

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Металлургия и литейное производство»

О. В. Герасимова

ЗАЩИТА МЕТАЛЛОВ ОТ КОРРОЗИИ

ПРАКТИКУМ

**для студентов специальности 1-42 01 01
«Металлургическое производство
и материалобработка (по направлениям)»
направления 1-42 01 01-01 «Металлургическое
производство и материалобработка (металлургия)»
специализации 1-42 01 01-01 02 «Электрометаллургия
черных и цветных металлов»
дневной и заочной форм обучения**

Гомель 2013

УДК 620.197(075.8)
ББК 34.66я73
Г37

*Рекомендовано научно-методическим советом
механико-технологического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 1 от 22.01.2013 г.)*

Рецензент: зам. декана заочного факультета ГГТУ им. П. О. Сухого канд. физ.-мат. наук,
доц. *Д. Г. Кроль*

Герасимова, О. В.

Г37 Защита металлов от коррозии : практикум для студентов специальности 1-42 01 01 «Металлургическое производство и материалобработка (по направлениям)» направления 1-42 01 01-01 «Металлургическое производство и материалобработка (металлургия)» специализации 1-42 01 01-01 02 «Электрометаллургия черных и цветных металлов» днев. и заоч. форм обучения / О. В. Герасимова. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2013. – 34 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: [http:// library.gstu.by](http://library.gstu.by). – Загл. с титул. экрана.

Рассматривается механизм коррозии металлов: теория химической коррозии, теория электрохимической коррозии, а также методы защиты металлов от коррозии. Приводятся условия и примеры решения типовых задач, также необходимые для расчета справочные данные.

Для студентов специальности 1-42 01 01 «Металлургическое производство и материалобработка (по направлениям)» дневной и заочной форм обучения.

УДК 620.197(075.8)
ББК 34.66я73

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2013

Содержание

	стр.
Практическая работа №1	4
Показатели коррозии. Расчет массового показателя коррозии. Расчет глубинного показателя коррозии. Расчет объемного показателя коррозии. Перерасчет объемного показателя коррозии в весовой показатель коррозии.	
Практическая работа №2	7
Пленки на металлах и их защитные покрытия	
Практическая работа №3	9
Термодинамика процессов коррозии. Оценка вероятности процессов коррозии различных металлов.	
Практическая работа №4	10
Расчет вероятности и скорости электрохимической коррозии	
Практическая работа № 5	17
Методы защиты металлов от коррозии	
Задания для выполнения практических работ	23
Список рекомендуемой литературы	31
Приложение А. Стандартные электродные потенциалы металлов	32
Приложение Б. Атомная масса и плотности элементов	33

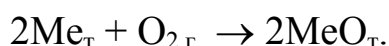
Практическая работа №1

Показатели коррозии. Расчет массового показателя коррозии. Расчет глубинного показателя коррозии. Расчет объемного показателя коррозии. Перерасчет объемного показателя коррозии в весовой показатель коррозии.

Химическая коррозия металлов – это самопроизвольное взаимодействие металла с коррозионной средой, при котором окисление металла и восстановление окислительного компонента коррозионной среды протекают в одном акте.

Химическая коррозия возникает в результате химического воздействия коррозионной среды (без образования электрического тока) и протекает обычно в неэлектропроводной среде, например, в безводных средах и газах, особенно при повышенных температурах.

При химической коррозии окисление металла происходит в один акт с образованием оксидных соединений по следующей схеме:



Частным случаем химической коррозии является газовая, которая протекает в газах при высокой температуре.

Первопричина химической коррозии – термодинамическая неустойчивость металлов. При решении вопроса о термодинамической возможности газовой коррозии необходимо рассчитать изменение свободной энергии во время реакции или сравнить внешнее давление окислителя и упругость диссоциации продуктов коррозии металлов.

Основными показателями коррозии металлов являются массовый показатель скорости коррозии K_m^\pm , глубинный показатель K_n и объемный K_v .

Массовый показатель (K_m^\pm) характеризует изменение массы (Δm) образца металла в результате коррозии, отнесенное к единице поверхности металла S и к единице времени τ (например, г/м²·час, кг/м²·с):

$$K_m^\pm = \frac{\Delta m}{S \cdot \tau} \quad (1)$$

Этот показатель может быть отрицательным, если масса металла

за время испытания τ после удаления продуктов коррозии уменьшилась ($-\Delta m$). Он может быть и положительным, если масса образца за время испытаний увеличилась ($+\Delta m$) за счет образования оксидных пленок.

Если известен состав продуктов коррозии металла, то можно сделать пересчет положительного показателя изменения массы в отрицательный по формуле:

$$K_m^- = K_m^+ \cdot \frac{n_{ок} \cdot A_{ме}}{n_{ме} \cdot A_{ок}}, \quad (2)$$

где $A_{ме}$ – атомная масса металла;
 $A_{ок}$ – атомная масса окислителя;
 $n_{ме}$ – валентность металла;
 $n_{ок}$ – валентность окислителя;
 K_m^- и K_m^+ – соответственно отрицательный и положительный массовый показатель коррозии.

Глубинный показатель K_n (мм/год) связан с массовым отрицательным (K_m^-) следующей зависимостью:

$$K_n = K_m^- \cdot \frac{8,76}{\rho}, \quad (3)$$

где K_m^- – отрицательный массовый показатель, $г/м^2 \cdot час$;
 ρ – плотность корродирующего металла, $г/см^3$;
8,76 – переводной коэффициент.

Объемный показатель коррозии определяется по формуле:

$$K_v = \frac{V_0}{S \cdot \tau}, \quad (4)$$

где V_0 – приведенный к нормальным условиям объем поглощенного газа, $м^3$ и определяется по формуле:

$$V_0 = \frac{V_\tau}{T}, \quad (5)$$

где T – температура окисления, К.

Во время высокотемпературного окисления из внешней среды поглощается кислород. Поэтому по изменению объема поглощенного кислорода можно рассчитать массу Δm прокорродировавшего при этом металла, используя обычные стехиометрические расчеты.

Задача 1: При высокотемпературной коррозии цинка на воздухе в течение 5 часов поглотилось 200 см^3 кислорода при $400 \text{ }^\circ\text{C}$ и нормальном давлении. Площадь изделия составляла 100 см^2 . Определить показатели скорости коррозии: K_m^- , K_m^+ , K_n , K_v .

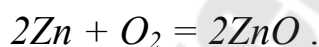
Поскольку объем кислорода V_τ в ходе опыта дан при температуре 400°C , то его необходимо привести к нормальным условиям. Для этого целесообразно использовать следующую формулу (5):

$$V_0 = \frac{200 \cdot 10^{-6} \cdot 273}{673} = 0,81 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3.$$

Объемный показатель коррозии определяем по формуле (4):

$$K_v = \frac{0,81 \cdot 10^{-4}}{0,01 \cdot 5} = 0,162 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}.$$

Высокотемпературное окисление цинка происходит по реакции:



В соответствии с реакцией при высокотемпературном окислении двух грамм-атомов цинка расходуется один грамм-моль кислорода или 22,4 л. При поглощении 200 см^3 кислорода вступает в реакцию следующее количество цинка:

$$\Delta m = \frac{2 \cdot 65,38 \cdot 0,81 \cdot 10^{-4}}{22,4 \cdot 10^{-3}} = 4,7 \cdot 10^{-1} = 0,47 \text{ г}.$$

Определяем массовый отрицательный показатель скорости

коррозии.

$$K_m^- = \frac{\Delta m}{S \cdot \tau} = \frac{0,47}{0,01 \cdot 5} = 9,4 \text{ г/м}^2 \cdot \text{час.}$$

Определяем глубинный показатель скорости коррозии

$$K_n = K_m^- \cdot \frac{8,76}{\rho} = 9,4 \cdot \frac{8,76}{7,13} = 11,55 \text{ мм/год.}$$

Если дано положительное изменение массы металла (образовавшийся оксид формирует пленку на поверхности металла), то указанное число может быть использовано для расчета соответствующего положительного массового показателя. Для определения массы прореагировавшего металла (убыли массы) и объема поглощенного при окислении кислорода необходимо использовать стехиометрические соотношения реакции окисления. Полученные данные используют для расчета массового отрицательного и объемного показателей коррозии.

Практическая работа №2

Пленки на металлах и их защитные покрытия

При окислении на поверхности металла образуются плёнки, которые снижают его химическую активность. Оксидные плёнки могут быть сплошные либо несплошные. Сплошность образуемой на металле оксидной пленки оценивают по неравенству:

$$1 < \frac{V_{ок}}{V_{ме}} < 2,5, \quad (6)$$

где $V_{ок}$ – молекулярный объём оксида;

$V_{ме}$ – атомный объём металла.

Соотношение условия сплошности можно рассчитать по формуле:

$$\frac{V_{ок}}{V_{ме}} = \frac{M_{ок} \cdot \rho_{ме}}{m \cdot \rho_{ок} \cdot A_{ме}}, \quad (7)$$

где $M_{ок}$ – молекулярная масса оксида,

$\rho_{ме}$ – плотность металла,

$\rho_{ок}$ – плотность оксида,

$A_{ме}$ – атомная масса металла,

m – количество атомов металла в оксиде.

Если полученное расчетное значение $\frac{V_{ок}}{V_{ме}} < 1$ или, $\frac{V_{ок}}{V_{ме}} > 2,5$

то образованная оксидная пленка не является сплошной.

Задача 2: Определить, может ли магний давать сплошную окисную пленку, если плотность магния равна $1,74 \text{ г/см}^3$, а плотность оксида магния MgO – $3,65 \text{ г/см}^3$.

Определяем необходимое соотношение объемов оксида и металла, используя приведенные данные и атомные веса:

$$\frac{V_{ок}}{V_{ме}} = \frac{M_{ок} \cdot \rho_{ме}}{m \cdot \rho_{ок} \cdot A_{ме}} = \frac{(24,32 + 16) \cdot 1,74}{3,65 - 24,32} = 0,79, \text{ т.е. } < 1$$

следовательно, окисная пленка на магнии не может быть сплошной.

Задача 3: Необходимо определить, удовлетворяют ли условию сплошности $\frac{V_{ок}}{V_{ме}} > 1$ пленки окислов на железе, плотность которого

составляет $7,86 \text{ г/см}^3$. При нагревании в воздухе железо покрывается продуктами газовой коррозии, так называемой окалиной, состоящей из окислов железа FeO , Fe_3O_4 и Fe_2O_3 , плотности которых соответственно равны $5,7$; $5,2$ и $5,24 \text{ г/см}^3$.

Используя данные приложения 1, находим соотношение объемов оксида и металла для каждого оксида:

1. для окисла FeO

$$\frac{V_{ок}}{V_{ме}} = \frac{(55,85 + 16) \cdot 7,86}{5,7 - 55,85} = 1,77 \quad \text{т.е} > 1$$

2. для окисла Fe₃O₄

$$\frac{V_{ок}}{V_{ме}} = \frac{(55,85 + 16 \cdot 4) \cdot 7,86}{3 \cdot 5,2 - 55,85} = 2,09 \quad \text{т.е} > 1$$

3. для окисла Fe₂O₃

$$\frac{V_{ок}}{V_{ме}} = \frac{(55,85 \cdot 2 + 16 \cdot 3) \cdot 7,86}{2 \cdot 5,24 - 55,85} = 2,14 \quad \text{т.е} > 1$$

Таким образом, пленки всех трех окислов железа удовлетворяют условию сплошности.

Практическая работа №3

Термодинамика процессов коррозии. Оценка вероятности процессов коррозии различных металлов.

Принципиальная возможность протекания реакции окисления металла определяется изобарно-изотермическим потенциалом ΔG_T (энергией Гиббса).

Если $\Delta G_T < 0$, то коррозия возможна; $\Delta G_T > 0$ – коррозия невозможна; $\Delta G_T = 0$ – реакция находится в равновесии.

Чтобы определить ΔG_T , нужно произвести расчёт по формуле:

$$\Delta G_T = RT (\lg P_{MeO} - \lg P_{O_2}), \quad (8)$$

где P_{MeO} – равновесное парциальное давление кислорода или упругость диссоциации оксида;

P_{O_2} – фактическое давление кислорода.

Реакция окисления будет протекать в том случае, когда парциальное давление окислителя будет больше упругости диссоциации

оксида этого металла, т.е. $P_{O_2} > P_{MeO}$. Реакция высокотемпературного окисления металла будет находиться в равновесии, если парциальное давление кислорода (P_{O_2}) и упругость диссоциации оксида (P_{MeO}) станут равными.

Задача 4: Необходимо определить будут ли корродировать эти металлы: а) на воздухе; б) в вакууме, давление воздуха в котором равно 10^{-3} Па? Температура 1000°C .

Таблица 1 – Исходные данные

P_{MeO} , Па	
Me ₁	Me ₂
10^{-13}	$0,9 \cdot 10^5$

а) Определим ΔG_T данных металлов на воздухе:

$\Delta G_{T1} = 8,31 \cdot 1273 (\lg 10^{-13} - \lg 10^5) = 10578,63 \cdot (-18) = -190415,34$ кДж,
 $\Delta G_T < 0$, коррозия возможна.

$\Delta G_{T2} = 8,31 \cdot 1273 (\lg 10^5 - \lg 10^5) = 10578,63 \cdot (0) = 0$ кДж, $\Delta G_T = 0$,
 реакция находится в равновесии.

б) Определим ΔG_T данных металлов в вакууме:

$\Delta G_{T1} = 8,31 \cdot 1273 (\lg 10^{-13} - \lg 10^{-3}) = 10578,63 \cdot (-10) = -10578,3$ кДж,
 $\Delta G_T < 0$, коррозия возможна.

$\Delta G_{T2} = 8,31 \cdot 1273 (\lg 10^5 - \lg 10^{-3}) = 10578,63 \cdot (8) = 84629,04$ кДж, $\Delta G_T > 0$,
 коррозия возможна.

Практическая работа №4

Расчет вероятности и скорости электрохимической коррозии

При изучении этого материала необходимо обратить внимание на то, что при электрохимической коррозии металлов обязательно протекают одновременно два процесса - анодный (растворение металла) и катодный (восстановление какого-нибудь окислителя - деполяризатора). Места их протекания – анодные и катодные участки поверхности металла, появление которых вызвано электрохимической неоднородностью поверхности. Необходимо разобраться в сущности этих процессов, в причинах появления местных (локальных)

гальванических элементов и уметь приводить уравнения реакций, протекающих на анодных и катодных участках в разных электропроводных средах – кислых, нейтральных, щелочных.

Следует рассмотреть основные внутренние и внешние факторы, влияющие на скорость электрохимической коррозии. Изучить влияние состава двухкомпонентных систем на скорость коррозии (правило порогов устойчивости Таммана). Обратить внимание на связь между положением металла в периодической системе и его склонностью к растворению в электропроводных средах. Отметить, какие металлы склонны к пассивации.

Электрохимическая коррозия – самопроизвольное разрушение металлических материалов вследствие их электрохимического взаимодействия с окружающей электропроводящей средой.

Главная особенность электрохимической коррозии состоит в том, что реакции ионизации атомов металла и восстановления окислителя, содержащегося в коррозионной среде, разделены в пространстве, а их скорости определяются величинами электродных потенциалов.

Задача 5: Определить, при каком отношении активности ионов цинка к активности ионов меди прекратится растворение металлического цинка за счет выделения ионов меди из деаэрированного раствора CuSO_4 при температуре 20°C .

С электрохимической точки зрения данная система представляет гальваническую цепь $\text{Cu}|\text{Cu}^{2+}(a_{\text{Cu}^{2+}})|\text{Zn}^{2+}(a_{\text{Zn}^{2+}})|\text{Zn}$. Растворение цинка и выделение меди прекратится когда наступит равновесие, при котором потенциалы электродов относительно раствора должны быть равны, т. е. $V_{\text{Zn}} = V_{\text{Cu}}$, следовательно

$$V_{\text{Zn}}^0 + \frac{RT}{2F} 2,303 \lg a_{\text{Zn}}^2 = V_{\text{Cu}}^0 + \frac{RT}{2F} 2,303 \lg a_{\text{Zn}}^2, \quad (9)$$

Откуда

$$\lg \frac{a_{\text{Zn}}^{2+}}{a_{\text{Cu}}^{2+}} = \frac{V_{\text{Cu}}^0 - V_{\text{Zn}}^0}{\frac{RT}{2F} 2,303} \quad (10)$$

Подставляя в полученное уравнение значения стандартных потенциалов

$V_{Zn}^0 = -0,762$ в, $V_{Cu}^0 = +0,337$ и коэффициента $RT/F \cdot 2,303 = 0,0581$ в, находим:

$$\lg \frac{a_{Zn}^{2+}}{a_{Cu}^{2+}} = \frac{(0,345 + 0,762) \cdot 2}{0,0581} = 37,83,$$

откуда

$$\frac{a_{Zn}^{2+}}{a_{Cu}^{2+}} = 6,76 \cdot 10^{38},$$

т.е. практически полное вытеснение цинком ионов меди из раствора.

Первое и основное отличие электрохимического механизма коррозии от чисто химического состоит в том, что общая реакция химического взаимодействия реагента с металлом при электрохимической коррозии разделяется на два в значительной мере самостоятельно протекающих процесса:

- анодный процесс (окисление) - переход металла в раствор в виде гидратированных ионов с оставлением эквивалентного количества электронов в металле: $Me \rightarrow Me^{+z} + ze$;

- катодный (восстановление) - ассимиляция появившихся в металле избыточных электронов какими-либо деполяризаторами (атомами, молекулами или ионами раствора, которые могут восстанавливаться на катоде): $D + ze \rightarrow [D ze]$, где D – деполяризатор (окислитель).

Основными деполяризаторами в природе чаще всего являются: ионы H^+ в кислых средах, и молекулы кислорода – в нейтральных и щелочных средах.

Тип катодной реакции определяется показателем кислотности среды.

В кислых средах протекает реакция водородной деполяризации:

$H^+ + e \rightarrow \frac{1}{2} H_2$, потенциал которой определяется уравнением:

$\varphi_{H^+/H_2} = -0,059 \text{ pH}$.

В нейтральных и щелочных средах протекает реакция кислородной деполяризации:

$O_2 + 4e + 2H_2O \rightarrow 4OH^-$, потенциал которой определяется

уравнением:

$$\varphi_{\text{O}_2/\text{OH}^-} = 1,23 - 0,059 \text{ рН} .$$

Термодинамическую возможность протекания электрохимической коррозии можно определить по изменению энергии Гиббса

$$\Delta G_{\text{r}} = - z \cdot F \cdot E,$$

где F – число Фарадея;

E – ЭДС гальванического элемента;

z – число электронов, участвующих в реакции.

Чтобы решить вопрос о вероятности протекания реакции, нужно определить знак ЭДС для заданных условий:

$$E = \varphi_{\text{к}} - \varphi_{\text{а}}, \quad (11)$$

где $\varphi_{\text{а}}$ – электродный потенциал металла в данной среде;

$\varphi_{\text{к}}$ – потенциал либо водородного, либо кислородного электрода в коррозионной среде.

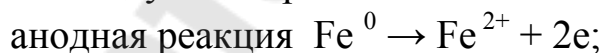
Рассмотрим пример расчета термодинамической вероятности протекания электрохимической коррозии железа и меди в кислой среде с $\text{рН}=1$.

Стандартный электродный потенциал железа составляет $\varphi_{\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}} = -0,44$ В (справочная величина). В кислой среде протекает катодная реакция водородной деполяризации, потенциал которой в этих условиях составляет:

$$\varphi_{\text{H}^+/\text{H}_2} = -0,059 \text{ рН} = -0,059 \cdot 1 = -0,059 \text{ В} .$$

$$\text{Тогда ЭДС будет равна } E = \varphi_{\text{к}} - \varphi_{\text{а}} = -0,059 - (-0,44) = +0,381 \text{ В} .$$

Так как $E > 0$, то $\Delta G < 0$, а значит железо корродирует в кислой среде по следующим реакциям:



Стандартный электродный потенциал меди составляет $\varphi_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}} = +0,34$ В (справочная величина). В кислой среде протекает катодная реакция водородной деполяризации, потенциал которой составит:

$$\varphi_{\text{H}^+/\text{H}_2} = -0,059 \text{ В},$$

$$\text{а ЭДС будет равна } E = \varphi_{\text{к}} - \varphi_{\text{а}} = -0,059 - (+0,34) = -0,399 \text{ В} .$$

Так как $E < 0$, то $\Delta G > 0$, а значит медь не корродирует в кислой среде.

Если металлы контактируют в электропроводной среде, то между ними возникает гальванический элемент, в котором анодом будет металл, имеющий более электроотрицательный электродный потенциал. Катодом в паре является тот металл, электродный потенциал которого более электроположительный.

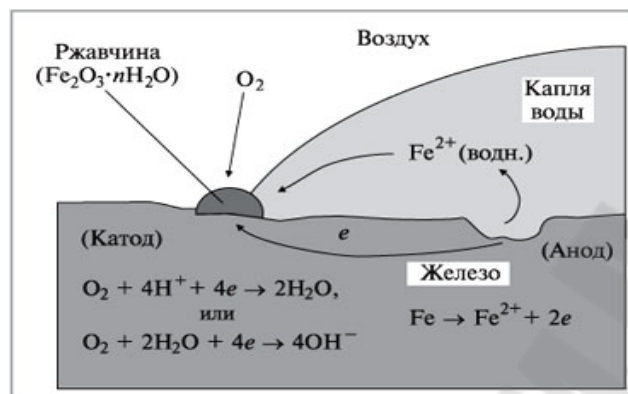


Рисунок 1 - Схема электрохимической коррозии железа без контакта с другими металлами

Этот механизм коррозии наиболее распространен. Он реализуется при взаимодействии металлических материалов с электролитами: водными растворами солей, кислот, щелочей, расплавами солей и щелочей.

Рассмотрим коррозию железа и олова, находящихся в контакте в нейтральной среде. Анодом в паре является железо ($\varphi_{\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}} = -0,44 \text{ В}$), а катодом – олово ($\varphi_{\text{Sn}^{2+}/\text{Sn}} = -0,136 \text{ В}$). Поэтому на аноде протекает анодное окисление железа по реакции: А: $\text{Fe}^0 \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2e$, а на катоде (олове) в нейтральной среде будет протекать катодная реакция кислородной деполяризации:



При этом материал катода (олово) в реакции не участвует (см. рис.2).

Поверхность металла представляет собой многоэлектродный (состоящий из двух и более отличающихся друг от друга электродов) гальванический элемент (рис. 3).

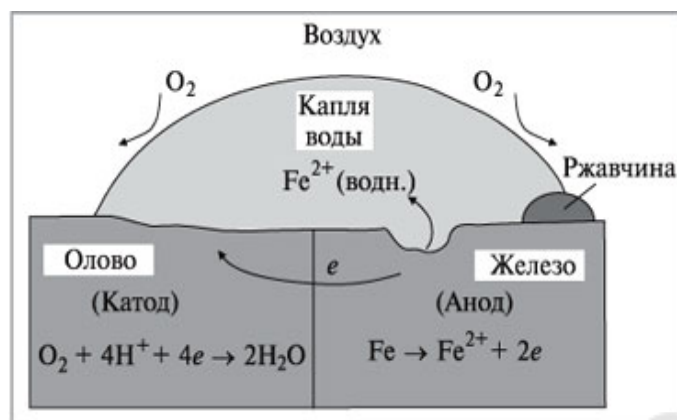


Рисунок 2 - Схема электрохимической коррозии при контакте железа и олова

Таким образом, на поверхности формируются участки двух видов: анодные и катодные, образующие местные гальванические элементы.

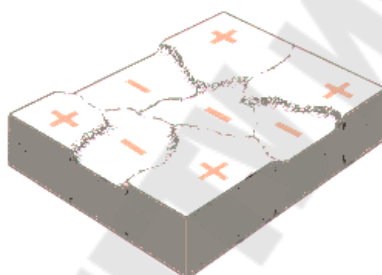


Рисунок 3 - Схема многоэлектродного гальванического элемента на поверхности корродирующего металла

Причины появления местных гальванических элементов представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Причины возникновения гетерогенности поверхности металла

Общая причина	Конкретная причина
Неоднородность металла	
Неоднородность металлической фазы	а) макро- и микровключения (неметаллические включения являются катодными участками); б) неоднородность сплава.
Неоднородность поверхности металла	а) наличие границ блоков и зерен кристаллитов; б) выход дислокаций на поверхность металла; в) анизотропность металлического кристалла.
Атомарная неоднородность поверхности металла	а) наличие разнородных атомов в твердом растворе.

Неоднородность защитных пленок на поверхности металла	а) макро- и микропоры в окисной пленке (дно пор является анодами); б) неравномерное распределение по поверхности металла вторичных продуктов.
Неоднородность внутренних напряжений в металле	а) неравномерная деформация; б) неравномерность приложенных внешних напряжений (более напряженные являются анодными участками).
Неоднородность электролита	
Неоднородность жидкой фазы	а) различие в концентрации собственных ионов данного металла в электролите; б) различие в концентрации нейтральных солей в растворе; в) различия pH; г) различие в концентрации кислорода (более аэрируемые являются катодными).
Неоднородность физических условий	
Неоднородность физических условий	а) различие температур (более нагретые участки являются анодными); б) неравномерное распределение лучистой энергии; в) неравномерное наложение внешнего электрического поля.

Например, на поверхности металла присутствует пленка лакокрасочного покрытия, не полностью покрывающая металлическое изделие, находящееся в растворе серной кислоты (рисунок 4).

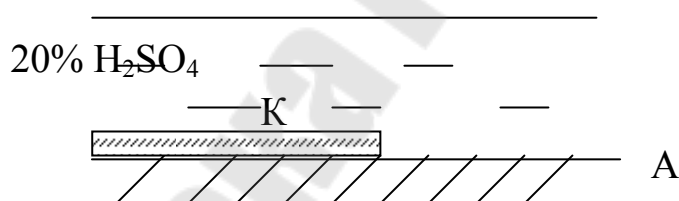
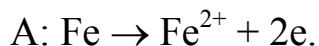


Рисунок 4 - Схема расположения анодных и катодных участков на поверхности корродирующего металла

На поверхности металла, покрытой лакокрасочной пленкой, будет протекать катодный процесс. Так как среда кислая, то катодной реакцией будет водородная деполяризация: $K: H^+ + e \rightarrow \frac{1}{2} H_2$.

На металле без покрытия будет протекать анодная реакция, так как эта часть металлического образца более активна по отношению к поверхности, покрытой лакокрасочной пленкой. Если в качестве металла выбрано железо, то будет протекать следующая реакция

анодного окисления:



Задача 6: Рассчитать весовой показатель коррозии алюминия (99,50% Al) в олеуме. Размеры образца $50 \times 30 \times 1$ мм; вес до испытания 4,0530 г; вес после восьмисуточного испытания 4,0189 г.

Полная поверхность подлежащего испытанию образца

$$S_0 = 5 \cdot 3 \cdot 2 + 0,1 (5 \cdot 2 + 3 \cdot 2) = 31,6 \text{ см}^2, \text{ или } 0,00316 \text{ м}^2.$$

Время коррозии $\tau = 8 \times 24 = 192$ часа.

Рассчитываем весовой показатель коррозии по уравнению

$$K_{\text{вес}}^- = \frac{g_0 - g_1}{S_0 \cdot \tau}$$

где g_0 – вес образца до коррозии, г;

g_1 – вес образца после коррозии, г;

S_0 – полная поверхность подлежащего испытанию образца, м^2 ;

τ – время коррозии, ч.

$$K_{\text{вес}}^- = \frac{4,0530 - 4,0189}{0,00316 \cdot 192} = 0,0562 \text{ г / м}^2 \cdot \text{час}$$

Практическая работа № 5

Методы защиты металлов от коррозии

Современная защита металлов от коррозии базируется на следующих методах:

- повышение химического сопротивления конструкционных материалов;
- изоляция поверхности металла от агрессивной среды;
- понижение агрессивности производственной среды;
- снижение коррозии наложением внешнего тока (электрохимическая защита).

Эти методы можно разделить на две группы. Первые два метода обычно реализуются до начала производственной эксплуатации металлоизделия (выбор конструкционных материалов и их сочетаний еще на стадии проектирования и изготовления изделия, нанесение на него защитных покрытий). Последние два метода, напротив, могут быть

осуществлены только в ходе эксплуатации металлоизделия (пропускание тока для достижения защитного потенциала, введение в технологическую среду специальных добавок-ингибиторов) связаны с какой-либо предварительной обработкой до начала использования.

При применении первых двух методов не могут быть изменены состав сталей и природа защитных покрытий данного металлоизделия при непрерывной его работе в условиях меняющейся агрессивности среды. Вторая группа методов позволяет при необходимости создавать новые режимы защиты, обеспечивающие наименьшую коррозию изделия при изменении условий их эксплуатации. Например, на разных участках трубопровода в зависимости от агрессивности почвы можно поддерживать различные плотности катодного тока или для разных сортов нефти, прокачиваемой через трубы данного состава, использовать разные ингибиторы.

Однако в каждом случае приходится решать, каким из средств или в каком их сочетании можно получить наибольший экономический эффект.

Широко применяются следующие основные решения защиты металлических конструкций от коррозии:

Защитные покрытия.

Металлические покрытия.

По принципу защитного действия различают анодные и катодные покрытия. Анодные покрытия имеют в водном растворе электролитов более отрицательный электрохимический потенциал, чем защищенный металл, а катодные - более положительный. Вследствие смещения потенциала анодные покрытия уменьшают или полностью устраняют коррозию основного металла в порах покрытия, т.е. оказывают электрохимическую защиту. Катодные покрытия могут усиливать коррозию основного металла в порах, однако ими пользуются, т.к. они повышают физико-механические свойства металла, например, износостойкость, твердость. Но при этом требуются значительно большие толщины покрытий, а в ряде случаев дополнительная защита.

Металлические покрытия разделяются также по способу их получения (электролитическое осаждение, химическое осаждение, горячее и холодное нанесение, термодиффузионная обработка, металлизация напылением, плакирование).

Неметаллические покрытия.

Данные покрытия получают нанесением на поверхность различных неметаллических материалов: лакокрасочных, каучуковых, пластмассовых, керамических и др.

Наиболее широко используются лакокрасочные покрытия, которые можно разделить по назначению (атмосферостойкие, ограниченно атмосферостойкие, водостойкие, специальные, маслобензостойкие, химически стойкие, термостойкие, электроизоляционные, консервационные) и по составу пленкообразователя (битумные, эпоксидные, кремнийорганические, полиуретановые, пентафталевые и др.)

Покрытия, получаемые химической и электрохимической обработкой поверхности, представляют собой пленки нерастворимых продуктов, образовавшихся в результате химического взаимодействия металла с внешней средой. Поскольку многие из них пористые, они применяются преимущественно в качестве подслоя под смазки и лакокрасочные покрытия, увеличивая защитную способность покрытия на металле и обеспечивая надежное сцепление. Методы нанесения - оксидирование, фосфатирование, пассивирование, анодирование.

Обработка коррозионной среды с целью снижения коррозионной активности.

Примерами такой обработки могут служить: нейтрализация или обескислороживание коррозионных сред, а также применение различного рода ингибиторов коррозии, которые в небольших количествах вводятся в агрессивную среду и создают на поверхности металла адсорбционную пленку, тормозящую электродные процессы и изменяющую электрохимические параметры металлов.

Электрохимическая защита металлов.

Путем катодной или анодной поляризации от постороннего источника тока или присоединением к защищаемой конструкции протекторов, потенциал металла смещается до значений, при которых сильно замедляется или полностью прекращается коррозия.

Разработка и производство новых металлических конструкционных материалов.

Разработка новых материалов повышенной коррозионной устойчивости путем устранения из металла или сплава примесей,

ускоряющих коррозионный процесс (устранение железа из магниевых или алюминиевых сплавов и т.д.), или введения в сплав новых компонентов, сильно повышающих коррозионную устойчивость (например, хрома в железо, марганца в магниевые сплавы, никеля в железные сплавы, меди в никелевые сплавы и т.д.).

Переход в ряде конструкций от металлических к химически стойким материалам.

Применение в приборах и конструкциях пластических высокополимерных материалов, стекла, керамики и других материалов.

Оптимизация эксплуатации металлических конструкций.

Рациональное конструирование и эксплуатация металлических сооружений и деталей (исключение неблагоприятных металлических контактов или их изоляция, устранение щелей и зазоров в конструкции, устранение зон застоя влаги, ударного действия струй и резких изменений скоростей потока в конструкции).

Задача 7: Вычислить состав (т. е. весовой процент хрома) всех теоретически возможных по правилу $n/8$ коррозионно стойких сплавов Fe - Cr.

Рассчитываем весовой процент хрома в сплаве, соответствующем первой границе устойчивости (т. е. содержащем $1/8$ атомных доли хрома), учитывая, что атомный вес железа равен 55,85, а хрома 52,01:

$$n = 1; x = 100 - y; \frac{(100 - y)}{55,85} : \frac{y}{52,01} = \frac{8 - 1}{8} : \frac{1}{8},$$

откуда $442,96y = 5201$, или $y = 11,7\%$ Cr.

Аналогичным образом определяем % хрома в сплаве при $n=2$, $n=3$ и т. д. Результаты расчетов сведены в таблицу.

Таблица 3 – Результаты расчетов границ устойчивости сплавов Fe–Cr

n	1	2	3	4	5	6	7
Весовой процент хрома	11,7	23,7	35,9	48,2	60,8	73,6	86,7

Задача 8: Рассчитать состав коррозионно стойкого сплава, содержащего $1/8$, $2/8$, и $3/8$ атомных долей хрома в твердом растворе,

если в сплаве содержится от 0,15 до 0,45% углерода, образующего смешанный кубический карбид $(Cr, Fe)_4C$. Установлено, что в кубическом карбиде 25% атомов хрома может быть замещено железом.

Определяем молекулярный вес кубического карбида $(Cr_3Fe)C$, учитывая, что атомный вес хрома 52,01, железа 55,85 и углерода 12,01:

$$M = 52,01 \cdot 3 + 55,85 + 12,01 = 223,89.$$

Рассчитываем теперь состав карбида. Содержание в нем хрома $(156,03/223,89) \cdot 100 = 69,7\%$

содержание железа

$$(55,85/223,89) \cdot 100 = 24,9\%$$

содержание углерода

$$(12,04/223,89) \cdot 100 = 5,4\%$$

Если принять количество углерода в карбиде за 1, то будет, иметь место следующее соотношение:

$$C:Cr:Fe = 1:12,9:4,6,$$

т. е. 1 весовая часть углерода связывает в карбид 12,9 весовых частей хрома и 4,6 весовых частей железа.

Содержание хрома в твердом растворе сплава будет равно

$$Cr_{m.p} = \frac{Cr - 12,9C}{100 - (1 + 12,9 + 4,6)C} 100 = \frac{Cr - 12,9C}{100 - 18,5C} 100$$

где $Cr_{m.p}$ – весовой процент хрома в твердом растворе;

Cr – весовой процент хрома в сплаве;

C – весовой процент углерода в сплаве.

Таким образом, количество хрома, которое следует ввести в сплав для обеспечения необходимого содержания хрома в твердом растворе, может быть рассчитано по следующему уравнению

$$Cr = Cr_{m.p}(1 - 0,185C) + 12,9C.$$

Подставляя в это уравнение вместо $Cr_{m.p}$ последовательно 11,7, 23,7 и 35,9 весовых процентов, что соответствует 1/8, 2/8, и 3/8 атомных долей хрома в твердом растворе, получим для сплава, содержащего 1/8, атомной доли хрома в твердом растворе,

$$Cr = 11,7 + 10,7 C;$$

для сплава, содержащего 2/8 атомных долей хрома в твердом растворе

$$Cr = 23,7 - c 8,5 C;$$

для сплава, содержащего 3/8 атомных долей хрома в твердом растворе,

$$Cr = 35,9 + 6,3 C.$$

Полученные уравнения позволяют рассчитывать содержание хрома в сплаве, обеспечивающее необходимое его содержание в твердом растворе, при любом содержании углерода. Результаты расчетов для заданного по условию содержания углерода в сплаве приводятся в таблице:

Таблица 4 – Результаты расчета содержания хрома в сплавах с кубическим карбидом (при 0,15 и 0,45% C)

$Cr_{m.p}$ в весов. %	Cr (весов, %) при содержании C в весов. %	
	0,15	0,45
11,7	13,3	16,5
23,7	25,0	27,5
35,9	36,8	38,7

Следовательно, образование тригонального карбида мало изменяет количество хрома в сплаве, которое необходимо для обеспечения 1/8 его атомной доли в твердом растворе и даже несколько снижает количество хрома в сплаве, необходимого для обеспечения 2/8 и 3/8 его атомной доли в твердом растворе.

ЗАДАНИЕ №1

Рассчитать отрицательный и положительный массовый K_m^{\pm} , глубинный K_n , и объемный K_v показатели коррозии металлов по данным табл. 2.2. Атмосферное давление во всех случаях равно 10^5 Па.

Таблица 5 - Данные для расчета показателей скорости коррозии

№ п/п	Металл	S, см ²	τ, час.	Состав продуктов окисления	Δm, г	Объем поглощенного кислорода V _τ , л	Температура окисления, К
1	Mn	100	8	MnO	-	2,5	1273
2	Cr	100	20	Cr ₂ O ₃	-	50	673
3	Ni	1000	100	NiO	+20,0	-	1173
4	Cu	1000	13	CuO	-30,0	-	673
5	Mo	50	4	Mo ₂ O ₃	-40,0	-	1073
6	Zn	150	100	ZnO	+20,0	-	673
7	Ni	80	12	NiO	-	2,0	1073
8	Fe	20	10	Fe ₂ O ₃	-	0,5	1273
9	Cd	100	8	CdO	-	5,0	873
10	Co	200	6	CoO	-	2,0	1073
11	Fe	10	1	Fe ₃ O ₄	-0,1	-	1073
12	Ni	100	2	NiO	-3,0	-	973
13	Mg	70	3	Mg	+10,0	-	1173
14	V	80	5	V ₂ O ₅	-4,0	-	1273
15	V	100	7	V ₂ O ₄	-10,0	-	973
16	Fe	50	6	Fe ₂ O ₃		2,5	1173
17	W	20	3	WO ₂		50	1273
18	W	40	4	WO ₃		20	873
19	Bi	60	6	Bi ₂ O ₃	+75,5	-	1073
20	Al	80	5	Al ₂ O ₃	+30,0	-	1373
1	2	3	4	5	6	7	8
21	Cd	20	10	CdO	-25,0		1273
22	Fe	40	8	Fe ₃ O ₄	-45,0		873
23	Pb	60	6	PbO	-50,0		973
24	Cu	80	7	CuO	-22,0		1173
25	Sb	100	2	Sb ₂ O ₃	-	100	773
26	Fe	20	1	Fe ₂ O ₃		0,5	973
27	Os	30	2	OsO ₂		5,0	1173

№ п/п	Металл	S, см ²	τ, час.	Состав продуктов окисления	Δm, г	Объем поглощенного кислорода V _τ , л	Температура окисления, К
28	Ag	40	4	Ag ₂ O		2,0	1273
29	Ba	50	5	BaO	- 5,0		873
30	Al	60	6	Al ₂ O ₃	- 10,0		1073
31	Co	70	5	CoO	+10,0		1373
32	Cd	80	7	CdO	+20,0		1273
33	Zn	90	8	ZnO	-30,0		873
34	Pb	100	10	PbO	-40,0		973
35	Ni	200	20	NiO	+50,0		1173
36	Nb	300	10	Nb ₂ O ₅	-	2,5	773
37	Mn	400	3	Mn ₂ O ₅	-	50	973
38	Sn	500	20	SnO	-	20	1173
39	Bi	60	4	Bi ₂ O ₃	-	0,2	1273
40	Zn	20	25	ZnO	-	2,0	873
41	Nb	30	1	NbO ₂	-	0,8	1073
42	Nb	40	4	NbO	-	2,0	1373
43	Zr	50	5	ZrO ₂	-	0,5	1273
44	Ni	2000	7	NiO	-	5,0	873
45	Pb	3000	2	PbO ₂	-	2,0	973
46	Ti	4000	3	TiO ₂	-10,0		1173
47	Ag	5000	4	Ag ₂ O	-25,0		773
48	Cu	6000	5	CuO	+35,5		973
49	V	7000	6	V ₂ O ₅	+90,0		1173
50	Zn	8000	7	ZnO	+40,0		1273

ЗАДАНИЕ №2

Оценить сплошность пленок, образуемых на поверхности металлов при высокотемпературной коррозии.

Таблица 6 - Данные для расчета условия сплошности пленок

№ п/п	Металл	Оксид	ρ, г/см ³		№п/п	Металл	Оксид	ρ, г/см ³	
			металл	оксид				металл	оксид
1	Al	Al ₂ O ₃	2,70	4,00	26	Mn	Mn ₃ O ₄	7,30	4,80
2	Be	BeO	1,85	3,00	27	Mn	Mn ₂ O ₃	7,30	4,30
3	Cd	CdO	8,64	8,15	28	Mo	MoO ₂	10,23	6,47

			ρ , г/см ³					ρ , г/см ³	
4	Co	CoO	8,80	6,20	29	Mo	MoO ₃	10,23	4,6
5	Co	Co ₂ O ₃	8,80	5,18	30	Nb	Nb ₂ O ₅	8,56	4,7
6	Co	Co ₃ O ₄	8,80	6,10	31	Nb	NbO ₂	8,56	5,98
7	Cr	Cr ₂ O ₃	7,16	5,21	32	Nb	NbO	8,56	7,26
8	Cu	Cu ₂ O	8,93	6,0	33	Ni	NiO	8,90	7,45
9	Cu	CuO	8,93	6,4	34	Pb	PbO ₂	11,34	9,38
10	Fe	FeO	7,86	5,7	35	Pb	PbO	11,34	9,53
11	Fe	Fe ₃ O ₄	7,86	5,1	36	Ir	IrO ₂	22,42	3,15
12	Fe	Fe ₂ O ₃	7,86	5,24	37	Sn	SnO	7,3	6,45
13	Mg	MgO	1,74	3,58	38	Ta	Ta ₂ O ₅	16,6	8,74
14	Mn	MnO	7,30	5,40	39	Zn	ZnO	7,14	5,6
15	V	VO	6,11	5,7	40	Zr	ZrO ₂	6,50	5,73
16	V	V ₂ O ₃	6,11	4,85	41	Ca	CaO	1,54	3,37
17	V	V ₂ O ₄	6,11	4,3	42	Na	Na ₂ O	0,97	2,8
18	V	V ₂ O ₅	6,11	3,36	43	Sr	SrO	2,67	4,7
19	W	WO ₂	19,3	12,11	44	Ba	BaO	3,50	5,0
20	W	WO ₃	19,3	7,16	45	Ti	TiO ₂	4,54	4,26
21	W	W ₃ O	19,3	14,8	46	Pb	Pb ₃ O ₄	11,34	9,10
22	Bi	Bi ₂ O ₃	9,87	8,93	47	Ag	Ag ₂ O	10,5	7,14
23	Sb	Sb ₂ O ₃	6,67	5,67	48	Pd	PdO	12,02	8,7
24	Ga	Ga ₂ O ₃	5,9	5,95	49	Pt	PtO	21,45	14,9
25	In	In ₂ O ₃	7,31	7,18	50	Os	OsO ₂	22,4	11,37

ЗАДАНИЕ № 3

В таблице 7 приведены упрочности диссоциации P_{MeO} оксидов двух металлов. Будут ли корродировать эти металлы: а) на воздухе; б) в вакууме, давление воздуха в котором равно 10^{-3} Па? Температура 1000 °С. Ответ обоснуйте.

Таблица 7 - Данные для расчета вероятности протекания газовой коррозии

№ п/п	P_{MeO} , Па		№ п/п	P_{MeO} , Па		№ п/п	P_{MeO} , Па	
	Me ₁	Me ₂		Me ₁	Me ₂		Me ₁	Me ₂
1	10^{-4}	0,4	18	10^{-15}	$1,3 \cdot 10^5$	35	10^{-32}	$0,4 \cdot 10^4$
2	10^{-6}	10^{-2}	19	10^{-16}	$1,4 \cdot 10^5$	36	10^{-33}	$0,3 \cdot 10^4$
3	10^{-4}	0,1	20	10^{-17}	$1,6 \cdot 10^5$	37	10^{-34}	$0,2 \cdot 10^4$
4	0,1	10^{-3}	21	10^{-18}	$1,7 \cdot 10^5$	38	10^{-35}	$0,1 \cdot 10^4$
5	10^{-7}	10^{-12}	22	10^{-19}	$1,5 \cdot 10^5$	39	10^{-16}	10^4
6	10^{-5}	10^{-11}	23	10^{-20}	$1,8 \cdot 10^5$	40	10^{-15}	10^3
7	10^{-5}	10^{-4}	24	10^{-21}	$1,9 \cdot 10^5$	41	10^{-14}	$0,1 \cdot 10^4$
8	10^{-14}	10^{-3}	25	10^{-22}	$2,0 \cdot 10^5$	42	10^{-13}	$0,2 \cdot 10^4$

9	10^{-5}	10^{-9}	26	10^{-23}	$0,2 \cdot 10^5$	43	10^{-12}	$0,3 \cdot 10^4$
10	10^{-6}	0,8	27	10^{-24}	$0,3 \cdot 10^5$	44	10^{-11}	$0,4 \cdot 10^4$
11	10^{-7}	0,3	28	10^{-25}	$0,1 \cdot 10^5$	45	10^{-10}	$0,5 \cdot 10^4$
12	10^{-8}	1,4	29	10^{-26}	10^5	46	10^{-9}	$0,6 \cdot 10^4$
13	10^{-9}	2,0	30	10^{-27}	$0,9 \cdot 10^4$	47	10^{-8}	$0,7 \cdot 10^4$
14	10^{-11}	$0,4 \cdot 10^5$	31	10^{-28}	$0,8 \cdot 10^4$	48	10^{-7}	$0,8 \cdot 10^4$
15	10^{-12}	$0,8 \cdot 10^5$	32	10^{-29}	$0,7 \cdot 10^4$	49	10^{-6}	$0,9 \cdot 10^4$
16	10^{-13}	$0,9 \cdot 10^5$	33	10^{-30}	$0,6 \cdot 10^4$	50	10^{-5}	10^2
17	10^{-14}	$1,0 \cdot 10^5$	34	10^{-31}	$0,5 \cdot 10^4$			

ЗАДАНИЕ №4

Оцените возможность использования металла для жаростойкого легирования железа (сравнительную оценку выполните по отношению к железу). Ответ обоснуйте.

