

# СПРАВОЧНИК МЕТАЛЛИСТА

*В ПЯТИ ТОМАХ*

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Председатель совета и главный редактор  
д-р техн. наук проф. Н. С. АЧЕРКАН

Члены редакционного совета:

[ В. С. ВЛАДИСЛАВЛЕВ ], А. Н. МАЛОВ, С. Н. ПОЗДНЯКОВ,  
А. Я. РОСТОВЫХ, Г. Б. СТОЛБИН, С. А. ЧЕРНАВСКИЙ

Том 3

*КНИГА ПЕРВАЯ*

Под редакцией  
проф. [ В. С. ВЛАДИСЛАВЛЕВА ]



ОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Москва 1958

# **КОРРОЗИЯ И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛОВ ОТ КОРРОЗИИ**

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ КОРРОЗИИ**

Коррозией металлов называется разрушение металлов и сплавов под влиянием химического и электрохимического воздействия внешней среды.

Различают два типа коррозии — химическую и электрохимическую. В основе химической коррозии лежат реакции между металлом и веществами внешней среды, не сопровождающиеся возникновением электрического тока. При электрохимической коррозии разрушение металлов связано с возникновением электрического тока под действием электролитов или других причин.

По характеру коррозионных разрушений различают сплошную коррозию, равномерно распределяющуюся по всей поверхности металла, и местную, когда коррозия локализуется на отдельных участках поверхности металла.

Местная коррозия бывает различных типов:

а) коррозия пятнами, когда коррозионное разрушение занимает сравнительно большие участки поверхности и распространяется на сравнительно небольшую глубину;

б) коррозия язвами (питтинг), характеризующаяся поражением сравнительно небольших участков поверхности металла и часто значительным углублением коррозии внутрь металла;

в) коррозия точками, когда коррозионное поверхностное поражение металла локализуется до размеров отдельных точек, при этом глубина коррозии варьирует в широких пределах — от неглубоких ямок до сквозного разрушения металла;

г) подповерхностная коррозия, начинающаяся с поверхности и распространяющаяся преимущественно под поверхностью металла;

д) межкристаллитная (интеркристаллитная) коррозия — особый тип коррозии, которая распространяется в глубь металла по границам кристаллитов; этот вид коррозии при небольшом изменении сильно понижает механические свойства металлов.

## **МЕТОДЫ КОРРОЗИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ И СПОСОБЫ ОЦЕНКИ КОРРОЗИИ**

Коррозионные испытания разделяются на:

1) лабораторные, проводимые в искусственно создаваемых лабораторных условиях с учетом всех факторов, влияющих на скорость и характер коррозии металлов в производственных условиях;

2) полевые, к которым относятся испытания на атмосферных коррозионных станциях, в почве, на реке, в море;

3) натуральные — испытания образцов в заводской аппаратуре, проводимые с целью установления возможности эксплуатации аппаратуры из испытуемого металла или для подбора коррозионностойкого материала;

4) эксплуатационные — испытания конструкций машин и аппаратов в условиях их эксплуатации.

Скорость растворения металла при равномерной коррозии определяется по изменению веса образца, отнесенному к единице поверхности ( $m^2$ ,  $cm^2$ ), за единицу времени (час, сутки, год), а также по глубинному показателю, показывающему уменьшение толщины образца металла в  $mm/год$ . Глубинный показатель  $K_d$  обычно вычисляют из величины весового показателя  $K_w$ , выраженного в  $Г/m^2\cdot час$ , по формуле

$$K_d = \frac{K_w 365 \cdot 24}{\gamma \cdot 1000} = 8,76 \frac{K_w}{\gamma} \text{ } mm/год,$$

где  $\gamma$  — удельный вес металла в  $Г/cm^3$ .

Весовой метод применим при обязательном условии полной сохранности продуктов коррозии, если определение коррозии производится по увеличению веса образца; при определении коррозии по убыли в весе необходимо, чтобы продукты коррозии были полностью удалены. Продукты коррозии удаляют с поверхности металла механическим путем (щеткой, протиранием ватой, тряпкой, резинкой), стремясь при этом сохранить основной металл неповрежденным, или действием химических реагентов, не затрагивающих основного металла.

Оценка коррозионной стойкости металлов и сплавов дается согласно ГОСТ 5272-50 по глубинному показателю по десятибалльной шкале, приведенной в табл. 63 [2]. Значения глубинного показателя, вычисленные из потери в весе для наиболее распространенных металлов и сплавов, приведены в табл. 64 [2].

### 63. Шкала коррозионной стойкости металлов [2]

Группа стойкости	Скорость коррозии $K_d$ в $mm/год$	Балл	Группа стойкости	Скорость коррозии $K_d$ в $mm/год$	Балл
Совершенно стойкие	Менее 0,001	1	Пониженно стойкие	0,1—0,5 0,5—1,0	6 7
Весьма стойкие	0,001—0,005 0,005—0,01	2 3	Малостойкие	1,0—5,0 5,0—10,0	8 9
Стойкие	0,01—0,05 0,05—0,1	4 5	Нестойкие	Св. 10,0	10

Примечания: 1. При наличии интеркристаллитной коррозии шкалой пользоваться нельзя.

2. При более грубой оценке коррозионной стойкости следует руководствоваться группами стойкости, при точной оценке — баллами.

64. Зависимость между потерей веса  $K_w$  и глубинным показателем  $K_d$  [2]

Ско- рость корро- зии $K_d$ в мм/год	Потеря веса $K_w$ в Г/м <sup>2</sup> .час						Балл корро- зионной стойко- сти
	Железо и железные сплавы	Медь и медные сплавы	Никель и нике- левые сплавы	Свинец и свинцовые сплавы	Алюминий и алюми- ниевые сплавы	Магний и магниевые сплавы	
0,001	0,0009	0,001	0,001	0,0012	0,0003	0,0002	1
0,001	0,0009	0,001	0,001	0,0012	0,0003	0,0002	
0,005	0,0045	0,0051	0,005	0,0065	0,0015	0,001	2
0,005	0,0045	0,0051	0,005	0,0065	0,0015	0,001	
0,01	0,009	0,01	0,01	0,012	0,003	0,002	3
0,01	0,009	0,01	0,01	0,012	0,003	0,002	
0,05	0,045	0,051	0,05	0,065	0,015	0,01	4
0,05	0,045	0,051	0,05	0,065	0,015	0,01	
0,1	0,09	0,1	0,1	0,12	0,031	0,02	5
0,1	0,09	0,1	0,1	0,12	0,031	0,02	
0,5	0,45	0,51	0,5	0,65	0,154	0,1	6
0,5	0,45	0,51	0,5	0,65	0,154	0,1	
1	0,9	1,02	1	1,2	0,31	0,2	7
1	0,9	1,02	1	1,2	0,31	0,2	
5	4,5	5,1	5	6,5	1,54	1	8
5	4,5	5,1	5	6,5	1,54	1	
10	9,1	10,2	10	12	3,1	2	9
Св. 10	Св. 9,1	Св. 10,2	Св. 10	Св. 12	Св. 3,1	Св. 2	10

Местную коррозию количественно определяют измерением глубины коррозионного слоя в  $\text{мм}/\text{год}$  по местам наибольших коррозионных разрушений. Степень неравномерности распределения местной коррозии  $n$  выражается в процентах от общей площади  $F_0$ , подвергающейся коррозии:

$$n = \frac{F_k}{F_0} \cdot 100\%$$

где  $F_k$  — площадь, пораженная коррозией.

Оценка коррозии металлов, испытывающих местную коррозию, но работающих под местным напряжением, производится как по глубинному показателю, так и по изменению (понижению) механических свойств, определяемых путем измерения предела прочности металла при растяжении и относительного удлинения, выражаемого в процентах от первоначальных значений.

Количественным выражением интеркристаллитной коррозии служит глубина коррозионного разрушения по границам кристаллитов в  $\text{мм}/\text{год}$ , измеряемая на шлифе под микроскопом, а также понижение механических свойств.

Количественная оценка коррозии металла может быть произведена на основании анализа раствора, если корродирующий металл образует растворимые продукты коррозии.

Для оценки коррозии металлов применяют объемные методы определения количества выделившегося водорода ( $\text{см}^3/\text{см}^2 \cdot \text{сутки}$ ) или количества поглощенного кислорода ( $\text{см}^3/\text{см}^2 \cdot \text{сутки}$ ), а также метод определения

изменения электрического сопротивления образца в процентах от начального (до коррозии) значения.

Результаты коррозионных испытаний, полученные объемным методом, по изменению веса или механических свойств за определенный промежуток времени, выражают в виде кривых коррозия — время.

## ЗАЩИТА МЕТАЛЛОВ ОТ КОРРОЗИИ

Для защиты металлов от коррозии применяются следующие основные методы:

а) Изготовление специальных антикоррозионных сплавов и подбор металлов, устойчивых в данной среде. Этот способ ограничивается дефицитностью и дороговизной требуемых материалов, а также тем, что свойства сплава иногда не удовлетворяют предъявляемым требованиям.

б) Электрохимическая защита, осуществляемая двумя способами: подачей электрического тока от постороннего источника с целью превращения защищаемой металлической поверхности в катодную (катодная защита) и путем подключения к защищаемой системе электрода с более отрицательным потенциалом (протектор), благодаря чему анодные участки защищаемой поверхности становятся катодными (протекторная защита).

Электрохимическая защита широко применяется в условиях коррозии подземной (предохранение от коррозии кабелей, трубопроводов, свай и др.) и в морской воде, в нефтяной, химической и других отраслях промышленности.

в) Обработка коррозионной среды путем удаления из состава среды стимуляторов коррозии (например, удаление кислорода из воды предварительным нагреванием ее при пониженном давлении или пропусканием воды над металлической стружкой, или путем химической обработки воды восстановителями — сульфитами и т. д.), или введением в среду веществ, являющихся замедлителями (ингибиторами) коррозии (табл. 65).

65. Эффективность замедлительной кислотной коррозии [2]

Замедлитель	Дозировка в Г/л	Эффект торможения в %	Замедлитель	Дозировка в Г/л	Эффект торможения в %
Уротропин . . . . .	7	94,4	Гидроксиламин . .	1,5	62,2
Желатин . . . . .	10	93,9	Олеиновая кислота	Насыщен-	51,7
Формалин . . . . .	3	88,5	ный рас-	твор	
Бензидин . . . . .	9	87,7	Сульфаниловая	To же	51,4
Хинолин . . . . .	8	86,4	кислота . . . . .		
Фурфурол . . . . .	5	83,9	Бензофенон . . . . .		39,5
Столярный клей .	10	83,5	Ацетон . . . . .	3	38,8
Тиомочевина . . .	3,7	73,0	Гидрохинон . . . . .	5	31,3
Анилин . . . . .	5	72,7	Этиловый спирт .	2,3	26,7
Пиридин . . . . .	4	71,4	Метиловый спирт .	1,6	25,8
Тиофен . . . . .	Насыщен-	68,9	Мочевина . . . . .	3	20,0
	ный рас-		Антрахинон . . . . .	Насыщен-	15,0
Бензойная кисло-	твор			ный рас-	
та . . . . .	To же	68,7	Gлюкоза . . . . .	твор	
				9	11,0

г) **Защитные покрытия.** Роль покрытий как средства защиты от коррозии сводится большей частью к изоляции металла от коррозионной среды.

**Металлические защитные покрытия** наносятся на металлы различными способами.

**Гальванический способ** заключается в осаждении металлов при электролизе водных растворов соответствующих солей (Zn, Cd, Sn, Pb, Ni, Cu, Cr, Ag Au и др.).

**Механотермический способ (плакирование)** представляет собой процесс покрытия одного металла другим путем совместной горячей прессовки или прокатки этих металлов.

**Метод распыления (металлизация)** состоит в том, что расплавленный металл под давлением сжатого воздуха распыляется и направляется на поверхность защищаемого металла, образуя на нем металлическое покрытие (этот же метод применяется для нанесения покрытий на дерево, бетон, керамику и т. д.).

**Диффузионный способ** заключается в совместном нагревании изделий и металла покрытия в порошке при высокой температуре или нагревании изделия в парах летучих соединений металла, или в парах самого металла. Диффузионный способ получил распространение при покрытии стальных изделий цинком (шерардизация), железа, стали, чугуна — алюминием (алитирование), стали — кремнием (силицирование); известны также процессы хромоалитирования и хромосилицирования.

**Горячий способ покрытий** заключается в том, что покрываемые детали погружаются в расплавленный металл (Zn, Sn, Pb), в результате чего оба металла растворяются друг в друге, образуя прочное сцепление.

Покрытия должны иметь прочное сцепление с поверхностью защищаемого металла (табл. 66); они не должны отслаиваться или отставать при механическом или термическом воздействии на изделие. Это требование может быть выполнено путем соответствующей подготовки поверхности металла перед покрытием, заключающейся в удалении с поверхности загрязнений, ржавчины, следов жира, слоев ранее нанесенных покрытий механическим, химическим и электрохимическим способами (табл. 67).

#### 66. Прочность сцепления покрытий в зависимости от способа подготовки поверхности [2]

Способ подготовки поверхности	Прочность сцепления металлопокрытия с защищаемым металлом в кГ/см <sup>2</sup>					
	Сталь		Алюминий		Цинк	
	по стали	по чугуну	по стали	по чугуну	по стали	по чугуну
Шлифование . . .	8,7	3,8	5,8	3,8	3	—
Шлифование и насечка . . . . .	30	62,5	11,5	25,7	22	25,8
Насечка и пескоструйная очистка	33	73	18	33	37	36,5
Пескоструйная очистка и травление . . . . .	13,5	34,2	19,4	16,8	41,9	—

## 67. Способы и режимы снятия недоброкачественных покрытий [5]

Покрытия	Металл основной	Способ		Применяемые растворы	Концентрация в %	Режим снятия				Металл подвесок или сеток
		Химический	Электрохимический			Температура в °C	Плотность тока в а/дм <sup>2</sup>	Материал катодов		
Цинк	Сталь	Химический	"	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> HCl	5—10 5—10	Комнатная	—	—	—	
Кадмий	"	"	"	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	10—15	"	—	—	—	
Олово	"	Электрохимический	"	NaOH	5—6	60—75	1	Железо	Железо	
Медь	"	Химический	"	CrO <sub>3</sub> (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	25—35 10—12	Комнатная	—	—	"	
"	"	Электрохимический	"	CrO <sub>3</sub> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	10—15 1—2 Г/л	"	3—8	Железо или свинец	—	
Никель	Латунь Медь	"	"	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Глицерин	80 6 Г/л	"	3—8	Свинец	Медь	
Хром	Сталь, никель	"	"	NaOH	10	50—70	5—10	Железо	Железо	

**Неметаллические покрытия.** Лакокрасочное покрытие — на поверхность металла наносится и закрепляется на ней пленка, состоящая из раствора органического пленкообразующего вещества (естественной и искусственной смолы, битума, сложных эфиров целлюлозы и др.), содержащего неорганические или органические красящие вещества (пигменты). Лакокрасочная пленка должна быть сплошной, бесспористой, газо- и водонепроницаемой, химически стойкой, эластичной; она должна хорошо прилипать к поверхности металла и обладать механическими свойствами, обеспечивающими сопротивляемость покрытия износу.

Эмали состоят в основном из боросиликатного стекла, содержащего различные компоненты, способствующие повышению их химической стойкости и лучшему прилипанию к металлу, а также вещества, окрашивающие эмали в различные цвета.

**Кислотоупорные плитки** (метлахские, стеклянные, фарфоровые, керамиковые и др.) и замазки (на основе силиката натрия) применяются для футеровки железной аппаратуры в производстве минеральных кислот, синтетического каучука, анилиновых красителей и в химических процессах, связанных с применением соляной кислоты.

## 68. Наиболее употребительные составы смазок [5]

Наименование смазки	Состав	Применение
Минеральные масла	Веретенное, машинное, цилиндровое масло	Для непродолжительной (до 1—2 мес.) внутризаводской защиты деталей в промежуточных стадиях механической обработки. Для защиты сортового металла при транспортировке
Технический вазелин	Минерального масла 55%; петролатума 30%; парафина 15%	Для защиты механизмов, машинных агрегатов и отдельных деталей при хранении на складах и транспортировании. Длительность защиты 6—8 мес.
Ружейная смазка	Цилиндрового масла 97,5—98,5%; церезина 2,5—1,5% с добавкой щелочи	Смазывание обрабатываемых деталей, межоперационное или для кратковременного хранения на складах; кратковременное предохранение стрелкового оружия
Пушечная смазка	Цилиндрового масла 85%; церезина 15% с добавкой щелочи	Длительное хранение на складах и при транспортировке предметов вооружения, деталей оборудования, подшипников
Пушечная специальная универсальная смазка	Цилиндрового масла 83,7%; церезина ~ 16%; олеиново-натрового мыла 0,3—0,6%	То же
Нефтесало	Машинного масла 84%; парафина 16% с добавкой щелочи	"
Снарядная смазка	Петролатума 75%; церезина 15%; парафина 10% с добавкой щелочи	Длительное предохранение при транспортировке на далекие расстояния и складском хранении
Антикоррозионная смазка для стальных деталей	Машинного масла 37,5%; цилиндрового 37,5%; канифоли 5%; вазелина технического 20%	Защита стальных деталей (запасных частей) при транспортировке и хранении на складах
Антикоррозионная смазка для шлифованных и полированных поверхностей	Очищенное минеральное масло, загущенное высококачественным петролатумом и канифолью	Защита изделий, обработанных по высокому классу точности, при транспортировке в крытых вагонах и хранении на складах

**Покрытия резиной.** Для покрытия металлической поверхности резиной применяется гуммирование мягкой резиной или эbonитом. Гуммирование осуществляется путем наклейки резины методом электрофореза и покрытием резиновым клеем.

**Смазки** применяются для защиты различных металлических изделий от коррозии в атмосферных условиях при хранении на складах и транспортировании. Наиболее употребительные предохранительные смазки, выпускаемые в СССР, приведены в табл. 68 [5].

Антикоррозионные промывки употребляются в межоперационный период, продолжительностью более 4 час. (табл. 69).

69. Состав и назначение антикоррозионных промывок [5]

Состав раствора в %	Температура в °C	Металл	Назначение и условия применения промывки
Эмульсона 3,5—5; соды кальцинированной 0,05—0,3; жидкого стекла 0,15; остальное вода	40—60	Сталь Алюминий	Подготовка к хранению. Промывка перед сборкой
Хромпика 0,1; соды кальцинированной 0,2; остальное вода	70—80 (60—70 для бронзы)	Сталь Алюминиевая бронза Все металлические покрытия	Подготовка к хранению. Окончательная промывка
Эмульсона 20; соды кальцинированной 0,2—0,3; остальное вода	Комнатная	Сталь	После шлифования, после слесарной обработки. Перед промежуточными операциями, при недолговременном хранении. После обдувки песком
Хромпика 0,08—0,2	"	Бронза	После шлифования с содовыми растворами. Перед промежуточными и окончательными операциями
Эмульсия 8	"	Сталь	Промывка после полирования на промежуточных операциях
Жидкого (растворимого) стекла 1,5; остальное вода	60—70	Алюминиевая бронза	После контроля и испытаний
Хромпика 0,1; соды каустической 0,03; остальное вода	Комнатная	—	Измерительный инструмент после работы на станке с охлаждением. После сушки, как вторая промывка
Керосин	"	Сталь	После полирования
Бензин	"	Все материалы	При сборке и разборке

Охлаждающие жидкости, применяемые при механической обработке металлических изделий, должны обладать антикоррозионными свойствами.

Неметаллические защитные пленки [6] образуются путем превращения поверхностного слоя металла в химические соединения. Наиболее распространеными защитными пленками являются окисные и фосфатные. Образование окисных пленок (оксидирование) достигается путем химической или электрохимической (анодной) обработки поверхности черных металлов, меди, магния, алюминия. Фосфатные пленки получают на поверхности черных металлов путем химической обработки (фосфатирование) смесями фосфорнокислых соединений, например смесью «мажеф». Неметаллические пленки используются для защиты от атмосферной коррозии, а также как грунт (фосфатные пленки) при последующей окраске деталей лаками и красками.

Специальные виды неметаллических покрытий (асфальтобитумные, фенолальдегидные композиции, виниловые смолы и др.) применяются в виде паст, обмазок или листов и плит для изделий, работающих в химически активной коррозионной среде.

#### ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Акимов Г. В., Основы учения о коррозии и защите металлов, Металлургиздат, 1946.
2. Клинов И. Я., Коррозия химической аппаратуры и коррозионностойкие материалы, Машгиз, 1954.
3. Бараник В. П., Краткий справочник по коррозии, Госхимиздат, 1953.
4. Коррозия металлов, кн. 1 и 2, Металлургиздат, 1952.
5. Бахвалов Г. Т., Биркган Л. Н., Лабутин В. П. и Мануйлов П. Н., Защитные покрытия металлов в машиностроении, Машгиз, 1949.
6. Бадальян Г. М., Защита металлов фосфатными и окисными пленками, Машгиз, 1952.