая коррозию металлов.

Металлы и сплавы в бензиловом спирте обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в безводном бензиловом спирте при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 3] (по данным работы [2] — менее 0,5 мм/год). При повышении температуры до 100 °С стали и чугуны корродируют со скоростью более 1,3 мм/год [1, 3], при температуре кипения — до 3 мм/год [1]. Контакт с воздухом и наличие влаги в спирте усиливают коррозию [1, 44].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в чистом спирте при обычной температуре корродируют со скоростью менее 0,1 мм/год, при температуре до 100 °С — со скоростью 0,05—0,5 мм/год [1, 3].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в 100%-ном спирте сохраняют стойкость до 100 °С (скорость коррозии <0,5 мм/год) [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13 при обычной температуре в 100%-ном спирте стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 2].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в чистом бензиловом спирте стойки (скорость коррозии <0,05 мм/год) до температуры до 100 °С [3], (по другим данным [1, 2] — до температуры кипения).

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в 100%-ном бензиловом спирте остаются стойкими до температуры 100 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [1—3].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл, нихром (15—22% Cr, 6—8% Fe), сплавы типа ХН65МВ, Н70МФВ в 100%-ном бензиловом спирте при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1], при температуре до 100 °С — удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3]. В растворах бензинового спирта при температуре ниже 100 °С сплавы типа ХН65МВ, Н70МФВ обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [1, 3].

Медь и медные сплавы. Медь, бронза, латунь в 100%-ном бензиловом спирте при обычной температуре стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1], медь, томпак, латунь при температуре до 100°C — удовлетворительно стойки (скорость коррозии $0,05$ — $0,5$ мм/год) [3].

Алюминий в 100%-ном бензиловом спирте при обычной температуре стоек (скорость коррозии $<0,1$ мм/год), при температуре 100°C — нестойк [1—3]. В спирте, содержащем более 1% влаги, при температуре ниже 100°C алюминий корродирует со скоростью $0,05$ — $0,5$ мм/год [3].

Другие металлы. Свинец, серебро в 100%-ном бензиловом спирте при обычной температуре корродируют со скоростью менее $0,1$ мм/год [1], при температуре до 100°C — со скоростью $0,05$ — $0,5$ мм/год [3].

Титан, цирконий при температуре ниже 100°C в 100%-ном бензиловом спирте стойки (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [3].

44.5. *n*-Бутиловый спирт (первичный) — $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}_2\text{OH}$

Нормальный первичный бутиловый спирт (бутанол-1) при обычных условиях — жидкость с температурой кристаллизации $-89,6^\circ\text{C}$ и температурой кипения $117,8^\circ\text{C}$. Первичный бутиловый спирт ограниченно растворим в воде (9% при 15°C). С водой бутанол-1 образует азеотропную смесь концентрацией 62,2%, кипящую при температуре $92,6^\circ\text{C}$. С этиловым спиртом и диэтиловым эфиром первичный бутиловый спирт смешивается в любых соотношениях.

Металлы и сплавы в *n*-бутиловом спирте обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в бутиловом спирте удовлетворительно стойки до температуры кипения (скорость коррозии $<0,1$ — 1 мм/год) [1, 3, 206]

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в бутиловом спирте стойки до температуры кипения (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [3].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в бутиловом спирте при температуре ниже 100°C корродируют со скоростью $0,05$ — $0,5$ мм/год, при температуре кипения — со скоростью менее $0,05$ мм/год [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа X13—X25 при обычной температуре в бутиловом спирте стойки (скорость коррозии $<0,01$ мм/год) [1, 2]. По данным работы [206], стали типа X13 сохраняют стойкость до температуры кипения.

Хромоникелевые стали типа X18N10T, X17N13M2T в бутиловом спирте стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) при обычной температуре [1, 61, 206] (по другим данным [3, 206], стойки до температуры кипения). Стали типа X18N10T в безводном спирте при обычной температуре обладают высокой стойкостью (скорость коррозии $<0,001$ мм/год) [15].

Двухфазные стали 08X22N6T, 08X21N6M2T в бутиловом спирте при обычной температуре стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1, 2, 15]. В безводном спирте скорость коррозии сталей менее $0,001$ мм/год (сталь 08X22N6T может подвергаться питтинговой коррозии) [15].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в бутиловом спирте остаются стойкими до температуры кипения (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [3].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл, нихром (15—22% Cr, 6—8% Fe), сплавы типа ХН65МВ в бутиловом спирте стойки до температуры кипения, сплавы типа Н70МФВ — до температуры 100 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 3].

Медь и медные сплавы. Медь, бронза, латунь в бутиловом спирте остаются стойкими до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1—3].

Алюминий в бутиловом спирте, содержащем более 1% воды, стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) до температуры 100 °С [1, 3, 4], (по данным работы [61], до температуры кипения). В безводном спирте (<0,05% влаги) при обычной температуре алюминий стоек (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3], при температуре кипения — нестойк [1, 3, 46, 206].

Силумин в бутиловом спирте стоек до температуры кипения (скорость коррозии <0,01 мм/год) [4, 46, 194].

Другие металлы. Свинец в бутиловом спирте сохраняет стойкость до температуры 60 °С, титан, тантал, серебро, платина — до температуры кипения [1—3].

44.6. *n*-Бутиловый спирт (вторичный) — $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$

Нормальный вторичный бутиловый спирт (бутанол-2) при обычных условиях — жидкость с температурой кристаллизации $-114,7$ °С и температурой кипения $99,5$ °С. Спирт ограниченно растворим в воде (12,5% при 20 °С). С водой бутанол-2 образует азеотропную смесь концентрацией 72,7%, кипящую при температуре $87,5$ °С. С этиловым спиртом и диэтиловым эфиром вторичный бутиловый спирт смешивается в любых соотношениях.

Вторичный бутиловый спирт несколько агрессивнее бутанола-1. По данным работы [3], все указанные выше (см. п. 44.5) металлы и сплавы в любых растворах бутанола-2 и в 100%-ном спирте при температуре ниже 100 °С корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

44.7. Метиловый спирт — CH_3OH

Метиловый спирт (метанол) при обычных условиях — жидкость с температурой кристаллизации $-97,88$ °С и температурой кипения $64,51$ °С. Спирт смешивается с водой в любых соотношениях, растворим в различных органических растворителях.

Метиловый спирт сочетает свойства очень слабого основания и еще более слабой кислоты и вступает во все реакции, характерные для первичных спиртов. Метанол — единственный спирт, в молекуле которого атом углерода связан не только с гидроксилом, но и еще с тремя атомами водорода. Поэтому в водных растворах метиловый спирт окисляется с образованием трех продуктов с тем же числом атомов водорода (муравьиного альдегида, муравьиной кислоты и угольной кислоты).

Метиловый спирт — первый представитель гомологического ряда, обладающий известной агрессивностью по отношению к металлическим материалам. При этом с увеличением концентрации растворов их коррозионная активность сначала повышается, а затем снижается. Максимальной агрессивностью обла-

дают растворы концентрацией 30—60%, минимальной — высококонцентрированные растворы [302].

Металлы и сплавы в метиловом спирте обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в любых растворах и в безводном метиловом спирте удовлетворительно стойки до температуры кипения (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3]. По данным работы [302], при температуре до 60 °С стали корродируют со скоростью менее 0,3 мм/год, при температуре кипения — нестойки [1, 2, 61].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в любых растворах метилового спирта стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1—0,5 мм/год) [1, 3]. В 100%-ном спирте скорость коррозии чугунов менее 0,05 мм/год [3].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) до температуры кипения в растворах метилового спирта корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год, в 100%-ном спирте — со скоростью менее 0,05 мм/год [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х25 в метиловом спирте стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) до температуры кипения [1, 2, 112, 150].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т в любых растворах метилового спирта стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) при температуре до 60 °С [4, 61, 302], при температуре кипения корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год [3]. В 100%-ном спирте стали стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1—3, 150].

Стали типа Х17Н13М2Т в любых растворах и в 100%-ном спирте стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1—3, 150].

Двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т в метиловом спирте стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [2, 112, 302].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в любых растворах и в 100%-ном метиловом спирте стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1—3].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл, нихром (15—22% Сг, 6—8% Fe), сплавы типа ХН65МВ, Н70МФВ в любых растворах и в 100%-ном метиловом спирте сохраняют стойкость до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 3, 4].

Медь и медные сплавы. Медь, бронза, латунь в растворах и в 100%-ном метиловом спирте удовлетворительно стойки до температуры кипения (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [1—3].

Алюминий в любых растворах метилового спирта при обычной температуре сохраняет высокую стойкость (скорость коррозии <0,01 мм/год) [46, 139]. При повышении температуры метанол вызывает коррозию алюминия с образованием растворимого метилата алюминия, и алюминий при температуре кипения удовлетворительно стоек (скорость коррозии <0,1—0,5 мм/год) [3, 61, 62]. В 100%-ном спирте алюминий сохраняет удовлетворительную стойкость (скорость коррозии <0,5 мм/год) до температуры 50 °С [3] (по данным работы [2], стоек до температуры кипения). Добавка воды к безводному чистому метиловому спирту резко снижает его агрессивность. В технически чистом спирте алюминий подвергается незначительной точечной коррозии [206].

Алюминиевый сплав АМц в любых растворах метилового спирта при температуре ниже 60 °С корродирует со скоростью до 0,2—0,8 мм/год [302].

Свинец до температуры кипения в любых растворах метилового спирта корродирует со скоростью менее 0,1—0,5 мм/год, в 100%-ном спирте — со скоростью менее 0,05 мм/год [1, 3]. В безводном и техническом метиловом спирте свинец неприменим [1, 46, 139].

Титан в любых растворах и в 100%-ном метиловом спирте стоек до температуры кипения (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3]. По данным работ [1, 2], при температуре 35 °С титан в метиловом спирте корродирует со скоростью 0,1—1 мм/год, кроме того, в этих условиях титан может подвергаться межкристаллитной коррозии и коррозионному растрескиванию [39].

Другие металлы. Тантал, цирконий, серебро в метиловом спирте стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,05 мм/год) [1, 2, 68, 83].

44.8. *n*-Пропиловый спирт — $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$

Первичный нормальный пропиловый спирт (пропанол-1) при обычных условиях — жидкость с температурой кристаллизации —127 °С и температурой кипения 97,2 °С. Пропиловый спирт с водой, этиловым спиртом, диэтиловым эфиром смешивается в любых соотношениях. С водой пропанол-1 образует азеотропную смесь концентрацией 71,7%, кипящую при температуре 87,7 °С.

По данным работы [3], металлы и сплавы в 100%-ном *n*-пропиловом спирте обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,05 мм/год).

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 до температуры кипения корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год, никелевые чугуны (14—32% Ni) — со скоростью менее 0,05 мм/год.

Высоколегированные стали. Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т сохраняют стойкость до температуры кипения (скорость коррозии <0,05 мм/год).

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,05 мм/год).

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металлы, нихром (15—22% Сг, 6—8% Fe), сплавы типа ХН65МВ, Н70МФВ остаются стойкими до температуры кипения (скорость коррозии <0,05 мм/год).

Медь и медные сплавы. Медь, латунь стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,05 мм/год).

Алюминий в любых растворах пропилового спирта сохраняет стойкость до температуры кипения, в 100%-ном спирте — до температуры 50 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год). При температуре кипения в 100%-ном спирте алюминий нестойк (по данным работы [4] — стоек).

Другие металлы. Свинец, титан, цирконий, серебро стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,05 мм/год).

44.9. *изо*-Пропиловый спирт — $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$

Вторичный изопропиловый спирт (пропанол-2) при обычных условиях — жидкость с температурой кристаллизации —89,5 °С и температурой кипения

82,4 °С. Изопропиловый спирт с водой, этиловым спиртом, диэтиловым эфиром смешивается в любых соотношениях. С водой пропанол-2 образует азеотропную смесь концентрацией 87,9%, кипящую при температуре 80,4 °С.

Металлы и сплавы в изопропиловом спирте обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в 100%-ном изопропиловом спирте стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,05 мм/год). В спирте концентрацией 90% углеродистые стали удовлетворительно стойки до 50 °С (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3]. В техническом спирте при температуре 80 °С углеродистые стали корродируют со скоростью 0,2 мм/год [206].

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 и никелевые чугуны (14—32% Ni) в 100%-ном изопропиловом спирте при любой температуре до температуры кипения обладают высокой стойкостью (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13 в 100%-ном изопропиловом спирте стойки до температуры 80 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [206].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в 100%-ном изопропиловом спирте стойки до температуры кипения, в 90%-ном спирте — до 50 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3]. В чистом и техническом спирте концентрацией 80% при обычной температуре стали типа Х18Н10Т отличаются высокой стойкостью (скорость коррозии <0,002 мм/год) [129, 206].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в 100%-ном изопропиловом спирте стойки до температуры кипения, в спирте концентрацией 90% — до 50 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл, нихром (15—22% Cr, 6—8% Fe), сплавы типа ХН65МВ, Н70МФВ в 100%-ном изопропиловом спирте остаются стойкими до температуры кипения, в 90%-ном спирте — до температуры 50 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Медь и медные сплавы. Медь в 100%-ном изопропиловом спирте стойка до температуры кипения, в спирте концентрацией 90% — до 50 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

Латунь оловянистая, свинцовистая в 100%-ном изопропиловом спирте сохраняет коррозионную стойкость до температуры кипения (скорость коррозии <0,05 мм/год). Алюминиевая латунь в 100%-ном изопропиловом спирте до температуры кипения обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3].

Алюминий в 100%-ном изопропиловом спирте стоек до температуры 80 °С (скорость коррозии <0,1 мм/год) [206], при температуре кипения — удовлетворительно стоек (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) [3]. В спирте концентрацией 90% алюминий остается стойким до 50 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3]. В спирте концентрацией 80% при обычной температуре алюминий и сплавы АМг3, АМг6 стойки (скорость коррозии <0,03 мм/год). При этом сплав АМг6 может быть подвержен питтинговой коррозии [129].

Другие металлы. Свинец, титан, цирконий, серебро в 100%-ном изопропиловом спирте стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,05 мм/год) [3].

44.10. Фурфуриловый спирт — $C_4H_3OCH_2OH$

Фурфуриловый спирт (2-фурилкарбинол) при обычных условиях — жидкость с температурой кристаллизации $-30^{\circ}C$ и температурой кипения $169,4^{\circ}C$. Фурфуриловый спирт хорошо растворим в воде (9,1% при $20^{\circ}C$), этиловом спирте, диэтиловом эфире. С водой фурфуриловый спирт образует азеотропную смесь концентрацией 20%, кипящую при температуре $98,5^{\circ}C$.

По данным работы [3], металлы и сплавы в фурфуриловом спирте обладают следующей коррозионной стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны в 100%-ном фурфуриловом спирте стойки до температуры $100^{\circ}C$ (скорость коррозии $<0,05$ мм/год).

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в любых растворах и в 100%-ном фурфуриловом спирте при температуре до $100^{\circ}C$ стойки (скорость коррозии $<0,05$ мм/год).

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в 100%-ном фурфуриловом спирте до температуры кипения корродируют со скоростью менее $0,05$ мм/год.

Высоколегированные стали. Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в 100%-ном фурфуриловом спирте стойки при температуре ниже $100^{\circ}C$ (скорость коррозии $<0,05$ мм/год).

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в 100%-ном фурфуриловом спирте сохраняют стойкость до температуры $100^{\circ}C$ (скорость коррозии $<0,05$ мм/год).

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл, нихром (15—22% Cr, 6—8% Fe), сплавы типа ХН65МВ, Н70МФВ в 100%-ном фурфуриловом спирте остаются стойкими до температуры $100^{\circ}C$ (скорость коррозии $<0,05$ мм/год).

Медь и медные сплавы. Медь, латунь в 100%-ном фурфуриловом спирте при температуре ниже $100^{\circ}C$ корродируют со скоростью менее $0,05$ мм/год.

Алюминий в фурфуриловом спирте концентрацией 10—90% сохраняет стойкость до $100^{\circ}C$ (скорость коррозии $<0,05$ мм/год). В 100%-ном спирте при обычной температуре алюминий стоек (скорость коррозии $<0,05$ мм/год), при температуре $100^{\circ}C$ — нестойк.

Другие металлы. Свинец, титан, цирконий, серебро в 100%-ном фурфуриловом спирте стойки до температуры $100^{\circ}C$ (скорость коррозии $<0,05$ мм/год).

44.11. Цетиловый спирт — $CH_3(CH_2)_{14}CH_2OH$

Цетиловый (пальмитиловый) спирт (1-гексадеканол) при обычных условиях — кристаллическое вещество с температурой плавления $49,3^{\circ}C$ и температурой кипения $344^{\circ}C$ ($189,5^{\circ}C$ при 15 мм рт. ст.; $142—144^{\circ}C$ при 1 мм рт. ст.). Цетиловый спирт нерастворим в воде, растворим в этиловом спирте, диэтиловом эфире.

Металлы и сплавы в цетиловом спирте обладают следующей стойкостью [3].

Углеродистые стали и серые чугуны в твердом и расплавленном цетиловом спирте удовлетворительно стойки до $100^{\circ}C$ (скорость коррозии $0,05—0,5$ мм/год). При температуре $250^{\circ}C$ углеродистые стали корродируют со скоростью $0,5—1,3$ мм/год.

Высоколегированные стали. Хромоникелевые стали типа X18H10T, X17H13M2T в цетиловом спирте при температуре ниже 100 °С обладают удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год).

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в цетиловом спирте сохраняют стойкость до температуры 100 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год).

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл, нихром (15—22% Cr, 6—8% Fe) в твердом и расплавленном цетиловом спирте удовлетворительно стойки (скорость коррозии 0,05—0,5 мм/год) до температуры 250 °С, сплавы типа ХН65МВ, Н70МФВ — до 100 °С.

Медь и медные сплавы. Медь в твердом и расплавленном цетиловом спирте обладает удовлетворительной стойкостью (скорость коррозии <0,5 мм/год) при температуре ниже 250 °С, латунь — при температуре ниже 100 °С.

Алюминий в цетиловом спирте, содержащем более 0,1% воды, при температуре до 75 °С корродирует со скоростью 0,05—0,5 мм/год, при температуре 100 °С — нестойк.

Свинец в цетиловом спирте (рН ~ 7) при обычной температуре удовлетворительно стоек (скорость коррозии <0,5 мм/год), при температуре 100 °С — нестойк.

Другие металлы. Титан, цирконий, серебро в твердом и расплавленном цетиловом спирте стойки до температуры 100 °С (скорость коррозии <0,05 мм/год).

44.12. Этиловый спирт — C₂H₅ОН

Этиловый спирт (этанол) при обычных условиях — жидкость с температурой кристаллизации —114,5 °С и температурой кипения 78,39 °С. Спирт с водой, диэтиловым эфиром смешивается в любых соотношениях. С водой этиловый спирт образует азеотропную смесь концентрацией 95,6%, кипящую при температуре 78,15 °С. Абсолютный (безводный) спирт очень гигроскопичен. Из-за наличия связей между атомом водорода в одной молекуле и атомом кислорода в другой молекуле этиловый спирт сильно ассоциирован.

Металлы и сплавы в этиловом спирте обладают следующей стойкостью.

Углеродистые стали и серые чугуны. Углеродистые стали в любых растворах этилового спирта стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [3, 40], (по другим данным [2, 61], менее 0,5—1 мм/год). В чистом спирте стали нестойки [148]. В сыром спирте при обычной температуре сталь корродирует со скоростью 0,1—0,2 мм/год, при температуре 70—80 °С — со скоростью 0,4—1 мм/год [1, 139]. В водке (40%) при обычной температуре углеродистые стали удовлетворительно стойки (скорость коррозии <0,1—0,3 мм/год) [2, 194].

Серые чугуны в любых растворах этилового спирта стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 2, 148]. По данным работы [3], при обычной температуре серые чугуны корродируют со скоростью 0,05—0,5 мм/год.

Высоколегированные чугуны. Кремнистые чугуны ЧС15, ЧС17 в любых растворах этилового спирта стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [3, 148].

Хромистые чугуны ЧХ28, ЧХ32 в любых растворах этилового спирта при обычной температуре стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [4, 46].

Никелевые чугуны (14—32% Ni) в любых растворах этилового спирта стойки до температуры 75°C (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [3].

Высоколегированные стали. Хромистые стали типа Х13—Х25 в любых растворах этилового спирта стойки до температуры кипения (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1, 3, 40, 148]. В водке (40%) при обычной температуре стали типа Х13 удовлетворительно стойки (скорость коррозии <1 мм/год), стали типа Х17 — стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [2, 150].

Хромоникелевые стали типа Х18Н10Т, Х17Н13М2Т в любых растворах этилового спирта стойки до температуры кипения (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1, 4, 40, 61], (по данным работы [3], $0,05$ — $0,5$ мм/год). В водке (40%) при обычной температуре такие стали стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [2, 150, 194].

Хромоникелевые стали 20Х23Н13, 20Х23Н18 в этиловом спирте при обычной температуре корродируют со скоростью менее $0,01$ мм/год [5].

Двухфазные стали 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т при обычной температуре в любых растворах этилового спирта стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [112]. Сталь 08Х22Н6Т в этиловом спирте стойка до температуры кипения (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [2, 148, 276].

Сплавы на железоникелевой основе типа ХН28МДТ в любых растворах и в чистом этиловом спирте сохраняют стойкость до температуры кипения (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [1, 3, 148].

Никель и сплавы никеля. Никель, монель-металл, нихром (15—22% Cr, 6—8% Fe), сплавы типа ХН65МВ, Н70МФВ в любых растворах этилового спирта стойки до температуры кипения (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [3, 40]. По данным работ [1, 148], монель-металл, сплавы типа Н70МФВ стойки (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) при температуре ниже 60°C .

Медь и медные сплавы. Медь, бронза, латунь в любых растворах этилового спирта стойки до температуры кипения (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [3, 40].

Алюминий при обычной температуре стоек в любых растворах этилового спирта (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [4, 284] (по другим данным [3, 194] — до $0,1$ — $0,6$ мм/год). В растворах концентрацией менее 90% до температуры кипения алюминий удовлетворительно стоек (скорость коррозии $0,05$ — $0,5$ мм/год) [3], в 96%-ном спирте — стоек (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [1, 2, 40, 148]. В спирте, содержащем менее 0,05% воды, при любой температуре алюминий неприменим [40, 46, 194]. По данным работы [3], в таком спирте при температуре ниже 50°C алюминий корродирует со скоростью $0,05$ — $0,5$ мм/год, при температуре выше 75°C — нестойк.

Сплавы алюминия с магнием, марганцем, медью, кремнием в растворах этилового спирта концентрацией 48—96% при обычной температуре практически не подвергаются коррозии [4, 46]. Алюминиевые сплавы без меди в 96%-ном спирте стойки до температуры кипения (скорость коррозии $<0,1$ мм/год) [40].

Свинец в любых растворах этилового спирта стоек до температуры кипения (скорость коррозии $<0,05$ мм/год) [3]. По данным работ [4, 44], в 96%-ном

спирте при обычной температуре скорость коррозии свинца может достигать 0,7—0,9 мм/год.

Другие металлы. Титан, цирконий, серебро, платина в любых растворах этилового спирта стойки до температуры кипения (скорость коррозии <0,1 мм/год) [3, 10, 40, 68, 83].

Тантал, цинк, олово в этиловом спирте при обычной температуре стойки (скорость коррозии <0,1 мм/год) [1, 4, 148].

Список литературы

1. Воробьева Г.Я. Коррозионная стойкость материалов в агрессивных средах химических производств. М.: Химия, 1975. 816 с.
2. Туфанов Д.Г. Коррозионная стойкость нержавеющей сталей, сплавов и чистых металлов. М.: Металлургия, 1990. 320 с.
3. Corrosion data survey. Metals section. 5-th edition. Compiled by Hamner N.E. NACE, Houston. 1974. 283 p.
4. Ritter F. Korrosionstabellen metallischer Werkstoffe. Wien: Springer-Verlag, 1958. 290 s.
5. Коррозия металлов: Справочник / Под ред. Г. Улига. Л.-М.: Госхимиздат, 1952. Кн. 1. 652 с.
6. Пахомов В.С. // Коррозия химической аппаратуры: Тр. МИХМ. М., 1975. Вып. 67. С. 102—109.
7. Коррозия конструкционных материалов: Справочник / Под ред. В.В. Батракова. М.: Металлургия, 1990. Кн. 2. 320 с.
8. Fontana M.G., Greene N.D. Corrosion Engineering. N.Y.: McGraw-Hill Book Company, 391 p.
9. Bünger J. // Werkstoffe und Korrosion. 1961. Bd. 12. № 3. S. 141—148.
10. Коррозия. Справочник / Под ред. Л.Л. Шрайера. М.: Металлургия, 1981. 622 с.
11. Bünger J. // Werkstoffe und Korrosion. 1958. Bd. 9. № 12. S. 747—755.
12. Справочник азотчика. М.: Химия, 1987. 464 с.
13. Edström J.O., Carlén J.C., Kämpinge S. // Werkstoffe und Korrosion. 1970. Bd. 21. № 10. S. 812—821.
14. Туфанов Д.Г. // Защита металлов. 1969. Т. 5. № 5. С. 532—535.
15. Бондаренко О.П., Кристаль М.М. Коррозионная стойкость аустенитно-ферритных и аустенитных сталей с пониженным содержанием никеля и безникелевых аустенитных сталей: Справочник. М.: НИИхиммаш, 1992. 336 с.
16. Константинова Е.В., Мухлынина Т.А., Фельдгандлер Э.Г. // Защита металлов. 1984. Т. 20. № 4. С. 622—624.
17. Ульянин Е.А. Коррозионно-стойкие стали и сплавы: Справочник. М.: Металлургия, 1991. 256 с.
18. Поздеева А.А., Карташова К.М., Грикуров Г.Н., Сухотин А.М., Тавадзе Ф.Н. // ЖПХ. 1976. Т. 49. № 10. С. 2178—2184.
19. Жадан Т.А. // Защита металлов. 1968. Т. 4. № 5. С. 566—570.
20. Шульгат Г.А., Пахомов В.С., Клинов И.Я. // Коррозия химической аппаратуры: Сб. научных статей. М.: МИХМ, 1975. Вып. 67. С. 22—28.
21. Разыграев В.П., Лебедева М.В., Егорихин Е.В. и др. // Защита металлов. 1980. Т. 16. № 5. С. 586—589.

22. Константинова Е.В., Ломовец В.И. // Защита металлов. 1983. Т. 19. № 6. С. 933—934.
23. Кузуб Л.Г., Кузуб В.С., Косый Г.Г. // ЖПХ. 1965. Т. 38. № 10. С. 2217—2222.
24. Zitter H., Kraхner G. // Werkstoffe und Korrosion. 1965. Bd. 16. № 5. S. 382—387.
25. Бабаков А.А., Посысаева Л.И., Петровская В.А., Сидоркина Ю.С. // Защита металлов. 1970. Т. 6. № 4. С. 387—396.
26. Колосова Л.П., Сидоркина Ю.С., Акишенцева А.П., Кравченко Л.Л., Ганн И.И. // Химич. и нефтяное машиностроение. 1971. № 5. С. 24—25.
27. Шлямнев А.П., Свистунова Т.В., Лапшина О.Б. и др. Коррозионно-стойкие, жаростойкие и высокопрочные стали и сплавы: Справочник. М.: Интермет инжиниринг, 2000. 233 с.
28. Сидоркина Ю.С., Бекоева Г.П., Манкевич Т.В., Зинченко Н.Г. // Химич. и нефтяное машиностроение. 1993. № 5. С. 22—24.
29. Сидоркина Ю.С., Бекоева Г.П., Зинченко Н.Г., Манкевич Т.В. // Защита металлов. 1993. Т. 29. № 1. С. 142—144.
30. Сидоркина Ю.С., Бекоева Г.П., Манкевич Т.В., Зинченко Н.Г. // Химич. и нефтяное машиностроение. 1994. № 1. С. 26—27.
31. Шаповалов Э.Т., Устименко М.Ю. // Химич. и нефтяное машиностроение. 1994. № 5. С. 33.
32. Zitter H. // Werkstoffe und Korrosion. 1957. Bd. 8. № 12. S. 746—761.
33. Шварц Г.Л., Мороз В.А., Герасименко Г.И., Акишенцева А.П., Афанасенко Е.А. // Химич. и нефтяное машиностроение. 1975. № 8. С. 20—21.
34. Зайцева Л.В., Малахова Э.К., Киселева Л.А., Мещеряков А.В., Березовский Л.Б. // Химич. и нефтяное машиностроение. 1989. № 9. С. 28—29.
35. Зайцева Л.В., Малахова Э.К., Романив В.И., Мащенко Н.С. // Химич. и нефтяное машиностроение. 1985. № 9. С. 26—27.
36. Коррозия и защита химической аппаратуры / Под ред. А.М. Сухотина и В.М. Беренблит. Л.: Химия, 1972. Т. 8. 320 с.
37. Антоновская Э.И., Поздеева А.А. // ЖПХ. 1975. Т. 48. № 11. С. 2491—2493.
38. Антоновская Э.И., Поздеева А.А., Овчинников П.Н. // Защита металлов. 1967. Т. 3. № 1. С. 62—64.
39. Рускол Ю.С. Титановые конструкционные сплавы в химических производствах. М.: Химия, 1989. 288 с.
40. Рачев Х., Стефанова С. Справочник по коррозии. М.: Мир, 1982. 520 с.
41. Bishop C.R. // Corrosion. 1963. V. 19. № 9. P. 308—314.
42. Бабаков А.А., Посысаева Л.И., Петровская В.А., Сидоркина Ю.С. // Защита металлов. 1971. Т. 7. № 2. С. 99—103.
43. Сухотин А.М., Зотиков В.С. Химическое сопротивление материалов. Л.: Химия, 1975. 408 с.
44. Клинов И.Я., Удыма П.Г., Молоканов А.В., Горяинова А.В. Химическое оборудование в коррозионно-стойком исполнении. М.: Машиностроение, 1970. 589 с.
45. Коррозия металлов. Справочник / Под ред. Г. Улига. Л.-М.: Госхимиздат, 1952. Кн. 2. С. 657—1256.

46. Дятлова В.Н. Коррозионная стойкость металлов и сплавов: Справочник. М.: Машиностроение, 1964. 352 с.
47. Долинкин В.Н., Шварц Г.Л., Кудрявцева Е.Ф., Макарова Л.С., Карулина Н.Ф. // Химич. и нефтяное машиностроение. 1971. № 10. С. 17.
48. Мигай Л.Л., Тарицына Т.А. Коррозионная стойкость материалов в галогенах и их соединениях: Справочник. М.: Металлургия, 1988. 304 с.
49. Uehara I., Sakai T., Ishikawa H., Ishii E., Nakane M. // Corrosion. 1986. V. 42. № 8. P. 492—498.
50. Уваров Е.В., Копылов В.А. // Химич. промышленность. 1968. № 1. С. 44—45.
51. Петровская В.А., Грацинская В.А., Грабыльникова В.И., Татарникова Л.Ю. / Разработка и исследование конструкционных материалов и средств химзащиты для производств фосфорных удобрений // Тр. НИУИФ. М.: 1988. Вып. 253. С. 34—40.
52. Свистунова Т.В., Петровская В.А., Добролюбов В.В., Ульянов Е.А., Строев В.С., Николаева Г.Н., Грабыльникова В.И. / Новые конструкционные материалы и средства химзащиты для производств основной химии // Тр. НИУИФ. М.: 1978. Вып. 233. С. 74—79.
53. Калиниченко В.А., Петровская В.А., Богданова Н.С., Добролюбов В.В. // Химич. промышленность. 1980. № 2. С. 94—95.
54. Огнева В.К., Чернова Т.В., Дмитриева В.С. / Кислотные методы переработки фосфатного сырья в фосфорную кислоту и минеральные удобрения // Тр. НИУИФ. М.: 1979. Вып. 234. С. 43—48.
55. Киселев В.Д., Добролюбов В.В. // Защита металлов. 1979. Т. 15. № 4. С. 443—445.
56. Калиниченко В.А., Душенкова И.А., Зуева А.С., Добролюбов В.В. // Химич. и нефтяное машиностроение. 1990. № 4. С. 27—28.
57. Бозин Н.А., Успенская М.М., Максудов Г.А. // Защита металлов. 1969. Т. 5. № 6. С. 668—671.
58. Брынза А.П., Напреенко С.П. // Защита металлов. 1975. Т. 11. № 4. С. 465—466.
59. Лащинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры: Справочник. М.-Л.: Машгиз, 1963. 469 с.
60. Коррозия и защита химической аппаратуры / Под ред. А.М. Сухотина и В.С. Зотикова. Л.: Химия, 1970. Т. 4. 272 с.
61. Баранник В.П. Краткий справочник по коррозии. М.-Л.: Госхимиздат, 1953. 456 с.
62. Фрайтаг Г. Материалы для изготовления химической аппаратуры. М.-Л.: Госхимтехиздат, 1934. 70 с.
63. Полубоярцева Л.А., Рейфер А.А., Юрлова Л.Н., Шишкин Б.И., Лукиных В.М. // Химич. промышленность. 1973. № 5. С. 372—373.
64. Hampel C.A. // Corrosion. 1961. V. 17. № 10. P. 9—17.
65. Окнин И.В. // Журнал прикладной химии. 1949. Т. 22. № 11. С. 1143—1149.
66. Mazza F., Sivieri E., Reggiani R., Mussinelli G.L. // Int. J. Hydrogen Energy. 1983. V. 8. № 11—12. P. 913—921.
67. Кузуб В.С., Крикун В.П., Новицкий В.С., Христенко Т.А. // Защита металлов. 1985. Т. 21. № 4. С. 520—524.
68. Тодт Ф. Коррозия и защита от коррозии. М.-Л.: Химия, 1966. 848 с.

69. *Gräfen H.* // Dechema Monogr. 1983. Bd. 93. № 1914—1931. S. 253—265.
70. *Тавадзе Л.Ф., Тавадзе Ф.Н., Манджгаладзе С.Н., Рамазашвили Д.Р.* // Защита металлов. 1967. Т. 3. № 5. С. 610—613.
71. *Свистунова Т.В., Шлямнев А.П.* // Коррозия: материалы, защита. 2006. № 2. С. 2—8.
72. *Бозин Н.А., Широкова Н.В., Сазонова В.И.* // Химич. промышленность. 1976. № 3. С. 232.
73. *Журавлева Л.В., Касинская Л.Л., Носивец Л.А.* // Химич. и нефтяное машиностроение. 1977. № 12. С. 21—22.
74. *Савицкий Е.М., Арская Е.П., Лазарев Э.М.* и др. // Защита металлов. 1981. Т. 17. № 3. С. 290—294.
75. *Герасименко Г.И., Шварц Г.Л., Макарова Л.С.* // Химич. машиностроение. 1968. № 1. С. 22—24.
76. *Клинов И.Я.* // ЖПХ. 1937. Т. 10. № 12. С. 1980—1992.
77. *Справочник серноокислотчика* / Под ред. К.М. Малина. М.: Химия, 1971. 744 с.
78. *Томашов Н.Д.* Теория коррозии и защиты металлов. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 592 с.
79. *Zitter H., Matzner F., Kraxner G.* // Werkstoffe und Korrosion. 1965. Bd. 16. № 9. S. 741—750.
80. *Шербаков А.И., Томашов Н.Д., Казарин В.И., Гончаренко Б.А., Михеев В.С.* // Химич. и нефтяное машиностроение. 1990. № 5. С. 24—25.
81. *Томашов Н.Д.* Титан и коррозионно-стойкие сплавы на его основе. М.: Metallургия, 1985. 80 с.
82. *Иголкин А.И.* // Химич. и нефтегазовое машиностроение. 1999. № 2. С. 35—39.
83. *Андреева В.В., Казарин В.И.* Новые конструкционные химически стойкие металлические материалы. М.: Госхимиздат, 1961. 190 с.
84. *Гончаров А.Б.* // Химич. и нефтяное машиностроение. 1988. № 11. С. 24—26.
85. *Томашов Н.Д., Шрейдер А.В., Титов В.А.* // Химич. машиностроение. 1960. № 4. С. 20—24.
86. *Hampel C.A.* // Corrosion. 1958. V. 14. № 12. P. 557—560.
87. *Поляков К.А., Сломянская Ф.Б., Полякова К.К.* Коррозия и химически стойкие материалы. М.—Л.: Госхимиздат, 1953. 360 с.
88. *Скорчеллетти В.В., Шултин А.И.* Химическая стойкость сплавов на железной основе. М.: — Л.: ГОНТИ НКТП СССР, 1938. 392 с.
89. *Везер В.Д.Р.* Фосфор и его соединения. М.: Изд. иностр. лит., 1962. Т. 1. 687 с.
90. *Белов В.Н., Родионов А.П., Сокольский Ю.М.* // Журн. прикл. химии. 1975. Т. 48. № 5. С. 1133—1135.
91. *Simon A., Weist M.* // Ztschr. Anorganische allgem. Chemie. // 1952. Bd. 268. № 4—6. S. 301—326.
92. *Elmore K.L., Hatfield I.D., Dunn R.L., Jones A.D.* // J. Phys. Chemistry. 1965. № 10. P. 3520—3525.

93. *Пасечник М.С., Туманова Т.А., Володина И.А., Дубровицкая Л.В.* // Вест. ЛГУ. Серия физики и химии. 1966. Т. 22. № 4. С. 159.
94. *Chaverry J.G., Black C.A.* // Iowa State J. Science. 1966. V. 41. № 6. P. 77—95.
95. *Терешкевич М.О., Гарус Л.И., Кулиш А.Ф., Варенко Е.С., Галушко В.П.* // Теоретич. и экспериментальная химия. 1966. Т. 2. № 2. С. 213—218.
96. *Брынза А.П., Животновский Э.А.* Исследования в области электрохимии и коррозии металлов. Днепропетровск. 1968. С. 154—160.
97. *Saji T.* // J. Metal Finishing Soc. Jap. 1977. V. 28. № 1. P. 2—11.
98. *Barradas R.G., Donaldson.* // J. Electroanalytical Chemistry and Interfacial Electrochemistry. 1973. V. 48. № 1. P. 239—251.
99. *Паршин А.Г.* // Влияние теплопередачи на коррозию нержавеющей сталей в концентрированной фосфорной кислоте. Дисс. ... канд. техн. наук. М.: МИХМ, 1980. 263 с.
100. *Огнева В.К., Воликова И.Г.* // Защита металлов. 1976. Т. 12. № 6. С. 675—679.
101. *Томашов Н.Д., Чернова Г.П.* Теория коррозии и коррозионно-стойкие конструкционные сплавы. М.: Металлургия, 1993. 416 с.
102. *Гудремон Э.* Специальные стали. М.: Металлургия, 1966. Т. 1. 736 с.
103. *Пахомов В.С., Паршин А.Г.* // Химич. и нефтяное машиностроение. 1973. № 5. С. 22—23.
104. *Bünger J.* // Werkstoffe und Korrosion. 1955. Bd. 6. № 8 / 9. S. 369—374.
105. *Braun H.* // Werkstoffe und Korrosion. 1952. Bd. 3. № 3. S. 93—98.
106. *Хвостов В.П., Анощенко И.П.* // Защита металлов. 1982. Т. 18. № 2. С. 230—232.
107. *Бозин Н.А., Бабаков А.А., Посысаева Л.И., Петровская В.А., Грабыльникова В.И.* // Химич. и нефтяное машиностроение. 1971. № 3. С. 23—24.
108. *Огнева В.К., Чернова Т.В.* / Новые конструкционные материалы и средства химзащиты для производств основной химии // Тр. НИУИФ, М.: 1978. Вып. 233. С. 90—93.
109. *Сидоркина Ю.С., Бекова Г.П., Манкевич Т.В., Зинченко Н.Г.* // Химич. и нефтяное машиностроение. 1992. № 11. С. 26—27.
110. *Zitter H., Kraxner G.* // Werkstoffe und Korrosion. 1963. Bd. 14. № 2. S. 80—88.
111. *Ульянин Е.А., Свистунова Т.В., Левин Ф.Л.* Коррозионно-стойкие сплавы на основе железа и никеля. М.: Металлургия, 1986. 263 с.
112. *Бабаков А.А., Приданцев М.В.* Коррозионно-стойкие стали и сплавы. М.: Металлургия, 1971. 320 с.
113. *Глухова А.И., Андреева В.В.* // ЖПХ. 1962. Т. 35. № 8. С. 1778—1786.
114. *Фишман В.А., Петровская В.А., Добролюбов В.В., Рогова В.А., Куртева О.Н., Грабыльникова В.И., Николаева Г.Н.* / Новые конструкционные материалы и средства химзащиты для производств основной химии // Тр. НИУИФ, М.: 1978. Вып. 233. С. 107—114.
115. *Петровская В.А., Серебряная Р.М., Грацинская В.А., Шейкина Л.В., Севастьянова Р.К.* / Новые разработки в области коррозионного материаловедения для промышленности минеральных удобрений // Тр. НИУИФ, М.: 1984. Вып. 246. С. 108—115.

116. Чернова Т.В., Фельдгандлер Э.Г. Разработка и исследование конструкционных материалов и средств химзащиты для производств фосфорных удобрений. М.: Труды НИУИФ, 1988. Вып. 253. С. 50—55.
117. Петровская В.А., Грацинская В.А., Куртова О.И. / Новые разработки в области коррозионного материаловедения для промышленности минеральных удобрений // Тр. НИУИФ, М.: 1984. Вып. 246. С. 95—107.
118. Киселев В.Д., Добролюбов В.В. / Новые конструкционные материалы и средства химзащиты для производств основной химии // Тр. НИУИФ, М.: 1978. Вып. 233. С. 94—102.
119. Муницына Р.Г., Фишман В.А., Карамшук О.В. / Новые конструкционные материалы и средства химзащиты для производств основной химии // Тр. НИУИФ, М.: 1978. Вып. 233. С. 49—73.
120. Фельдгандлер Э.Г., Савкина Л.Я., Добролюбов В.В., Киселев В.Д., Петровская В.А. // Защита металлов. 1988. Т. 24. № 3. С. 401—405.
121. Калининко В.А., Гзовский А.С., Петровская В.А., Грабыльникова В.И., Добролюбов В.В. // Химич. промышленность. 1981. № 7. С. 413—414.
122. Сидоркина Ю.С., Шипилов В.Д., Ларионова Р.Ф., Малышева О.Н. // Химич. и нефтяное машиностроение. 1976. № 8. С. 17—18.
123. Абелев М.М., Глаголев В.М., Лапина О.Б., Сидоркина Ю.С., Свистунова Т.В. // Химич. и нефтяное машиностроение. 1992. № 3. С. 30—32.
124. Качанов В.А., Павленко Л.И., Никитин Д.Г., Коваленко А.А., Зыбцева Л.Н., Шепиль Т.Э. // Защита металлов. 1980. Т. 16. № 6. С. 724—727.
125. Бозин Н.А., Петровская В.А., Посысаева Л.И., Николаева Г.Н. // Химич. промышленность. 1971. № 7. С. 48—49.
126. Серебряная Р.М., Бочкарев Г.С., Дубинин В.Г., Севастьянова Р.К. и др. Кислотные методы переработки фосфатного сырья в фосфорную кислоту и минеральные удобрения // Тр. НИУИФ, М.: 1979. Вып. 234. С. 132—140.
127. Татарникова Л.Ю., Петровская В.А., Грацинская В.А. Разработка и исследование конструкционных материалов и средств химзащиты для производств фосфорных удобрений // Тр. НИУИФ, М.: 1988. Вып. 253. С. 41—49.
128. Алиев Д.Р., Худонев К.Н., Николаев Н.С. // Защита металлов. 1981. Т. 17. № 6. С. 737—739.
129. Коррозия и защита химической аппаратуры / Под ред. Сухотина А.М. Л.: Химия, 1969. Т. 1. 554 с.
130. Батраков В.П. Коррозия конструкционных материалов в агрессивных средах. М.: Оборонгиз, 1952. 452 с.
131. Улиг Г.Г., Реви Р.У. Коррозия и борьба с ней. Л.: Химия, 1989. 456 с.
132. Зотиков В.С., Бахмутова Г.В., Бочарова Н.А., Богданова Н.Д., Кочетов Н.И., Петухов В.В., Семенов Э.Я. // Химич. промышленность. 1977. № 10. С. 53—55.
133. Антоновская Э.И., Тахтарова Л.В. // Журнал ВХО им. Д.И. Менделеева. 1961. Т. 6. № 4. С. 477—478.
134. Graf L., Wittich W. // Werkstoffe und Korrosion. 1966. Bd. 17. № 5. S. 385—405.
135. Антоновская Э.И., Вильк Ю.Н. // Химич. промышленность. 1961. № 6. С. 431—432.

