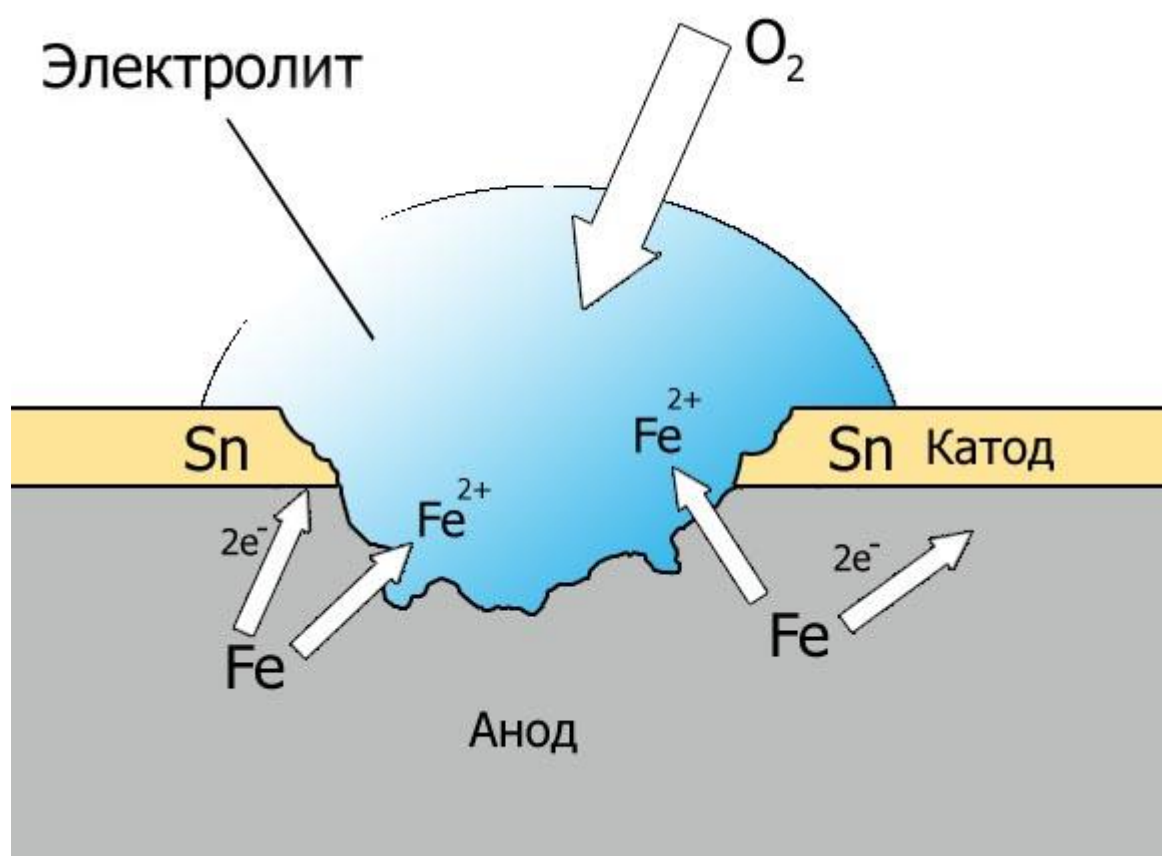


В.А. Козлов, М.О. Месник

## Основы коррозии и защиты металлов

Учебное пособие



ИВАНОВО  
2011

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Ивановский государственный химико-технологический университет

В.А. