

**КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ  
МАТЕРИАЛОВ.  
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И  
ДИАГНОСТИКА ПРОЦЕССОВ  
КОРРОЗИИ**

**• ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ •**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ТАМБОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

**КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ  
МАТЕРИАЛОВ.  
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И  
ДИАГНОСТИКА ПРОЦЕССОВ  
КОРРОЗИИ**

Методические указания  
к выполнению лабораторных работ по курсу  
"Химическое сопротивление материалов и защита от коррозии"  
для студентов дневного отделения специальностей 1705 и 330200

Тамбов  
• Издательство ТГТУ •  
2003

УДК 620.193  
ББК 30.121  
К68

Утверждено Редакционно-издательским советом университета

Рецензент  
Кандидат технических наук, профессор  
*А.А. Климов*

Составитель  
*А.А. Баранов*

К68 Коррозионная стойкость материалов. Прогнозирование и диагностика процессов коррозии: Метод. указ. / Сост. А.А. Баранов. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2003. 24 с.

Даны методические указания по выполнению лабораторных работ по курсу "Химическое сопротивление материалов и защита от коррозии". Содержат последовательность выполнения лабораторных работ, методический материал.

Предназначены для студентов дневного отделения специальностей 1705 и 330200.

УДК 620.193

ББК 30.121

© Тамбовский государственный  
технический университет  
(ТГТУ), 2003

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ МАТЕРИАЛОВ. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ДИАГНОСТИКА  
ПРОЦЕССОВ КОРРОЗИИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Составитель БАРАНОВ Андрей Алексеевич

Редактор Е. С. Мордасова  
Инженер по компьютерному макетированию Т. А. Сынкova

Подписано к печати 5.06.2003.  
Формат 60 × 84/16. Гарнитура Times. Бумага газетная. Печать офсетная.  
Объем: 1,4 усл. печ. л.; 1,3 уч.-изд. л.  
Тираж 100 экз. С. 390

Издательско-полиграфический центр  
Тамбовского государственного технического университета  
392000, Тамбов, ул. Советская, 106, к. 14

# ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

## Сведения о процессах коррозии металлов и разрушении неметаллических материалов

В соответствии с Единой системой защиты от коррозии старения и биоповреждений коррозия металлов определена как разрушение металлов вследствие химического или электрохимического взаимодействия их с коррозионной средой. В системе международной стандартизации это понятие несколько шире: физико-химическое взаимодействие между металлом и средой, в результате которого изменяются свойства металла и часто происходит ухудшение функциональных характеристик металла, среды или включающей их технической системы.

Объекты воздействия коррозии – металлы, сплавы, металлопокрытия, металлоконструкции машин, оборудование и сооружения.

Процесс коррозии происходит в коррозионной системе, состоящей из металла и коррозионной среды. Последняя содержит одно или несколько веществ, вступающих в реакцию с металлом.

Изменение в любой части коррозионной системы, вызванное коррозией, называется коррозионным эффектом.

Коррозионный эффект, ухудшающий функциональные характеристики металла, покрытия, среды или включающих их технических систем, расценивают как эффект повреждения или как коррозионную порчу.

В результате коррозии образуются новые вещества, включающие окислы и соли корродирующего металла, это – продукты коррозии. Видимые продукты атмосферной коррозии, состоящие в основном из гидратированных оксидов железа, называют ржавчиной, продукты газовой коррозии при высоких температурах – окалиной.

Количество металла, превращенного в продукты коррозии за определенное время, относят к коррозионным потерям.

Коррозионные потери единицы поверхности металла в единицу времени характеризуют скорость коррозии. Эффект повреждений, связанный с потерями механической прочности металла, определяют термином – коррозионное разрушение, глубину его в единицу времени – скоростью проникновения коррозии.

Факторы, влияющие на скорость, вид и распределение коррозии и связанные с природой металла (состав, структура, внутренние напряжения, состояние поверхности), называют внутренними факторами коррозии.

Факторы, влияющие на те же параметры коррозии, но связанные с составом коррозионной среды и условиями процесса (температура, влажность, обмен среды, давление и т.п.) называют внешними факторами коррозии.

Классификация основных факторов коррозии представлена в табл. 1.

### 1 Факторы коррозии

Группа факторов	Название	Обозначение
По состоянию металла	Термодинамическая устойчивость металла	$X_1$
	Положение металла в периодической системе	$X_2$
	Соотношение компонентов в сплаве	$X_3$
	Структура металла	$X_4$
	Гетерогенность (неоднородность) поверхности	$X_5$
	Шероховатость поверхности	$X_6$
	Внутренние напряжения	$X_7$
По конструктивному	Контакт разнородных металлов	$X_8$
	Контакт металла и полимера	$X_9$
	Характер соединения элементов конст-	$X_{10}$