136. *Зотиков В.С., Бахмутова Г.Б., Бочарова Н.А., Семенюк Э.Я.* // Защита металлов. 1974. Т. 10. № 2. С. 164—166.
137. *Бардиж Н.Н., Миролубов Е.Н., Куртенов М.М.* // Коррозия металлов и сплавов. М.: Металлургиздат, 1963. С. 368—379.
138. *Романушкина А.Е., Родин Н.Н., Блинова И.А., Ламбрев В.Г., Терещенко Л.Н.* // Защита металлов. 1985. Т. 21. № 6. С. 939—943.
139. *Коррозия и защита химической аппаратуры* / Под ред. А.М. Сухотина. Л.: Химия, 1971. Т. 5. 366 с.
140. *Коррозия и защита химической аппаратуры* / Под ред. Сухотина А.М., Лабутина А.Л. Л.: Химия, 1972. Т. 6. 373 с.
141. *Гадасина Л.Ю., Мецгерякова И.Д., Кащеева Т.П., Рутковский М.Л.* // Защита металлов. 1974. Т. 10. № 4. С. 408—410.
142. *Туманова Т.А., Андреева В.В.* // Защита металлов. 1974. Т. 10. № 5. С. 542—544.
143. *Томашов Н.Д., Орлова Ф.А., Аношкин Н.Ф.* и др. // Защита металлов. 1969. Т. 5. № 5. С. 491—495.
144. *Брынза А.П., Герасютина Л.И., Животовский Э.А., Федаш В.П.* // Защита металлов. 1969. Т. 5. № 1. С. 15—18.
145. *Стрункин В.А., Порет Э.Н., Цейтлин Х.Л.* // Защита металлов. 1969. Т. 5. № 3. С. 265—269.
146. *Гончаров А.Б., Нероденко М.М., Дедов О.А., Котриков В.А., Сутубалов В.Д., Гаврилов В.П., Кириллук В.Ф.* // Химич. и нефтяное машиностроение. 1993. № 1. С. 28—31.
147. *Колотыркин Я.М., Агафонова Н.Н., Залкинд Ц.И.* // Химич. промышленность. 1986. № 3. С. 33—35.
148. *Коррозия и защита химической аппаратуры* / Под ред. А.М. Сухотина, А.Л. Лабутина. Л.: Химия, 1972. Т. 7. 440 с.
149. *Ворожцов Н.Н.* Основы синтеза промежуточных продуктов и красителей. М.: Госхимиздат, 1953. 840 с.
150. *Каломбие Л., Гохман И.* Нержавеющие и жаропрочные стали. М.: Металлургиздат, 1958. 480 с.
151. *Лобова М.В.* Взаимодействие азотной кислоты с сернистым газом. Дисс. канд. техн. наук. М.: НИУИФ. 1974.
152. *Васильева В.А., Дзущев В.Т., Москвичев И.Ф., Ульянин Е.А., Фельдгандлер Э.Г., Лобова М.В.* // Химич. промышленность. 1982. № 3. С. 165—166.
153. *Rabald E.* // Werkstoffe und Korrosion. 1956. Bd. 7. № 11. S. 652—662.
154. *Крестовников А.Н., Клинов И.Я.* // Химич. промышленность. 1945. № 8. С. 14—15.
155. *Viebrock J.M.* // Corrosion. 1969. V. 25. № 9. P. 371—379.
156. *Golden L.B., Lane I.R., Acherman W.L.* // Industrial and Engineering Chemistry. 1952. V. 44. № 8. P. 1930—1939.
157. *Андреева В.В., Яковлева Е.А.* // Защита металлов. 1967. Т. 3. № 1. С. 55—61.
158. *Клинов И.Я., Зарецкий Е.М., Захарчук Е.А.* // Химич. и нефтяное машиностроение. 1972. № 10. С. 23.
159. *Клинов И.Я., Андреева В.В.* // Химич. машиностроение. 1960. № 4. С. 5—8.

160. Розенфельд И.Л., Баловнева Р.С. // Защита металлов. 1969. Т. 4. № 4. С. 440—443.
161. Глейзер М.М., Цейтлин Х.Л., Сорокин Ю.И. и др. // Защита металлов. 1974. Т. 10. № 3. С. 297—299.
162. Миролюбов Е.Н., Жук Л.М., Куртенов М.М. // ЖПХ. 1964. Т. 37. Вып. 8. С. 1729—1736.
163. Розенфельд И.Л., Новицкая М.А., Селезнева Т.В. // Защита металлов. 1965. Т. 1. № 3. С. 265—271.
164. Константинова Е.В., Ломовцев В.И. // Защита металлов. 1982. Т. 18. № 1. С. 82—86.
165. Огнева В.К., Киселев В.Д., Чернова Т.В. // Химич. промышленность. 1980. № 8. С. 480—482.
166. Константинова Е.В., Чечетина Н.А., Ломовцев В.И. // Защита металлов. 1980. Т. 16. № 1. С. 66—69.
167. Разыграев В.П., Лебедева М.В. // Коррозия: материалы, защита. 2006. № 8. С. 9—13.
168. Глейзер М.М., Цейтлин Х.Л., Сорокин Ю.И., Бабицкая С.М. // Защита металлов. 1972. Т. 8. № 2. С. 187—191.
169. Огнева В.К., Грабыльникова В.И. / Новые конструкционные материалы и средства химзащиты для производств основной химии // Тр. НИУИФ, М.: 1978. Вып. 233. С. 74—79.
170. Копелнович Д.Х., Излев В.И. // Защита металлов. 1992. Т. 28. № 2. С. 308—312.
171. Дудукина Т.А., Огнева В.К., Москвичев И.Ф., Добролюбов В.В., Фазылова С.П., Иволгина Н.Ю. // Химич. промышленность. 1987. № 7. С. 420—422.
172. Хохлова Н.В., Сидоркина Ю.С., Юганова С.А. и др. // Защита металлов. 1976. Т. 12. № 1. С. 7—12.
173. Киселев В.Д., Добролюбов В.В. // Химич. промышленность. 1979. № 3. С. 160—161.
174. Фишман В.А., Добролюбов В.В., Рогова В.А., Грабыльникова В.А., Муницина Р.Г., Федоренко Г.В. // Химич. промышленность. 1979. № 2. С. 104—105.
175. Новошинская Н.С. // Защита металлов. 1976. Т. 12. № 1. С. 18—23.
176. Клинов И.Я. // Химич. промышленность. 1944. № 10—11. С. 14—18.
177. Мурадов А.Ш. // Защита металлов. 1987. Т. 23. № 6. С. 983—985.
178. Титов В.А. // Химич. промышленность. 1962. № 9. С. 683—686.
179. Инжесчик В.Г., Януш А.В. // Химич. промышленность. 1955. № 1. С. 39—42.
180. Абалян Н.П., Кропивницкая Р.А. // Химич. и нефтяное машиностроение. 1966. № 7. С. 17.
181. Абалян Н.П., Овчян В.Н. // Защита металлов. 1967. Т. 3. № 2. С. 222—224.
182. Зайцева Л.В., Малахова Э.К., Киселева Л.А., Мещеряков А.В., Симерня Л.И. // Химич. и нефтяное машиностроение. 1988. № 4. С. 31—32.
183. Лабутин Л.А. Коррозия и способы защиты оборудования в промышленности синтетического каучука. М.: Госхимиздат, 1955. 140 с.
184. Жермунская Л.Б., Луника М.Н., Дзюба В.И. // Защита металлов. 1984. Т. 20. № 2. С. 257—258.

185. *Филенко А.И., Кужель А.М.* // ЖПХ. 1967. Т. 40. № 2. С. 447—449; 1968. Т. 41. № 12. С. 2784—2786.
186. *Полубоярцева Л.А., Рейфер А.А., Манторова Т.М., Воликова И.Г., Истрина З.Ф.* // Химич. промышленность. 1966. № 3. С. 230—233.
187. *Полубоярцева Л.А., Рейфер А.А., Осинцев В.Д., Цкитишвили М.Д., Пурихванидзе Т.А., Тавадзе Ф.Н.* // Химич. промышленность. 1977. № 1. С. 38—39.
188. *Двали Т.М.* // Защита металлов. 1973. Т. 9. № 1. С. 58—60.
189. *Гребенщикова С.В., Кочергин В.П., Зарубин П.И.* // Защита металлов. 1979. Т. 15. № 5. С. 564—565.
190. *Громов Е.Н., Карюкин А.А., Петухова Л.Д.* // Кокс и химия, 1969. № 7. С. 51—54.
191. *Громов Е.Н., Черкашин В.Н., Целик В.Е.* // Кокс и химия, 1964. № 5. С. 42—44.
192. *Фроликова Е.М., Прокопьева Т.К.* // Химические волокна. 1969. № 5. С. 60—62.
193. *Царьков Г.А.* Защита от коррозии оборудования в производстве химических волокон. Л.: Химия, 1988. 214 с.
194. *Авдеева А.В.* Коррозия в пищевых производствах и способы защиты. М.: Пищевая промышленность, 1972. 271 с.
195. *Зотиков В.С., Семенов Э.Я., Бахмутова Г.Б.* // Защита металлов. 1976. Т. 12. № 4. С. 420—424.
196. *Зотиков В.С., Семенов Э.Я.* / Пассивность и коррозия металлов // Тр. ГИПХ. Л.: Химия, 1971. Вып. 67. С. 199—204.
197. *Зотиков В.С., Бахмутова Г.Б., Бочарова Н.А., Смирнова Л.В., Герасимова В.А., Семенов Э.Я.* // Химич. промышленность. 1985. № 1. С. 43—44.
198. *Годнева М.М.* // Журнал прикл. химии. 1967. Т. 40. № 8. С. 1744—1749.
199. *Годнева М.М., Гейзлер Э.С.* // Журнал прикл. химии. 1967. Т. 40. № 8. С. 1750—1753.
200. *Мамылихина М.В., Романушкина А.Е.* // Защита металлов. 1968. Т. 4. № 5. С. 603—613.
201. *Курносикова В.Н., Горбачев А.К.* // Защита металлов. 1985. Т. 21. № 2. С. 265—268.
202. *Akira Takamura* // Corrosion. 1967. V. 23. № 10. P. 306—313.
203. *Мамылихина М.В., Романушкина А.Е.* // Защита металлов. 1976. Т. 12. № 4. С. 453—457.
204. *Коррозия и защита химической аппаратуры* / Под ред. А.М. Сухотина. Л.: Химия, 1970. Т. 3. 308 с.
205. *Томашов Н.Д., Чернова Г.П.* // Защита металлов. 1975. Т. 11. № 4. С. 403—419.
206. *Коррозия и защита химической аппаратуры* / Под ред. А.М. Сухотина, А.В. Шрейдера, Ю.И. Арчакова. Л.: Химия, 1974. Т. 9. 576 с.
207. *Гладких И.Н., Чмырев Ю.П.* // Химич. и нефтяное машиностроение. 1969. № 8. С. 18—19.
208. *Титов В.А.* // Химич. промышленность. 1962. № 9. С. 683—689.
209. *Левин В.А., Левина Е.Э.* // Защита металлов. 1995. Т. 31. № 3. С. 262—268.
210. *Камакин Н.И., Сычев А.А., Медриш И.Н., Савочкин В.Р., Бабенко Т.В.* // Химич. и нефтяное машиностроение. 1976. № 1. С. 25—28.

211. Яхонтов В.Д. // Журнал химической промышленности. 1940. Т. 17. № 9. С. 39—42.
212. Class. I. // Werkstoffe und Korrosion. 1965. Bd. 16. № 4. S. 277—309.
213. Коррозия под действием теплоносителей, хладагентов и рабочих тел: Справочное руководство / Под ред. А.М. Сухотина, В.М. Беренблит. Л.: Химия, 1988. 360 с.
214. Мазаяв В.Т., Шлепнина Т.Г., Мандрыгин В.И. Контроль качества питьевой воды. М.: Колос, 1999. 168 с.
215. Морская коррозия: Справочник / Под ред. М. Шумахера. М.: Металлургия, 1983. 512 с.
216. Константинова Е.В., Назарова Н.П., Спектор С.И. // Защита металлов. 1976. Т. 12. № 3. С. 306—308.
217. Улановский И.Б. // Защита металлов. 1980. Т. 16. № 2. С. 156—158.
218. СанПиН 2.1.4.559—96. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества.
219. Аширов А. Ионно-обменная очистка сточных вод, растворов и газов. Л.: Химия, 1983. 295 с.
220. Кязимов А.М., Велиева Р.К., Вердиев С.Ч., Садыхова Ф.М., Джангиров Н.М. и др. // Защита металлов. 1983. Т. 19. № 3. С. 434—436.
221. Черепанова Г.Л., Клинов И.Я., Шрейдер А.В. / Коррозия химической аппаратуры // Тр. МИХМ. М.: Машиностроение, 1964. Т. 28. С. 117—126.
222. Маршаков И.К., Караваева А.П., Королева Т.И., Алексеенко Т.Д., Черных О.П. // Защита металлов. 1975. Т. 11. № 1. С. 3—9.
223. Цейтлин Х.Л., Сорокин Ю.В., Глейзер М.М., Бабицкая С.М., Балашова А.А., Потапова К.В., Новак Т.С. // Химич. промышленность. 1973. № 1. С. 44—47.
224. Копылов В.Т., Спиридонова И.М., Рудая Т.П. // Химич. промышленность. 1988. № 1. С. 18—19.
225. Зайцева Л.В., Малахова Э.К., Зинченко Р.Г. // Химич. и нефтяное машиностроение. 1971. № 7. С. 19—20.
226. Валиева Р.А., Клочкова М.Р., Добронравов В.А. // Химич. и нефтяное машиностроение. 1980. № 1. С. 23—24.
227. Федоров Е.А. // Гидролизная и лесохимическая промышленность. 1970. № 2. С. 28.
228. Цейтлин Х.Л., Сорокин Ю.И., Балашова А.А., Бабицкая С.М., Левин Я.С. и др. // Защита металлов. 1970. Т. 6. № 4. С. 451—454.
229. Коррозия конструкционных материалов: Справочник / Под ред. В.В. Батракова. М.: Металлургия, 1990. Кн. 1. 344 с.
230. Арчаков Ю.И., Тесля Б.М. // Защита металлов. 1972. Т. 8. № 6. С. 719—722.
231. Сухотин А.М., Антоновская Э.И., Сгибнев Е.В., Корнилов И.И., Нартова Т.Т., Могутина Т.В. // Защита металлов. 1975. Т. 11. № 4. С. 458—459.
232. ГОСТ 9.039—74. ЕСЗКС. Коррозионная агрессивность атмосферы.
233. Веденкин С.Г. // Защита металлов. 1975. Т. 11. № 3. С. 275—289.
234. Розенфельд И.Л. Атмосферная коррозия металлов. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 372 с.

235. *Конструкционные материалы: Справочник / Под ред. Б.Н. Арзамасова. М.: Машиностроение, 1990. 687 с.*
236. ГОСТ 5632—72. Стали высоколегированные и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки.
237. *Масленков С.Б., Масленкова Е.А. Стали и сплавы для высоких температур: Справочник в 2-х т. М.: Металлургия, 1991. 832 с.*
238. *Клинов И.Я. // Журнал прикл. химии. 1937. Т. 10. № 12. С. 1980—1992.*
239. *Цейтлин Х.Л., Мерзлоухова Л.В., Стрункин В.А. // Журнал прикл. химии. 1957. Т. 30. № 10. С. 1553—1558.*
240. *Зотиков В.С. // Химич. промышленность. 2009. Т. 86. № 4. С. 201—206.*
241. *Лабутин А.Л. Коррозия и способы защиты оборудования в промышленности синтетического каучука. М.: Госхимиздат, 1955. 140 с.*
242. *Максимов Б.Н., Барабанов В.Г., Серушкин И.Л., Зотиков В.С. и др. Промышленные фторорганические продукты. Л.: Химия, 1966. 544 с.*
243. *Защита от коррозии, старения и биоповреждений машин, оборудования и сооружений: Справочник / Под ред. А.А. Герасименко. М.: Машиностроение, 1987. Т. 1. 688 с.*
244. *Цейтлин Х.Л. // Журнал прикл. химии. 1955. Т. 28. № 5. С. 490—496.*
245. *Стрункин В.А., Цейтлин Х.Л., Порет Э.Н. // Защита металлов. 1972. Т. 8. № 1. С. 45—48.*
246. *Матлис Я.В., Левин В.А., Коробова Т.П., Бекасова Л.А. // Защита металлов. 1977. Т. 13. № 5. С. 584—587.*
247. *Цейтлин Х.Л., Стрункин В.А. // Журнал прикл. химии. 1956. Т. 29. № 11. С. 1664—1678.*
248. *Brown M.H., DeLong W.V., Auld J.R. // Industrial and Engineering Chemistry. 1947. V. 39. № 7. P. 839—844.*
249. *Романушкина А.Е., Полякова К.К. // Химич. промышленность. 1959. № 6. С. 535—537.*
250. *Матлис Я.В., Левин В.А., Коробова Т.П. // Химич. промышленность. 1977. № 9. С. 41—43.*
251. *Гинзбург В.И., Кабакова О.И. // Защита металлов. 1969. Т. 5. № 6. С. 627—632.*
252. *Нагай И.Н., Томашов Н.Д., Селедцов Д.К., Кочергина В.М. // Защита металлов. 1981. Т. 17. № 5. С. 530—537.*
253. *Файнгольд Л.Л., Цейтлин Х.Л. // Защита металлов. 1976. Т. 12. № 5. С. 565—567.*
254. *Цинман А.И., Кузуб В.С. // Журнал прикл. химии. 1965. Т. 38. № 8. С. 1872—1874.*
255. *Воробьева Г.Я. // Борьба с коррозией в химической и нефтеперерабатывающей промышленности. М.: Машиностроение, 1967. С. 160—165.*
256. *Александров Ю.И., Новгородцева В.И., Чепелева Е.В. // Журнал прикл. химии. 1970. Т. 43. № 7. С. 1610—1611.*
257. *Левин И.А., Кильчевская Т.Е. // Борьба с коррозией в химической и нефтеперерабатывающей промышленности. М.: Машиностроение, 1967. С. 180—189.*
258. *Кильчевская Т.Е. // Журнал прикл. химии. 1970. Т. 43. № 5. С. 1062—1068.*

259. *Истрина З.Ф., Воликова И.Г., Крутиков А.Н., Фроликова Е.М.* // Химич. и нефтяное машиностроение. 1964. № 2. С. 36—37.
260. *Лабутин А.Л.* Коррозия и способы защиты оборудования в производстве органических кислот и их производных. М.: Госхимиздат, 1959. 186 с.
261. *Шаповалов Э.Т., Казакова Г.В.* // Защита металлов. 1984. Т. 20. № 6. С. 929—930.
262. *Яхонтов В.Д.* // Журнал прикл. химии. 1946. Т. 19. № 8. С. 761—772.
263. *Яхонтов В.Д.* // Журнал прикл. химии. 1948. Т. 21. № 6. С. 667—675.
264. *Михайлова Н.А., Жук Н.П., Бартьенева И.А., Турковская А.В.* // Защита металлов. 1971. Т. 7. № 5. С. 575—578.
265. *Кузнецова С.П., Будневская Г.А., Жук Н.П.* // Защита металлов. 1978. Т. 14. № 3. С. 334—337.
266. *Чежина Т.В., Горчаков Л.Н., Арчаков Ю.И.* // Защита металлов. 1987. Т. 23. № 2. С. 275—278.
267. *Зарицкий В.-И. Д.* // Химич. и нефтяное машиностроение. 1990. № 7. С. 24—25.
268. *Сидорин Е.П., Балезин С.А., Никольский И.В.* // Защита металлов. 1971. Т. 7. № 1. С. 69—70.
269. *Воробьева М.А., Клинов И.Я.* // Коррозия химической аппаратуры // Тр. МИХМ. М.: Машгиз, 1964. Т. 28. С. 55—69.
270. *Teerle H.O.* // Corrosion. 1952. V. 8. № 1. P. 14—26.
271. *Хохлова Н.В., Сидоркина Ю.С., Юганова С.А.* и др. // Защита металлов. 1976. Т. 12. № 1. С. 7—12.
272. *Качанов В.А., Гвоздикова Е.К., Данилов Ю.Б.* и др. // Коррозия: материалы, защита. 2004. № 11. С. 12—19.
273. *Зарицкий В.-И. Д., Паздерский Ю.А.* // Химич. и нефтяное машиностроение. 1986. № 9. С. 29—30.
274. *Зарицкий В.-И. Д., Паздерский Ю.А.* // Химич. и нефтяное машиностроение. 1987. № 10. С. 18.
275. *Зарицкий В.-И. Д., Паздерский Ю.А.* // Защита металлов. 1987. Т. 23. № 3. С. 481—483.
276. *Кильчевская Т.Е.* // Химич. и нефтяное машиностроение. 1968. № 9. С. 22—23.
277. *Удьма П.Г.* Борьба с коррозией оборудования в производстве полупродуктов и красителей. М.: Госхимиздат, 1957. 160 с.
278. *Валиева Р.А., Перин Ю.И., Ключкова М.Р., Цинман А.И.* // Защита металлов. 1975. Т. 11. № 4. С. 475—477.
279. *Цинман А.И., Писчик Л.М., Брусенцова В.М., Захаренкова Л.Е.* // Защита металлов. 1971. Т. 7. № 6. С. 700—704.
280. *Жук Н.П., Атанасян Т.К.* // Защита металлов. 1974. Т. 10. № 1. С. 49—51.
281. *Воробьева М.А., Клинов И.Я.* // Борьба с коррозией в химической и нефтеперерабатывающей промышленности. М.: Машиностроение, 1967. С. 168—179.
282. *Зайцева Л.В., Романов В.И.* // Химич. и нефтяное машиностроение. 1983. № 9. С. 25—27.
283. *Юдина С.М., Торговицкая С.Б.* // Химич. и нефтяное машиностроение. 1978. № 4. С. 20—21.