Таблица 8 - Данные о химических элементах

№ п/п	Металл	γ иона, нм	$-\Delta G^\circ$, кДж/моль	R, Ом при 1000 °С
	Fe ²⁺	0,075	283	10^{-3}
1	Si ⁴⁺	0,041	910	10^6
2	Ca ²⁺	0,098	647	10^3
3	Ti ⁴⁺	0,068	944	10^2
4	V ³⁺	0,066	1250	10^4
5	Cr ³⁺	0,064	1165	10^1
6	Mn ³⁺	0,062	958	10^1
7	Al ³⁺	0,050	1690	10^7
8	Zn ²⁺	0,074	318	10
9	Ni ²⁺	0,069	252	10^2
10	Mo ⁶⁺	0,083	780	10^2
11	Mo ⁴⁺	0,079	605	10^2
12	Sr ²⁺	0,113	605	10^2
13	Zr ⁴⁺	0,080	1115	10^1
14	Nb ⁴⁺	0,071	810	10^{-2}
15	Sn ²⁺	0,118	300	2
16	Ba ²⁺	0,175	635	0,22
17	Pb ²⁺	0,032	240	10^{-4}
18	Be ²⁺	0,065	603	10^6
19	Mg ²⁺	0,072	608	10^6
20	Co ²⁺	0,065	251	10^{-3}
21	Cu ²⁺	0,096	162	10^{-3}
22	Cd ²⁺	0,097	260	7

23	W ⁵⁺	0,066	1402	10 ³
24	Nb ⁵⁺	0,069	1900	10 ⁻²
25	Pt ²⁺	0,080	90	10 ³

Примечания: ΔG° - работа образования оксида; R - омическое сопротивление оксида; r - радиус иона металла.

ЗАДАНИЕ №5

Выбрать и обосновать наиболее экономически целесообразный способ защиты металлического изделия от коррозии в заданных условиях.

Таблица 9 - Условия эксплуатации металлических материалов

№	Изделие	Условие эксплуатации
1	Свая	Морская вода
2	Конструкции буровой вышки	Морская атмосфера и вода
3	Корпус корабля	Морская атмосфера и вода
4	Канат	Подземная шахта
5	Корпус вагонетки	Атмосферная коррозия
6	Нефтехранилище (внутренняя поверхность)	Сырая нефть
7	Мостовой кран	Отделение травления
8	Мостовой кран	Цех прокатки
9	Кран для погрузки	Шихтовый двор
10	Кран для воды	Воздух
11	Парогенератор	Перегретый пар, t= 300-500°C
12	Водопроводные трубы	Горячая вода
13	Водопроводные трубы	Холодная вода
14	Травильная ванна	Серная кислота, 20%
15	Травильная ванна	Соляная кислота, 15%
16	Травильная ванна	Азотная кислота, 10%
17	Гайка	Атмосфера
18	Болт	Морская вода
19	Подкрылки автомобиля	Атмосфера городская, гололед
20	Подвесной мост	Территория промышленного предприятия
21	Цельнометаллический вагон	Атмосфера
22	Кузов автомобиля	Атмосфера, вода
23	Паровой котел	Период межремонтных работ
24	Электрический контакт	Атмосфера
25	Муфта	Грунт, нефть (внутри трубы)

№	Изделие	Условие эксплуатации
26	Вытяжная труба	Продукты сгорания топлива
27	Холодильники газовые	Орошение водой
28	Емкости для хранения воды	Пресная вода
29	Метизные детали	Атмосфера
30	Метизные детали	Межоперационное хранение
31	Трубный прокат	Межоперационное хранение после травления
32	Выхлопная труба автомобиля	Выхлопные газы при $t = 500-800\text{ }^{\circ}\text{C}$
33	Железнодорожные колеса	Транспортировка морем
34	Арматура нагревательных печей	Атмосфера, $t = -500 - 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$
35	Бензобак	Бензин
36	Металлорежущие станки	Промышленная атмосфера
37	Выхлопная труба автомобиля	Выхлопные газы
38	Гайка	Морская атмосфера
39	Хлебоуборочный комбайн	Сельская атмосфера
40	Корпус прибора	Закрытое складское помещение
41	Радиатор автомобиля	Атмосферная коррозия, $t = 50-90\text{ }^{\circ}\text{C}$
42	Пружина	Морская коррозия
43	Металлопрокат	Термообработка при $t = 500\text{ }^{\circ}\text{C}$
44	Ведро для хранения воды	Пресная вода
45	Кровельный лист	Атмосфера
46	Ключ гаечный	Атмосфера
47	Купол воздухонагревателя	Атмосфера
48	Кран-балка	Травильное отделение
49	Опора кран-балок	Литейный двор
50	Кран-балка	Морская атмосфера
51	Трубопроводы для холодной воды	Грунт
52	Трубопроводы для горячего водоснабжения	Атмосфера
53	Нефтепроводы	Грунт
54	Газопроводы	Грунт
55	Корпус корабля	Морская вода
56	Трубопроводы для горячей воды	Атмосфера
57	Трубопроводы для горячей воды	Грунт
58	Арматура в бетоне	Бетон
59	Алюминиевые листы для изготовления ответственных	Морская атмосфера

№	Изделие	Условие эксплуатации
	деталей	
60	Лопасты винтов корабля	Морская вода
61	Обшивка самолета	Атмосфера
62	Гайки, шайбы	Хранение воздуха
63	Несущие конструкции доменных цехов	Промышленная атмосфера
64	Крыша дома	Городская атмосфера
65	Трубы	Термообработка ($t=500^{\circ}\text{C}$)
66	Катанка	Травление в кислоте
67	Листы	Термообработка (отжиг)
68	Холодильные камеры	Атмосфера
69	Корпус пылесоса	Атмосфера
70	Бак стиральной машины	Моющие средства
71	Корпус стиральной машины	Атмосфера, моющий раствор
72	Батареи водяного отопления	Горячая ($40-90^{\circ}\text{C}$) вода, атмосфера
73	Вагоны трамвая	Атмосфера
74	Кузов автомобиля	Атмосфера
75	Корпус часов	Атмосфера
76	Трубы (водоводы)	Морская вода
77	Трубы (водоводы)	Солончаковый грунт
78	Днище автомобиля	Атмосфера
79	Колпаки колес автомобиля	Атмосфера
80	Цистерна	Концентрированная серная кислота
81	Цистерна	Пресная вода
82	Бачок для хранения растворов	Раствор щелочи
83	Бачок для хранения растворов	Раствор соли
84	Бачок для хранения растворов	Пресная вода
85	Внутренняя поверхность труб насоса для перекачки растворов	Вода
86	Корпус ручных часов	Атмосфера
87	Контакты электрические	Атмосфера
88	Ванна для травления	Серная кислота ($\text{C} = 25\%$)
89	Ванна для промывки после сернокислотного травления	Вода оборотного цикла
90	Наружные металлоконструкции печи для термообработки	Температура (до $t 300^{\circ}\text{C}$)
91	Станины прокатных станков	Промышленная атмосфера

№	Изделие	Условие эксплуатации
	(горячая прокатка)	
92	Трубы для перекачки кислоты	Растворы сернокислые (С = 20%)
93	Опоры линий электропередач	Сельская атмосфера
94	Крыша конвертерного цеха	Промышленная атмосфера
95	Конструкции соко-цеха сахарного завода	Промышленная атмосфера (t воздуха до 50-60°С)
96	Формы для выпечки хлеба	Высокая температура
97	Пассажирские вагоны	Атмосфера
98	Пояса дымовых труб	Промышленная атмосфера
99	Катанка	Межоперационное хранение
100	Металлические изделия	Длительное хранение

Список рекомендуемой литературы

Основная

1. Шлугер М.А., Ажогин Ф.Ф., Ефимов Е.А. Коррозия и защита металлов. – М.: Metallurgy, 1981. - 216 с.
2. Жук А.П. Курс теории коррозии и защиты металлов. – М.: Metallurgy, 1976. - 472 с.
3. Томашов Н.Д., Чернов Г.П. Теория коррозии и коррозионностойкие конструкционные сплавы. – М.: Metallurgy, 1986. - 359 с.
4. Исаев Н. И. Теория коррозионных процессов: учеб. для вузов: учеб. для вузов – Москва :Metallurgy, 1997. – 361 с.
5. Коррозия и защита металлических конструкций и оборудования: учебное пособие для вузов /И. М. Жарский [и др.] – Минск: Вышэйшая школа, 2012. -302 с.