исполнению изделия	ружции	$X_{11}$
	Слитность сечения, обтекаемость форм и т.п.	$X_{12}$
	Общая компоновка, размещение элементов	$X_{13}$
	Концентрация напряжений	$X_{14}$
	Доступность восстановления покрытий	$X_{15}$
Технологические	Возможность дополнительной защиты	
	Химический состав металла	$X_{16}$
	Химический состав сплава	$X_{17}$
	Состояние поставки	$X_{18}$
	Технологические особенности полуфабрикатов	$X_{19}$
	Технологические особенности обработки	$X_{20}$
	Технологические особенности защитных покрытий	$X_{21}$
	Особенности дополнительной обработки	$X_{22}$
	Технологические особенности соединения	$X_{23}$
Эксплуатационные	Продолжительность эксплуатации	$X_{24}$
	Температура и ее изменения	$X_{25}$
	Толщина и равномерность водной среды	$X_{26}$
	рН раствора	$X_{27}$
	Характер загрязнения	$X_{28}$
	Наличие стимуляторов (ингибиторов) коррозии	$X_{29}$
	Давление среды	$X_{30}$
	Солнечная радиация	$X_{31}$
	Движение среды	$X_{32}$
	Внешние нагрузки	$X_{33}$
	Характер контакта с агрессивной средой	$X_{34}$
	Воздухообмен	$X_{35}$

Классифицировать коррозию принято по механизму, условиям протекания процесса и характеру разрушения. Кроме этого, коррозию можно рассматривать с учетом специфики использования аппаратов, машин, оборудования и сооружений в конкретных отраслях промышленности.

По механизму протекания коррозионные процессы подразделяются на два типа: химическую и электрохимическую коррозию.

К химической коррозии относятся процессы, протекающие при непосредственном химическом взаимодействии между металлом и агрессивной средой, не сопровождающиеся возникновением электрического тока. Характерной особенностью процесса химической коррозии является образование продуктов коррозии непосредственно в месте взаимодействия металла с агрессивной средой. По условиям протекания здесь можно выделить: газовую коррозию (коррозия металлов, вызываемая действием паров и газов при высоких температурах) и коррозию в неэлектролитах (коррозия металлов в жидкостях, не проводящих электрический ток).

К электрохимической коррозии, являющейся гетерогенной электрохимической реакцией, относятся коррозионные процессы, протекающие в водных растворах электролитов, влажных газах, расплавленных солях и щелочах. При электрохимической коррозии процесс растворения металлов сопровождается появлением электрического тока, как в металле, так и в агрессивной среде. При этом электрический ток возникает вследствие процессов коррозии, а не за счет подвода его извне. При электрохимической коррозии одновременно происходит два процесса: окислительный (растворение металла на одном участке) и восстановительный (например, восстановление кислорода). Эти два участка называют анодом и катодом и соответственно различают анодный и катодный процесс. Анодный процесс – переход металла в

раствор в виде гидратированных ионов, с оставлением эквивалентного количества электронов в металле. Катодный процесс – ассимиляция избыточных электронов из металла атомами молекул или ионами раствора.

В зависимости от условий протекания процессов и характера разрушения металла различают следующие виды коррозии.

Атмосферная коррозия – коррозия в условиях влажной воздушной среды. Это наиболее распространенный вид коррозии.

Подземная коррозия – разрушение металла под действием почвы или грунта.

Подводная коррозия – коррозия под действием пресной, морской, минеральной и другой воды.

Промышленная коррозия – коррозия металлов при получении, переработке промышленно важных сред.

По виду разрушения различают сплошную и местную коррозию.

При сплошной коррозии разрушению подвержена вся поверхность материала, контактирующая с агрессивной средой. Сплошная коррозия делится на равномерную и неравномерную.

При местной коррозии поражения сосредоточены на отдельных участках поверхности металла.

Местная коррозия может иметь различный характер и степень неравномерности. Поэтому различают следующие виды местной коррозии:

1) коррозия пятнами – разрушения отдельных участков поверхности на сравнительно небольшую глубину;

2) язвенная коррозия – характеризуется довольно глубокими сосредоточенными поражениями металла на ограниченных участках поверхности ( $S_{\text{пятн.}} > S_{\text{язв.}}$ );

3) точечная коррозия – разрушения сосредоточены на отдельных участках поверхности, но характер поражения более глубокий, вплоть до сквозных поражений;

4) подповерхностная коррозия – разрушения начинаются на поверхности металла, но в дальнейшем распространяются под поверхностью, так что продукты коррозии оказываются сосредоточенными внутри металла и происходит его вспучивание и расслоение;

5) избирательная коррозия – если разрушается один компонент сплава, то это компонентно-избирательная коррозия, например, обесцинкование – процесс разрушения сплавов меди с цинком (латунь) при котором корродирует цинк, а медь остается в виде пористого слоя. Если в раствор переходит только одна структурная составляющая сплава, то такой вид разрушения называется структурно-избирательной коррозией (коррозия серых чугунов, часто сопровождается растворением феррита);

6) межкристаллитная коррозия – относится к избирательной коррозии и характеризуется разрушениями по границам кристаллитов (зерен) металла;

7) щелевая коррозия – характеризуется усиленным разрушением металла под прокладками, в местах неплотного соединения однородных металлов, в небольших зазорах, в резьбовых и клепанных соединениях;

8) ножевая коррозия – наблюдается при сварке нержавеющей сталей при наличии многослойных сварных швов. Причиной ножевой коррозии является разница температурного воздействия на различные слои металла.

Коррозионно-механические разрушения носят общее название коррозии под напряжением. Напряжения могут вызывать усиленное коррозионное разрушение обычно местного характера.

Различают коррозионное растрескивание, вызываемое одновременным воздействием агрессивной среды и внешних или внутренних растягивающих напряжений. Коррозионному растрескиванию подвержены выпарные аппараты, трубопроводы, автоклавы, и другие емкости под давлением.

Не менее опасные разрушения могут иметь место при одновременном воздействии агрессивной среды и знакопеременных нагрузок. Это явление называют коррозионной усталостью.

Кроме того, выделяют коррозию при трении – разрушение металла при одновременном воздействии агрессивной среды и трения.

Термином фреттинг-коррозия обозначают разрушение материалов при колебательном перемещении двух поверхностей относительно друг друга в условиях воздействия коррозионной среды.

При истирающем воздействии обрабатываемой среды происходят разрушения, обозначаемые как коррозионная эрозия.

Серьезные поражения металлов наблюдаются при коррозионной кавитации – разрушении при ударном воздействии коррозионной среды.

Важнейшее понятие теории коррозии – коррозионная стойкость. Она характеризует способность металла или сплава сопротивляться коррозионному воздействию среды и определенным видам коррозионных разрушений.

Методы оценки коррозионной стойкости можно разделить на качественные и количественные. Качественные позволяют визуально установить изменения микрогеометрии поверхности металла или покрытия, а также вид коррозионного разрушения (изменение цвета, качества и неоднородности поверхности).

Для количественной оценки используют показатели коррозии, которые устанавливают скорость коррозионных разрушений или изменение других свойств в результате коррозии. Различают:

1) очаговый показатель коррозии  $K_o$ ,  $1/(м^2 \cdot ч)$  – это число коррозионных очагов, возникающих на единице поверхности материала за определенный промежуток времени в данных условиях эксплуатации;

2) глубинный показатель коррозии  $\Pi$ , мм/год – характеризует среднюю или максимальную глубину коррозионного разрушения за определенное время эксплуатации;

3) показатель склонности металла к коррозии  $K_c$  – характеризует срок эксплуатации до начала коррозионного процесса в часах, сутках, годах. Начало коррозионного процесса определяется состоянием поверхности металла, при котором коррозионное поражение достигло 1 % площади;

4) массовый показатель коррозии  $K_m$ ,  $г/(м^2 \cdot ч)$  – уменьшение или увеличение массы металла во время эксплуатации за счет потерь или роста продуктов коррозии на определенной части поверхности;

5) механические показатели коррозии, например, прочностной  $K_p$ , %, который характеризует изменение предела прочности за время эксплуатации;

6) электрические показатели коррозии, например токовый  $K_t$ ,  $мА/см^2$ , который характеризует величину возникающего электрического тока на участке поверхности металла.

Однако наибольшее практическое распространение получила оценка коррозионного эффекта в баллах определенной шкалы. Шкалы связывают стойкость материалов к воздействию агрессивной среды определенных параметров и скорость коррозии. В нашей стране коррозионную стойкость металлов оценивают по десятибалльной шкале (табл. 2).

Несмотря на большое количество коррозионностойких металлов и сплавов, эти конструкционные материалы в ряде производств не могут удовлетворить растущие потребности промышленности, как с качественной, так и с количественной стороны. Применение неметаллических материалов во многих случаях является более эффективным.

Существенное отличие неметаллических материалов от металлов состоит в том, что они мало или вовсе не электропроводны. Поэтому характер разрушения этих материалов отличен от коррозии металлов и сплавов: их разрушение вызывается химическими или физико-механическими факторами, но не электрохимическими процессами, как в большинстве случаев коррозии металлов.

## 2 Десятибалльная шкала коррозионной стойкости металлов

Группа стойкости	Скорость коррозии, мм/год	Балл
I Совершенно стойкие	Менее 0,001	1
II Весьма стойкие	Свыше 0,001 до 0,005	2
	Свыше 0,005 до 0,01	3
III Стойкие	Свыше 0,01 до 0,05	4
	Свыше 0,05 до 0,1	5
IV Пониженностойкие	Свыше 0,1 до 0,5	6
	Свыше 0,5 до 1,0	7
V Малостойкие	Свыше 1,0 до 5,0	8

	Свыше 5,0 до 10	9
VI Нестойкие	Свыше 10	10

В зависимости от природы, неметаллические материалы подразделяются на материалы неорганического происхождения и материалы органического происхождения. Химическая стойкость материалов неорганического происхождения зависит от большого числа факторов. К ним относятся: химический и минералогический состав, пористость, структура, характер агрессивной среды и ее концентрация, температура, давление и др.

Основную группу материалов органического происхождения составляют полимерные материалы. Разрушение полимерных материалов обозначают термином "старение". Старение – совокупность физических и химических процессов, протекающих в полимерном материале, приводящих к изменению его состава и структуры под действием влияющих факторов. Снижение химической стойкости и физико-механических показателей полимерных материалов в результате старения заключается в деструкции вещества. Под деструкцией понимают процессы, приводящие к уменьшению длины цепей или размеров макромолекул. Процессы деструкции протекают в полимерах под воздействием тепла, света, излучений, кислорода, озона, механических напряжений.