284. Клинов И.Я., Воробьева М.А. Вестник технической и экономической информации НИИТЭХИМ. 1962. № 5. С. 41—44.
285. Шеварц Г.Л., Макарова Л.С., Герасименко Г.И. // Химич. и нефтяное машиностроение. 1969. № 5. С. 20—22.
286. Горчаков Л.Н., Иванова Е.И., Штаркман М.А. // Защита металлов. 1989. Т. 25. № 1. С. 100—102.
287. Майоров Д.М., Меркулова О.П., Мушенко Д.В., Теодорович В.П. // Химич. промышленность. 1961. № 3. С. 210—212.
288. Карташова К.М., Сухотин А.М., Бодрова М.М., Шукан Н.Я. // Пассивность и коррозия металлов // Тр ГИПХ. Л.: Химия, 1971. Вып. 67. С. 159—162.
289. Тверитинов Г.И., Князев В.В., Чиков В.А. // Химич. и нефтяное машиностроение. 1974. № 7. С. 23—24.
290. Токарева Т.Б., Коляда А.А., Смолин В.В., Медведев Э.А. // Защита металлов. 1977. Т. 13. № 5. С. 529—534.
291. Invernizzi A.J., Trasatti S.P. // Eurocorr 2008. Budapest. EFC. 2008. P. 2242.
292. Derungs W.A. // Corrosion. 1956. V. 12. № 12. P. 617—622.
293. Качанов В.А., Данилов Ю.Б., Гвоздикова Е.К., Шепиль Т.Э. // Коррозия: материалы, защита. 2007. № 12. С. 16—26.
294. Воробьева М.А., Клинов И.Я. // Изв. вузов. Химия и химич. технология. 1964. Т. 7. № 2. С. 327—334.
295. Кильчевская Т.Е., Анохина Т.П. // Химич. и нефтяное машиностроение. 1979. № 11. С. 24—26.
296. Малахова Э.К., Кузюков А.Н., Мещеряков А.В. // Химич. и нефтяное машиностроение. 1995. № 3. С. 29—30.
297. Рекомендации по применению оборудования и коммуникаций из титана на предприятиях химической промышленности. ВН 8-76. М.: Минхимпром, 1976. 119 с.
298. Горчаков Л.Н., Макеева К.В., Тимофеев Г.А. // Жилищно-коммунальное хозяйство. 1986. № 6. С. 15—16.
299. Хачатрян Э.А., Томашов Н.Д. // Защита металлов. 1978. Т. 14. № 3. С. 326—329.
300. Зарицкий В.-И. Д. // Химич. промышленность. 1985. № 2. С. 23—26.
301. Tsuchida T. // Zairyo to kankyo (Corros. Eng.). 2004. V. 53. № 1. P. 44—49.
302. Зарицкий В.-И. Д., Костык А.П., Тагаев О.А., Позддерский Ю.А. // Химич. промышленность. 1986. № 6. С. 21—22.

Оглавление

Раздел III. КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ В АГРЕССИВНЫХ СРЕДАХ	3
Часть 11. Коррозионная стойкость металлов и сплавов в неорганических соединениях	7
Глава 33. Минеральные кислоты	7
33.1. Азотистая кислота — HNO_2	7
33.2. Азотная кислота — HNO_3	8
33.3. Борная кислота — H_3BO_3	22
33.4. Бромоводородная кислота — HBr	24
33.5. Иодоводородная кислота — HI	26
33.6. Кремнефтороводородная кислота — H_2SiF_6	28
33.7. Олеум — $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{SO}_3$	33
33.8. Серная кислота — H_2SO_4	36
33.9. Сернистая кислота — H_2SO_3	51
33.10. Угольная кислота — H_2CO_3	54
33.11. Фосфорная кислота — H_3PO_4	56
33.11.1. Термическая фосфорная кислота	57
33.11.2. Экстракционная фосфорная кислота (ЭФК)	69
33.12. Фтороводородная (плавиковая) кислота — HF	79
33.13. Хлорная кислота — HClO_4	88
33.14. Хлорноватая кислота — HClO_3	91
33.15. Хлорноватистая кислота — HClO	91
33.16. Хлороводородная (соляная) кислота — HCl	93
33.17. Хлорсульфоновая кислота — HSO_3Cl или $\text{SO}_2\text{Cl}(\text{OH})$	104
33.18. Хромовая кислота — H_2CrO_4	107
Глава 34. Смеси минеральных кислот	110
34.1. $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4$	110
34.2. $\text{HNO}_3 + \text{HCl}$	117
34.3. $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HCl}$	119

34.4.	$\text{HNO}_3 + \text{HF} (\text{H}_2\text{SiF}_6)$	121
34.5.	$\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HCl}$	124
34.6.	$\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HI}$	125
34.7.	$\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HF}$	126
34.8.	$\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{HNO}_3$	127
34.9.	$\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$	128
34.10.	$\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{HCl}$	129
34.11.	$\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{HF} (\text{H}_2\text{SiF}_6)$	130
34.12.	$\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{HNO}_3 + \text{HF} (\text{H}_2\text{SiF}_6)$	132
34.13.	$\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HF} (\text{H}_2\text{SiF}_6)$	132
34.14.	$\text{HF} + \text{H}_2\text{SiF}_6$	134
Глава 35.	Соли минеральных кислот	135
35.1.	Бораты	137
35.1.1.	Аммония ортоборат — $(\text{NH}_4)_3\text{BO}_3$	137
35.1.2.	Натрия метаборат — NaBO_2	138
35.1.3.	Натрия пероксоборат — NaBO_3	138
35.1.4.	Натрия тетраборат — $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	138
35.2.	Бромиды — MBr	139
35.2.1.	Аммония бромид — NH_4Br	140
35.2.2.	Калия бромид — KBr	141
35.2.3.	Натрия бромид — NaBr	143
35.3.	Гипохлориты — MClO	145
35.3.1.	Калия гипохлорит — KClO	146
35.3.2.	Кальция гипохлорит — $\text{Ca}(\text{ClO})_2$	147
35.3.3.	Кальция гипохлорит-хлорид — CaOCl_2	149
35.3.4.	Натрия гипохлорит — NaClO	150
35.4.	Дихроматы — $\text{M}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	152
35.4.1.	Аммония дихромат — $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	153
35.4.2.	Калия дихромат — $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	153
35.4.3.	Натрия дихромат — $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	155
35.5.	Иодиды — MI	155
35.5.1.	Аммония иодид — NH_4I	156
35.5.2.	Калия иодид — KI	156
35.5.3.	Натрия иодид — NaI	158
35.6.	Карбонаты — M_2CO_3 и гидрокарбонаты — MHCO_3	159
35.6.1.	Аммония карбонат — $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	161
35.6.2.	Аммония гидрокарбонат — $(\text{NH}_4)\text{HCO}_3$	162

35.6.3. Калия карбонат (поташ) — K_2CO_3	163
35.6.4. Калия гидрокарбонат — $KHCO_3$	165
35.6.5. Натрия карбонат (кальцинированная сода) — Na_2CO_3	166
35.6.6. Натрия гидрокарбонат (питьевая сода) — $NaHCO_3$	168
35.7. Квасцы — $M^I M^{III}(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	170
35.7.1. Алюмоаммонийные квасцы — $NH_4Al(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	170
35.7.2. Алюмокалиевые квасцы — $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	171
35.7.3. Хромокалиевые квасцы — $KCr(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	173
35.7.4. Хромонатриевые квасцы — $NaCr(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	173
35.8. Нитраты — MNO_3	174
35.8.1. Аммония нитрат (аммонийная селитра) — NH_4NO_3	174
35.8.2. Калия нитрат (калийная селитра) — KNO_3	177
35.8.3. Кальция нитрат (кальциевая селитра) — $Ca(NO_3)_2$	179
35.8.4. Натрия нитрат (натриевая селитра) — $NaNO_3$	181
35.9. Нитриты — MNO_2	183
35.9.1. Калия нитрит — KNO_2	183
35.9.2. Натрия нитрит — $NaNO_2$	184
35.10. Перманганаты — $MMnO_4$	186
35.10.1. Калия перманганат — $KMnO_4$	186
35.11. Пероксодисульфаты — $M_2S_2O_8$	188
35.11.1. Аммония пероксодисульфат — $(NH_4)_2S_2O_8$	188
35.11.2. Калия пероксодисульфат — $K_2S_2O_8$	189
35.11.3. Натрия пероксодисульфат — $Na_2S_2O_8$	190
35.12. Перхлораты — $MClO_4$	191
35.12.1. Аммония перхлорат — NH_4ClO_4	191
35.12.2. Калия перхлорат — $KClO_4$	192
35.12.3. Натрия перхлорат — $NaClO_4$	193
35.13. Силикаты — M_2SiO_3	194
35.13.1. Калия силикат — K_2SiO_3	195
35.13.2. Натрия силикат — Na_2SiO_3	196
35.14. Сульфаты — M_2SO_4 и гидросульфаты — $MHSO_4$	197
35.14.1. Аммония сульфат — $(NH_4)_2SO_4$	198
35.14.2. Калия сульфат — K_2SO_4	200
35.14.3. Калия гидросульфат — $KHSO_4$	202
35.14.4. Натрия сульфат — Na_2SO_4	203
35.14.5. Натрия гидросульфат — $NaHSO_4$	205
35.15. Сульфиды — M_2S и гидросульфиды — MHS	207
35.15.1. Аммония сульфид — $(NH_4)_2S$	207

35.15.2.	Калия сульфид — K_2S	208
35.15.3.	Натрия сульфид — Na_2S	209
35.15.4.	Натрия гидросульфид — $NaHS$	212
35.16.	Сульфиты — M_2SO_3 и гидросульфиты — $MHSO_3$	213
35.16.1.	Аммония сульфит — $(NH_4)_2SO_3$	213
35.16.2.	Аммония гидросульфит — NH_4HSO_3	214
35.16.3.	Калия сульфит — K_2SO_3	215
35.16.4.	Калия гидросульфит — $KHSO_3$	216
35.16.5.	Натрия сульфит — Na_2SO_3	217
35.16.6.	Натрия гидросульфит — $NaHSO_3$	219
35.17.	Тиоцианаты — $MNCS$	220
35.17.1.	Аммония тиоцианат — NH_4NCS	221
35.17.2.	Калия тиоцианат — $KNCS$	222
35.17.3.	Натрия тиоцианат — $NaNCS$	223
35.18.	Фосфаты — M_3PO_4 , гидрофосфаты — M_2HPO_4 и дигидрофосфаты — MH_2PO_4	224
35.18.1.	Аммония фосфат — $(NH_4)_3PO_4$	224
35.18.2.	Аммония гидрофосфат — $(NH_4)_2HPO_4$	226
35.18.3.	Аммония дигидрофосфат — $(NH_4)H_2PO_4$	227
35.18.4.	Натрия фосфат — Na_3PO_4	228
35.18.5.	Натрия гидрофосфат — Na_2HPO_4	229
35.19.	Фториды — MF и гидрофториды — MHF_2	230
35.19.1.	Аммония фторид — NH_4F	231
35.19.2.	Аммония гидрофторид — NH_4HF_2	232
35.19.3.	Калия фторид — KF	234
35.19.4.	Калия гидрофторид — KHF_2	235
35.19.5.	Кальция фторид — CaF_2	236
35.19.6.	Натрия фторид — NaF	237
35.19.7.	Натрия гидрофторид — $NaHF_2$	238
35.20.	Фторосиликаты — M_2SiF_6	238
35.20.1.	Аммония гексафторосиликат — $(NH_4)_2SiF_6$	239
35.20.2.	Натрия гексафторосиликат — Na_2SiF_6	240
35.21.	Хлораты — $MClO_3$	241
35.21.1.	Калия хлорат — $KClO_3$	241
35.21.2.	Натрия хлорат — $NaClO_3$	243
35.22.	Хлориды — MCl	244
35.22.1.	Аммония хлорид (нашатырь) — NH_4Cl	247
35.22.2.	Железа(II) хлорид — $FeCl_2$	250
35.22.3.	Железа(III) хлорид — $FeCl_3$	252