Дополнительная

6. Гальванотехника: Справ. изд./Ажогин Ф.Ф., Беленький М.А., Галь И.Е. и др. М.: Metallurgy, 1987, – 736 с.
7. Гальванические покрытия в машиностроении: Справочник. В 2-х томах/ Под ред М.А. Шлугера. – М.: Машиностроение, 1985. Т. 1. – 240 с.; т. 2. 1985. – 248 с.
8. Коррозия: Справ. изд./ Под ред. Л.Л. Шрайера. Пер. с англ. – М.: Metallurgy, 1981. -632 с.
9. Антропов Л.И., Макушин Е.М., Панасенко В.Ф. Ингибиторы коррозии металлов. – К.: Техніка, 1981. – 183 с.
10. Розенфельд И.Л. Ингибиторы коррозии. – М.: Химия, 1977. – 352 с.
11. Решетников С.М. Ингибиторы кислотной коррозии металлов. – Л.: Химия, 1986. – 144 с.
12. Коррозионная стойкость оборудования химических производств. Нефтеперерабатывающая промышленность: Справ.изд./Под ред. Ю.И. Арчакова, А.М. Сухотина. –Л.: Химия, 1990. – 400 с.
13. Морская коррозия/ Под ред. М.М. Шумахера. – М.: Metallurgy, 1983. -512 с.

Таблица 10 – Стандартные электродные потенциалы металлов

Реакция	φ , В	Реакция	φ , В
$K^+ + e \leftrightarrow K$	-2,925	$Ni^{2+} + 2e \leftrightarrow Ni$	- 0,250
$Ba^{2+} + 2e \leftrightarrow Ba$	-2,900	$Mo^{3+} + 3e \leftrightarrow Mo$	- 0,200
$Na^+ + e \leftrightarrow Na$	- 2,714	$Sn^{2+} + 2e \leftrightarrow Sn$	- 0,136
$Mg^{2+} + 2e \leftrightarrow Mg$	-2,370	$Pb^{2+} + 2e \leftrightarrow Pb$	- 0,126
$Hf^{4+} + 4e \leftrightarrow Hf$	- 1,700	$Fe^{3+} + 3e \leftrightarrow Fe$	- 0,037
$Al^{3+} + 3e \leftrightarrow Al$	-1,660	$H^+ + e \leftrightarrow \frac{1}{2} H_2$	0,000
$Ti^{2+} + 2e \leftrightarrow Ti$	-1,630	$Sn^{4+} + 4e \leftrightarrow Sn$	+ 0,007
$Zr^{4+} + 4e \leftrightarrow Zr$	- 1,530	$Bi^{3+} + 3e \leftrightarrow Bi$	+ 0,215
$Ti^{3+} + 3e \leftrightarrow Ti$	-1,210	$Sb^{3+} + 3e \leftrightarrow Sb$	+ 0,240
$V^{2+} + 2e \leftrightarrow V$	- 1,186	$Cu^{2+} + 2e \leftrightarrow Cu$	+ 0,337
$Mn^{2+} + 2e \leftrightarrow Mn$	-1,180	$Co^{3+} + 3e \leftrightarrow Co$	+ 0,418
$Cr^{2+} + 2e \leftrightarrow Cr$	- 0,913	$Cu^+ + e \leftrightarrow Cu$	+ 0,521
$Zn^{2+} + 2e \leftrightarrow Zn$	- 0,762	$Ag^+ + e \leftrightarrow Ag$	+ 0,799
$Cr^{3+} + 3e \leftrightarrow Cr$	- 0,740	$Hg^{2+} + 2e \leftrightarrow Hg$	+ 0,854
$Fe^{2+} + 2e \leftrightarrow Fe$	- 0,440	$Pd^{2+} + 2e \leftrightarrow Pd$	+ 0,987
$Cd^{2+} + 2e \leftrightarrow Cd$	- 0,402	$Ir^{3+} + 3e \leftrightarrow Ir$	+ 1,150
$In^{3+} + 3e \leftrightarrow In$	- 0,342	$Pt^{2+} + 2e \leftrightarrow Pt$	+ 1,190
$Mn^{3+} + 3e \leftrightarrow Mn$	- 0,283	$Au^{3+} + 3e \leftrightarrow Au$	+ 1,500
$Co^{2+} + 2e \leftrightarrow Co$	- 0,277	$Au^+ + e \leftrightarrow Au$	+ 1,690

Таблица 6 – Атомная масса и плотности элементов

Элемент	Символ	Атомная масса	Плотность, г/см ³
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Азот	N	14,00	-
Алюминий	Al	26,98	2,70
Барий	Ba	137,33	3,51
Бериллий	Be	9,01	1,82
Бор	B	10,81	2,34
Бром	Br	79,90	3,12
Ванадий	V	50,94	5,90
Висмут	Bi	208,98	9,87
Водород	H	1,00	-
Вольфрам	W	183,85	19,30
Галлий	Ga	69,72	5,9
Железо	Fe	55,85	7,86
Золото	Au	196,92	19,30
Индий	In	114,82	7,31
Йод	I	126,90	-
Иридий	Ir	192,22	22,42
Кадмий	Cd	112,41	8,64
Калий	K	39,09	0,86
Кальций	Ca	40,08	1,55
Кислород	O	15,99	-
Кобальт	Co	58,93	8,83
Кремний	Si	28,08	2,33
Магний	Mg	24,30	1,74
Марганец	Mn	54,93	7,30
Мышьяк	As	74,92	-
Медь	Cu	63,54	8,93
Молибден	Mo	95,94	10,20
Натрий	Na	22,98	0,97
Никель	Ni	58,70	8,90
Ниобий	Nb	92,91	8,56
Олово	Sn	118,69	7,28

Палладий	Pd	106,40	12,00
Платина	Pt	195,09	21,45
Рений	Re	186,21	20,90
Родий	Rh	102,91	12,44
Рутений	Ru	101,07	12,30
Свинец	Pb	207,20	11,34
Селен	Se	78,96	4,79
Сера	S	32,06	2,07
Серебро	Ag	107,87	10,50
Стронций	Sr	87,62	2,60
Сурьма	Sb	121,75	6,68
Тантал	Ta	180,98	16,60
Титан	Ti	47,90	4,50
Углерод	C	12,01	-
Уран	U	238,02	18,9
Фосфор	P	30,97	-
Фтор	F	18,99	-
Хлор	Cl	35,45	-
Хром	Cr	51,99	7,90
Цинк	Zn	65,38	7,13
Цирконий	Zr	91,22	6,50

Герасимова Ольга Валентиновна

ЗАЩИТА МЕТАЛЛОВ ОТ КОРРОЗИИ

ПРАКТИКУМ

**для студентов специальности 1-42 01 01
«Металлургическое производство
и материалобработка (по направлениям)»
направления 1-42 01 01-01 «Металлургическое
производство и материалобработка (металлургия)»
специализации 1-42 01 01-01 02 «Электрометаллургия
черных и цветных металлов»
дневной и заочной форм обучения**

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 21.10.13.

Пер. № 9Е.
<http://www.gstu.by>