За меру химической стойкости неметаллических материалов, применяемых в качестве герметиков, защитных покрытий, часто принимают величину их набухания в рабочей среде. При использовании тех же материалов в качестве конструкционных или для футеровки крупногабаритного оборудования таких данных недостаточно. В этом случае за критерии стойкости, обеспечивающие работоспособность материала, необходимо принимать данные о его физических и, в частности, механических свойствах в агрессивной среде.

Оценку стойкости неметаллических материалов принято задавать в виде трехбалльной шкалы в зависимости от степени набухания или изменения прочностных параметров (табл. 3).

### 3 Система оценки стойкости неметаллических материалов

Оценка	Набухание, %	Изменение прочности и относительного удлинения, %
Стойкие (С)	Менее 5	Менее 10
Относительно стойкие (ОС)	5 – 10	10 – 20
Нестойкие (Н)	Более 10	Более 20

#### Выбор конструкционных материалов

Выбор конструкционного материала, определяемый условиями эксплуатации проектируемого оборудования, следует осуществлять так, чтобы при низкой стоимости и недефицитности материала обеспечить эффективную технологию изготовления изделия. Кроме этого необходимо учитывать условия эксплуатации изделия, к которым относятся характер агрессивной среды, температура, величина нагрузки и ее цикличность. При этом необходимо обеспечить работоспособность изделия, оцениваемую критериями прочность, жесткость, устойчивость, износостойкость и коррозионная стойкость. Во всех случаях конструкционный материал следует выбирать с учетом совокупности всех значимых критериев работоспособности.

Свойства материала неразрывно связаны между собой и зависят от условий, в которых он находится. Достаточно изменить температуру, нагревая материал, чтобы изменились механические свойства, коррозионные свойства, обрабатываемость и т.д. Поэтому выбор материала начинают с уточнения предельных рабочих условий: температуры, давления, концентрации обрабатываемых веществ. Не существует материалов, свойства которых можно считать абсолютно хорошими или абсолютно плохими. По этой причине к конструкционным материалам предъявляются следующие основные требования:

- 1) достаточная коррозионная стойкость в агрессивной среде с заданными параметрами по концентрации, температуре и давлению;
- 2) достаточная механическая прочность при заданных параметрах;

3) способность получать неразъемные соединения из данного материала методами сварки, пайки, склеивания и т.д., и обеспечение при этом достаточных механических и коррозионных свойств в местах соединения;

4) низкая стоимость и недефицитность материала.

Конструкционный материал должен обладать не только высокой химической стойкостью, но и способностью не загрязнять обрабатываемые продукты. Растворившийся материал, загрязняя продукт, может снизить его качество, изменить цвет, ухудшить вкус. Кроме того, материал может оказаться катализатором, способствующим течению побочных реакций, приводящих к уменьшению выхода основного продукта. Контакт обрабатываемых веществ с материалом может в некоторых случаях воспрепятствовать проведению процессов. По этой причине, например, производство пенициллина осуществляют в эмалированной аппаратуре.

При решении задачи проектирования необходимо придерживаться следующего алгоритма выбора конструкционных материалов:

- 1) подбор ряда материалов стойких в заданной среде с учетом предельных режимов эксплуатации;
- 2) выбор технологии изготовления изделия (возможность механической обработки, сварки и т.д.);
- 3) расчет расхода каждого из выбранных материалов на изготовление изделия;
- 4) расчет стоимости материалов в изделии;
- 5) сравнение стоимостных и материальных затрат на изготовление изделия;
- 6) выбор наиболее эффективного из рассмотренных материалов.

Облегчить реализацию представленного алгоритма можно за счет систематизации в рамках проектных организаций, антикоррозионных служб предприятий, большого количества справочных данных по коррозионной стойкости, механическим и технологическим характеристикам, возможному применению конструкционных материалов. Такая систематизация, с целью ускорения процесса поиска оптимальных решений, может быть решена с использованием новых информационных технологий путем организации баз данных, связывающих воедино перечисленные характеристики конструкционных материалов.