35.22.4. Калия хлорид — KCl	254
35.22.5. Кальция хлорид — $CaCl_2$	256
35.22.6. Магния хлорид — $MgCl_2$	259
35.22.7. Натрия хлорид (поваренная соль) — $NaCl$	261
35.23. Хроматы — M_2CrO_4	265
35.23.1. Калия хромат — K_2CrO_4	265
35.23.2. Кальция хромат — $CaCrO_4$	266
35.23.3. Натрия хромат — Na_2CrO_4	266
35.24. Цианиды — MCN	267
35.24.1. Калия цианид — KCN	267
35.24.2. Натрия цианид — $NaCN$	269
Глава 36. Гидроксиды — MOH	270
36.1. Аммиака гидрат — $NH_3 \cdot H_2O$	270
36.2. Калия гидроксид — KOH	275
36.3. Кальция гидроксид — $Ca(OH)_2$	280
36.4. Натрия гидроксид — $NaOH$	282
Глава 37. Вода — H_2O	289
37.1. Морская вода	290
37.2. Пресная вода	293
37.3. Водопроводная вода	296
37.4. Техническая вода	298
37.5. Сточная вода (стоки)	302
Глава 38. Газы	307
38.1. Аммиак — NH_3	308
38.2. Бромоводород — HBr	311
38.3. Водород — H_2	312
38.4. Воздух	315
38.4.1. Атмосферная коррозия	315
38.4.2. Высокотемпературная коррозия	317
38.5. Водяной пар — H_2O	318
38.6. Дымовые газы	320
38.7. Иодоводород — HI	322
38.8. Оксиды азота — NO_x	323
38.9. Оксиды серы — SO_x	327
38.10. Оксиды углерода — CO_x	333
38.11. Сероводород — H_2S	338

38.12. Фтор — F_2	342
38.13. Фтороводород — HF	345
38.14. Хлор — Cl_2	348
38.15. Хлороводород — HCl	354
Глава 39. Некоторые другие вещества	358
39.1. Бром — Br_2	358
39.2. Иод — I_2	361
39.3. Пероксид водорода — H_2O_2	366
39.4. Сера — S	369
Часть 12. Коррозионная стойкость металлов и сплавов в органических соединениях	372
Глава 40. Органические кислоты	372
40.1. Абиетиновая кислота — $C_{19}H_{29}COOH$	372
40.2. Адипиновая кислота — $HOOC(CH_2)_4COOH$	373
40.3. Акриловая кислота — $CH_2=CHCOOH$	375
40.4. Аминобензойная кислота — $H_2NC_6H_4COOH$	376
40.5. Аскорбиновая кислота — $C_6H_8O_6$	377
40.6. Ацетилсалициловая кислота — $CH_3COOC_6H_4COOH$	378
40.7. Ацетоуксусная кислота — CH_3COCH_2COOH	379
40.8. Бензойная кислота — C_6H_5COOH	380
40.9. Бензолсульфоновая кислота — $C_6H_5SO_3H$	381
40.10. Винная кислота — $HOOC(CHOH)_2COOH$	383
40.11. Галловая кислота — $(OH)_3C_6H_2COOH$	385
40.12. Гликолевая кислота — $HOCH_2COOH$	386
40.13. Глюконовая кислота — $CH_2OH(CHOH)_4COOH$	387
40.14. Дигалловая кислота — $(HO)_3C_6H_2CO_2C_6H_2(OH)_2COOH$	388
40.15. Дигликолевая кислота — $O(CH_2COOH)_2$	389
40.16. Камфорная кислота — $C_{10}H_{16}O_4$	390
40.17. Каприловая кислота — $CH_3(CH_2)_6COOH$	391
40.18. Каприновая кислота — $CH_3(CH_2)_8COOH$	393
40.19. Капроновая кислота — $CH_3(CH_2)_4COOH$	395
40.20. Карболовая кислота (фенол) — C_6H_5OH	397
40.21. Коричная кислота — $C_6H_5CH=CHCOOH$	400
40.22. Кротоновая кислота — $CH_3CH=CHCOOH$	401
40.23. Лауриновая кислота — $CH_3(CH_2)_{10}COOH$	401

40.24. Левулиновая кислота — $\text{CH}_3\text{CO}(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$	402
40.25. Лимонная кислота — $\text{COONCH}_2\text{C}(\text{OH})(\text{COOH})\text{CH}_2\text{COOH}$	404
40.26. Малеиновая кислота — $\text{COONCH}=\text{CHCOOH}$	408
40.27. Малоновая кислота — $\text{COONCH}_2\text{COOH}$	410
40.28. Масляная кислота — $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$	412
40.29. Метакриловая кислота — $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{COOH}$	415
40.30. Молочная кислота — $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}$	416
40.31. Мочевая кислота — $\text{C}_5\text{H}_4\text{N}_4\text{O}_3$	420
40.32. Муравьиная кислота — НСOOH	420
40.33. Олеиновая кислота — $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	428
40.34. Пальмитиновая кислота — $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	430
40.35. Пикриновая кислота (тринитрофенол) — $\text{C}_6\text{H}_2\text{OH}(\text{NO}_2)_3$	431
40.36. Пирогалловая кислота (пирогаллол) — $\text{C}_6\text{H}_3(\text{OH})_3$	432
40.37. Пропионовая кислота — $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$	434
40.38. Салициловая кислота — $\text{НОC}_6\text{H}_4\text{COOH}$	437
40.39. Стеариновая кислота — $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	439
40.40. Уксусная кислота — CH_3COOH	441
40.41. Фенилуксусная кислота — $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{COOH}$	450
40.42. Фенолсульфоновая кислота — $\text{ОНC}_6\text{H}_4\text{SO}_3\text{H}$	451
40.43. Фталевая кислота — $\text{C}_6\text{H}_4(\text{COOH})_2$	452
40.44. Хлоруксусные кислоты — $\text{CH}_3\text{-}_n\text{Cl}_n\text{COOH}$	453
40.45. Циануксусная кислота — NCCH_2COOH	457
40.46. Щавелевая кислота — HOOC-COOH	458
40.47. Яблочная кислота — $\text{HOOCCH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{COOH}$	462
40.48. Янтарная кислота — $\text{HOOC}(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$	463

Глава 41. Смеси органических кислот. 465

41.1. Гуминовые кислоты	465
41.2. Жирные кислоты (выше C_6)	466
41.3. Муравьиная и щавелевая кислоты.	468
41.4. Нафтеновые кислоты — $(\text{CH}_2)_4\text{CH}(\text{CH}_2)_n(\text{COOH})_m$	469
41.5. Олеиновая, пальмитиновая и стеариновая кислоты	471
41.6. Пропионовая и масляная кислоты	472
41.7. Пропионовая, масляная и уксусная кислоты	472
41.8. Уксусная и муравьиная кислоты.	473
41.9. Уксусная, муравьиная и пропионовая кислоты	477

41.10. Уксусная и щавелевая кислоты	479
Глава 42. Смеси органических и неорганических кислот	479
42.1. Карболовая и серная кислоты	479
42.2. Левулиновая и соляная кислоты	480
42.3. Лимонная и серная кислоты	480
42.4. Муравьиная и соляная кислоты	480
42.5. Олеиновая и серная кислоты	481
42.6. Уксусная и азотная кислоты	481
42.7. Уксусная и серная кислоты	481
42.8. Щавелевая и азотная кислоты	483
42.9. Щавелевая и серная кислоты	483
Глава 43. Соли органических кислот	484
43.1. Ацетаты — CH_3COOM	484
43.1.1. Алюминий уксусноокислый — $(\text{CH}_3\text{COO})_3\text{Al}$	484
43.1.2. Аммоний уксусноокислый — $\text{CH}_3\text{COO}(\text{NH}_4)$	486
43.1.3. Калий уксусноокислый — CH_3COOK	487
43.1.4. Кальций уксусноокислый — $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca}$	489
43.1.5. Марганец уксусноокислый — $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Mn}$	490
43.1.6. Медь уксусноокислая — $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Cu}$	491
43.1.7. Натрий уксусноокислый — CH_3COONa	492
43.1.8. Никель уксусноокислый — $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ni}$	494
43.1.9. Свинец уксусноокислый — $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}$	495
43.2. Оксалаты — $\text{C}_2\text{O}_4\text{M}_2$	497
43.2.1. Алюминий щавелевоокислый — $(\text{C}_2\text{O}_4)_3\text{Al}_2$	497
43.2.2. Аммоний щавелевоокислый — $\text{C}_2\text{O}_4(\text{NH}_4)_2$	497
43.2.3. Калий щавелевоокислый — $\text{C}_2\text{O}_4\text{K}_2$	498
43.2.4. Кальций щавелевоокислый — $\text{C}_2\text{O}_4\text{Ca}$	499
43.2.5. Натрий щавелевоокислый — $\text{C}_2\text{O}_4\text{Na}_2$	500
43.3. Салицилаты — $\text{HOC}_6\text{H}_4\text{COOM}$	500
43.3.1. Аммоний салициловоокислый — $\text{HOC}_6\text{H}_4\text{COO}(\text{NH}_4)$	500
43.3.2. Натрий салициловоокислый — $\text{HOC}_6\text{H}_4\text{COONa}$	501
43.4. Тартраты — $\text{C}_4\text{O}_6\text{H}_4\text{M}_2$	502
43.4.1. Калий кислый винноокислый — $\text{C}_4\text{O}_6\text{H}_5\text{K}$	502
43.4.2. Натрий винноокислый — $\text{C}_4\text{O}_6\text{H}_4\text{Na}_2$	503
43.5. Формиаты — HCOOM	504
43.5.1. Алюминий муравьиноокислый — $(\text{HCOO})_3\text{Al}$	504
43.5.2. Аммоний муравьиноокислый — $\text{HCOO}(\text{NH}_4)$	504

43.5.3. Натрий муравьинокислый — HCOONa	505
43.6. Цитраты — $\text{C}_3\text{H}_4(\text{OH})(\text{COO})_3\text{M}_3$	506
43.6.1. Аммоний лимоннокислый — $\text{C}_3\text{H}_4(\text{OH})(\text{COO})_3(\text{NH}_4)_3$	506
43.6.2. Калий лимоннокислый — $\text{C}_3\text{H}_4(\text{OH})(\text{COO})_3\text{K}_3$	507
43.6.3. Натрий лимоннокислый — $\text{C}_3\text{H}_4(\text{OH})(\text{COO})_3\text{Na}_3$	508
Глава 44. Спирты	509
44.1. Аллиловый спирт — $\text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{OH}$	509
44.2. <i>n</i> -Амиловый спирт — $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CH}_2\text{OH}$	510
44.3. <i>изо</i> -Амиловый спирт — $(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$	511
44.4. Бензиловый спирт — $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{OH}$	512
44.5. <i>n</i> -Бутиловый спирт (первичный) — $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}_2\text{OH}$	513
44.6. <i>n</i> -Бутиловый спирт (вторичный) — $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$	514
44.7. Метиловый спирт — CH_3OH	514
44.8. <i>n</i> -Пропиловый спирт — $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$	516
44.9. <i>изо</i> -Пропиловый спирт — $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$	516
44.10. Фурфуриловый спирт — $\text{C}_4\text{H}_3\text{OCH}_2\text{OH}$	518
44.11. Цетиловый спирт — $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{CH}_2\text{OH}$	518
44.12. Этиловый спирт — $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	519
Список литературы	522

Справочное издание

Пахомов Владимир Сергеевич

КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Книга 2

Сдано в набор 20.06.12. Подписано в печать 10.04.13.
Формат 60×90 1/16. Бумага офсетная, Гарнитура Таймс. Печать офсетная.
Усл. печ. 34. Уч.-изд. л. 37,67.
Тираж 500 экз. Заказ 80т

Издательство ООО «Наука и технологии»
107076 Москва, Стромьинский пер., 4
Отпечатано в типографии НИИ «Геодезия»,
г. Красноармейск Московской области, с оригинала,
изготовленного ООО «Сид»