### **Диагностика и прогнозирование процессов коррозии и старения**

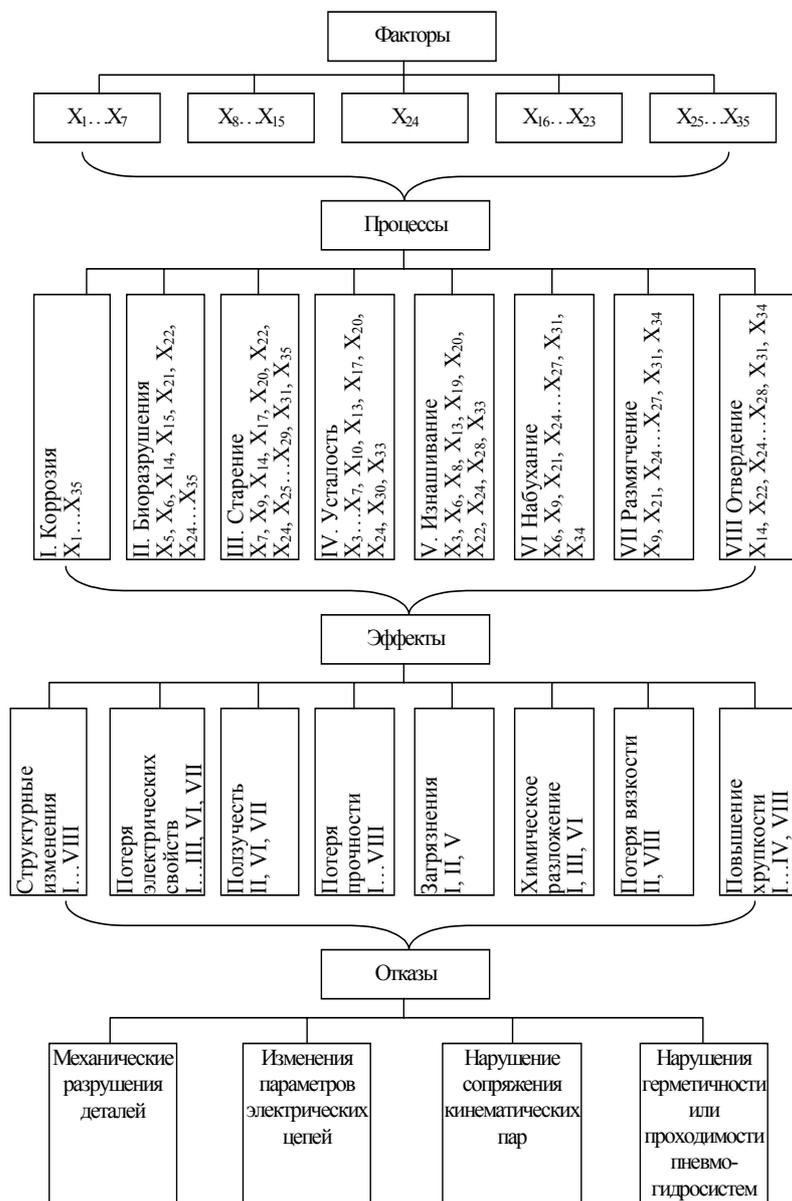
Выявление повреждений на ранних стадиях или предпосылок к ним (диагностика), а также предвидение их развития (прогнозирование) позволяет правильно оценивать условия эксплуатации аппаратов, машин, оборудования и сооружений, определять эффективность применения методов и средств защиты и принимать решение об их совершенствовании.

Интенсивность развития процессов коррозии, старения и биоповреждений в условиях эксплуатации машин, оборудования и сооружений определяют факторы, классификация которых приведена ранее (см. табл. 1).

Одновременное действие нескольких факторов обычно усиливает коррозию и приводит к разрушению металлоконструкций.

Наиболее характерные группы факторов, влияние их на процессы разрушения материалов конструкций и возможные отказы техники показаны на рис. 1.

Как следует из рис. 1, сочетание факторов, способствующих развитию процессов, может быть различным, эффекты, вызываемые ими, также неодинаковы. На такой процесс как коррозия, в самом общем виде влияют все факторы. Учесть их в моделях процесса практически невозможно без предварительной оценки степени воздействия каждого и выявления наиболее значимых из них.



**Рис. 1 Влияние факторов на процессы повреждения техники и возникающие отказы (табл. 1)**

Изучение факторов и умелое управление ими в целях повышения коррозионной стойкости или совершенствования методов защиты металлоконструкций от коррозии может дать большой эффект.

Достаточно эффективным здесь может быть определение значимости факторов методом экспертных оценок. Выявление значимости факторов – необходимое условие оценки опасности рассматриваемых процессов и установления эффективности применяемых методов защиты от них.

Суть метода экспертных оценок применительно к проблемам коррозии заключается в следующем. Каждому виду коррозионного разрушения металлов соответствует определенная группа факторов. Из факторов ( $X_1 \dots X_{35}$ ) методом предварительного опроса специалистов выявляется группа основных факторов, влияющих на развитие коррозионных процессов в той или иной ситуации.

Эксперты оценивают, например, по 100-балльной шкале значимость выбранных на предварительном этапе факторов.

При ранжировании оценок, данных каждому из  $n$  факторов, их обозначают числами натурального ряда таким образом, что число 1 присваивается максимальной оценке, а число  $n$  – минимальной. Если все  $n$  оценок различны, то соответствующие числа есть ранги оценок данного эксперта. Если среди оценок, данных определенным экспертом, есть одинаковые, то этим оценкам назначается одинаковый ранг, равный среднему арифметическому соответствующих чисел натурального ряда (табл. 4).

При обработке материалов по выявлению значимости факторов коррозии оценки в баллах и соответствующие ранги сводятся в таблицу, строки которой соответствуют факторам коррозии, а столбцы экспертам (табл. 5).

На основе полученных данных можно вывести показатели, характеризующие обобщенное мнение группы экспертов и степень согласованности мнений специалистов.

#### 4 Ранжирование экспертных оценок

Факторы	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>23</sub>	X <sub>24</sub>
Баллы	40	60	60	100
Числа	4	2	3	1
Ранги	4	2,5	2,5	1

#### 5 Таблица оценок значимости факторов коррозии

Факторы	Эксперты				Сумма рангов
	1	2	3	4	
X <sub>4</sub>	40 (4)	20 (4)	40 (3,5)	60 (3)	14,5
X <sub>5</sub>	60 (2,5)	50 (3)	40 (3,5)	60 (3)	12
X <sub>23</sub>	60 (2,5)	60 (2)	70 (2)	60 (3)	9,5
X <sub>25</sub>	100 (1)	80 (1)	80 (1)	70 (1)	4

1 Среднее арифметическое значение  $M_j$  величины оценки определенного фактора, баллы

$$M_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m C_{ij}, \quad (1)$$

где  $m$  – количество экспертов;  $C_{ij}$  – оценка значимости, баллы,  $i$ -м экспертом ( $i = 1, 2, \dots, m$ )  $j$ -го фактора коррозии ( $j = 1, 2, \dots, n$ ). Среднее арифметическое определяется для каждого фактора. Чем больше  $M_j$ , тем больше, по мнению экспертов, влияние на коррозионные процессы  $j$ -го фактора.

2 Сумма рангов оценок  $S_j$ , полученных  $j$ -м фактором коррозии

$$S_j = \sum_{i=1}^m R_{ij}, \quad (2)$$

где  $R_{ij}$  – ранг оценки  $i$ -м экспертом  $j$ -го фактора коррозии. Очевидно, что наиболее значимыми следует считать факторы коррозии, характеризующиеся наименьшим значением  $S_j$ .

3 Коэффициент вариации оценок, полученных  $j$ -м фактором коррозии  $V_j$

$$V_j = \frac{\sigma_j}{M_j}, \quad (3)$$

где  $\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (C_{ij} - M_j)^2}$  – среднее квадратическое отклонение оценок, полученных  $j$ -м фактором коррозии. Коэффициент вариации характеризует степень согласованности мнений экспертов об относительной значимости  $j$ -го фактора коррозии. Чем меньше значение  $V_j$ , тем выше степень согласованности мнений экспертов об относительной значимости  $j$ -го фактора коррозии.

4 Коэффициент конкордации  $W$ :

$$W = \frac{12}{m^2(n^3 - n) - m \sum_{j=1}^n d_j} \sum_{j=1}^n d_j; \quad (4)$$

$$d_j = S_j - M[S_j];$$

$$M[S_j] = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n S_j;$$

$$T_i = \sum_{l=1}^L (t_l^3 - t_l),$$

где  $d_j$  – отклонения суммы рангов оценок  $S_j$ , полученных  $j$ -м фактором коррозии от среднего арифметического сумм рангов оценок  $M[S_j]$ , полученных всеми факторами;  $T_i$  – показатели связанных (равных) рангов оценок, назначенных  $i$ -м экспертом;  $l = 1, 2, \dots, L$ ;  $L$  – количество групп связанных рангов;  $t_l$  – количество связанных рангов в  $l$ -й группе.

Коэффициент конкордации является показателем степени согласованности мнений экспертов об относительной значимости совокупности всех предложенных факторов коррозии. Коэффициент конкордации может принимать значения в пределах от 0 до 1. При полной согласованности мнений экспертов  $W = 1$ . О неслучайности согласования мнений специалистов говорит значение коэффициента конкордации большее 0,7.

## Лабораторная работа 1

### КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ МЕТАЛЛОВ. АНАЛИЗ КОМПЬЮТЕРНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ

Цель работы: получить представление о системе оценки коррозионных свойств чистых металлов и принципах построения базы данных по коррозионной стойкости; проследить изменение коррозионных свойств конкретного металла при изменении температуры и концентрации агрессивной среды в соответствии с вариантом; для металлов стойких к воздействию коррозионной среды выяснить причины низкой скорости коррозии.

#### Методические указания

Коррозионная стойкость металлов определяется одной из следующих основных причин.

Металл коррозионно устойчив вследствие своей термодинамической стабильности. Степень термодинамической стабильности металлов в агрессивных средах может быть приблизительно установлена по величине их стандартных электродных потенциалов. Положительное значение электродного потенциала металла чаще всего является признаком термодинамической стабильности.

Металл устойчив благодаря пассивному состоянию. Многие металлы в аэрированных растворах и других окислителях находятся в пассивном состоянии, т.е. не обладая термодинамической стабильностью имеют высокую степень коррозионной стойкости. В результате пассивации на поверхности металлов образуются защитные пленки малой толщины. Такие пленки, обладая хорошей электронной, но очень плохой ионной проводимостью, тормозят процесс анодного растворения металла.

Металл устойчив благодаря возникновению малорастворимого и достаточно плотного слоя из продуктов коррозии. В качестве примера можно указать на сравнительно высокую коррозионную стойкость в восстановительных средах железа, а также газовую коррозию с образованием сплошных окисных пленок. Образующиеся продукты коррозии могут при этом выделяться в виде достаточно толстых и часто видимых слоев.

Металл устойчив благодаря отсутствию в нем примесей, образующих эффективные катоды или аноды. Примером может служить относительно высокая устойчивость чистого железа в растворе серной кислоты.

## Порядок выполнения работы

1 Изучить структуру информационной базы данных по коррозионной стойкости чистых металлов и определить: используемую систему оценки коррозионной стойкости (скорость коррозии, группы, баллы стойкости); основные свойства агрессивной среды, определяющие условия разрушения металлов.

2 Исследовать коррозионные свойства металлов базы данных в конкретной агрессивной среде при различных концентрациях и температурах и выявить материалы, имеющие наилучшие показатели стойкости во всех диапазонах изменения параметров агрессивной среды.

3 Для выбранных металлов определить причины коррозионной стойкости.

4 Построить диаграммы стойкости выбранных металлов в нормальных условиях при различных концентрациях агрессивной среды.

5 Построить диаграммы стойкости выбранных металлов в среде определенной концентрации при различных температурах.

6 Исследовать поведение заданного металла в различных по характеру средах (окислительных, восстановительных, нейтральных) в нормальных условиях и сделать выводы о стойкости и механизме разрушения.

7 Определить примерное назначение и области применения заданного металла.

## Контрольные вопросы

1 Какие свойства агрессивной среды определяют коррозионную стойкость металлов?

2 Виды показателей коррозионной стойкости.

3 Какие, кроме коррозионных, свойства металлов необходимы для реализации алгоритма оптимального выбора конструкционного материала.

5 Алгоритм выбора материалов для изготовления изделия.

6 Причины коррозионной стойкости металлов.

7 Какие свойства легирующих элементов используются при получении коррозионно-стойких сплавов?

8 Десятибалльная шкала коррозионной стойкости. Группы стойкости.

## Лабораторная работа 2

### **КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ СТАЛЕЙ. АНАЛИЗ КОМПЬЮТЕРНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ**

Цель работы: получить представление о системе оценки коррозионных свойств сталей и принципах построения базы данных по коррозионной стойкости; проследить изменение коррозионных свойств при легировании; научиться осуществлять выбор сталей для изготовления изделия.

## Методические указания

Сплавы на основе железа и углерода (стали) имеют наиболее широкое применение во всех отраслях человеческой деятельности. В промышленности с успехом применяются стали различных марок, отличающихся не только химическим составом, но и механическими и технологическими свойствами, стоимостью. Для успешного решения задач по созданию или усовершенствованию аппаратов, машин и оборудования большое значение имеют данные по коррозионным свойствам сталей и области их применения. Кроме того, при выборе стали важен качественный и экономический эффект ее применения.

## Порядок выполнения работы

1 Изучить структуру базы данных по коррозионной стойкости сталей и при этом определить: используемую систему оценки коррозионной стойкости (скорость коррозии, группы, баллы стойкости); основные свойства агрессивной среды, определяющие условия разрушения сталей; номенклатуру имеющихся материалов, выделив основные типы сталей (углеродистые, легированные, нержавеющие).

2 Исследовать коррозионные свойства сталей базы данных в конкретной агрессивной среде при различных концентрациях и температурах и выявить стали, имеющие наилучшие показатели стойкости во всех диапазонах изменения параметров агрессивной среды.

3 Построить диаграммы стойкости заданной стали в нормальных условиях при различных концентрациях агрессивной среды.

4 Построить диаграммы стойкости заданной стали в среде определенной концентрации при различных температурах.

5 Исследовать поведение заданной стали в различных по характеру средах (окислительных, восстановительных, нейтральных) в нормальных условиях и сделать выводы о стойкости и механизме разрушения.

6 Определить примерное назначение и области применения заданной стали.

### Контрольные вопросы

- 1 Какие свойства агрессивной среды определяют коррозионную стойкость сталей?
- 2 Данные о коррозионных свойствах сталей каких видов представлены в базе данных?
- 3 Виды показателей коррозионной стойкости.
- 4 Какие, кроме коррозионных, свойства сталей необходимы для реализации алгоритма оптимального выбора конструкционного материала?
- 5 Алгоритм выбора сталей для изготовления изделия.
- 6 Десятибалльная шкала коррозионной стойкости. Группы стойкости.
- 7 На чем основано получение нержавеющей сталей?

### Лабораторная работа 3

## **ХИМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ. АНАЛИЗ КОМПЬЮТЕРНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ**

Цель работы: получить представление о системе оценки параметров стойкости неметаллических материалов и принципах построения базы данных химической стойкости; проследить изменение стойкости конкретного материала при изменении температуры и концентрации агрессивной среды; выявить основные составляющие конструкционного материала и области его применения в технике.

### Методические указания

Кроме металлов и их сплавов во всех отраслях промышленности нашли широкое применение неметаллические материалы. К ним относят неметаллические материалы неорганического происхождения (гранит, асбест, керамика, бетон, стекло и др.) и органического происхождения (пластмассы, древесина, резина, лаки, клеи, смолы и др.). Стоимость их во много раз меньше стоимости металлов и сплавов, при этом химическая стойкость и технологические свойства неметаллических конструкционных материалов во многих случаях превышают параметры металлов и сплавов. Применение неметаллических материалов в качестве покрытий и конструкционных материалов позволяет в ряде случаев заменить ими дорогостоящие и дефицитные антикоррозионные металлы, легированные стали и сплавы и обеспечить высокую степень чистоты продукции, повысить надежность эксплуатации оборудования. В последние годы накоплен большой опыт применения неметаллических материалов и имеются обширные данные по их химической стойкости.

### Порядок выполнения работы

1 Изучить структуру информационной базы данных по химической стойкости неметаллических материалов и определить: используемую систему оценки стойкости (параметры, определяющие стойкость); основные свойства агрессивной среды, определяющие условия разрушения материалов.

2 Исследовать параметры стойкости материалов базы данных в конкретной агрессивной среде при различных концентрациях и температурах и выявить материалы, имеющие наилучшие показатели стойкости во всех диапазонах изменения параметров агрессивной среды.

3 Построить диаграммы стойкости выбранных материалов в нормальных условиях при различных концентрациях агрессивной среды.

4 Построить диаграммы стойкости выбранных материалов в среде определенной концентрации при различных температурах.

5 Исследовать поведение заданного материала в различных по характеру средах (окислительных, восстановительных, нейтральных) в нормальных условиях и сделать выводы о стойкости и механизме разрушения.

#### Контрольные вопросы

- 1 Какие свойства агрессивной среды определяют стойкость неметаллических материалов?
- 2 Показатели стойкости неметаллических материалов.
- 3 Какие данные, кроме стойкости в агрессивной среде, необходимы для реализации алгоритма оптимального выбора конструкционного материала?
- 5 Алгоритм выбора материалов для изготовления изделия.
- 6 Привести примеры, в которых использование неметаллических материалов более оправдано, чем применение металлов и сплавов.
- 7 Дать классификацию неметаллических материалов.

#### Лабораторная работа 4

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧИМОСТИ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА АТМОСФЕРНУЮ И ПОДЗЕМНУЮ КОРРОЗИЮ МЕТАЛЛОВ МЕТОДОМ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК

Цель работы: на основе знаний, полученных в процессе изучения теоретических основ химического сопротивления и защиты от коррозии, выделить факторы, определяющие коррозионные разрушения при эксплуатации оборудования в атмосферных и подземных условиях; приобрести навыки использования метода экспертных оценок при диагностике и прогнозировании процессов коррозии в определенных условиях; приобрести опыт организации работы со специалистами-экспертами и обработки мнений экспертов, с целью использования его в будущей профессиональной деятельности.

#### Порядок выполнения работы

- 1 Эксперты, являющиеся студентами группы, на первом этапе по данным табл. 1 и рис. 1 коллегиально выделяют характерные факторы, влияние которых наиболее значительно в заданных условиях.
- 2 Выделенные факторы коррозии каждый эксперт самостоятельно ранжирует по значимости того или иного, по его мнению, фактора коррозии в заданных условиях (см. табл. 4).
- 3 Составить сводную таблицу оценок значимости выделенных факторов коррозии по всем участникам рабочей экспертной группы (см. табл. 5).
- 4 Рассчитать статистические параметры  $M_j$ ,  $S_j$ ,  $V_j$  и  $W$  по формулам (1) – (4).
- 5 По полученным данным определить наиболее значимые факторы атмосферной и подземной коррозии металлов, степень обобщенности мнений членов рабочей группы о влиянии выделенных факторов, степень согласованности мнений экспертов об относительной важности совокупности рассмотренных факторов коррозии.
- 6 Сравнить полученные выводы со справочными данными по значимости факторов при рассмотренных видах коррозии.

#### Контрольные вопросы

- 1 Классификация основных факторов коррозии и старения.

- 2 Влияние факторов коррозии и старения на процессы повреждения техники и возникающие отказы.
- 3 Механизм атмосферной коррозии металлов.
- 4 Механизм подземной коррозии металлов.
- 5 По каким показателям экспертных оценок можно судить о значимости того или иного фактора коррозии в заданных условиях?
- 6 Какой показатель определяет степень согласованности мнений экспертов об относительной значимости совокупности рассматриваемых факторов коррозии?

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- 1 Сухотин А.М., Зотников В.С. Химическое сопротивление материалов: Справочник / Под ред. А.М. Сухотина. Л.: Химия, 1975.
- 2 Туфанов Д.Г. Коррозионная стойкость нержавеющей сталей и чистых металлов: Справочник. М.: Металлургия, 1990.
3. Клинов И.Я. Коррозия химической аппаратуры и коррозионностойкие материалы. М.: Машиностроение, 1967.
- 4 Экспертные оценки в научно-техническом прогнозировании / Г.М. Добров, Ю.В. Ершов и др. Киев: Наукова думка, 1974.
- 5 Защита от коррозии, старения и биоповреждений машин, оборудования и сооружений: Справочник. В 2-х т. / Под ред. А.А. Герасименко. М.: Машиностроение, 1987.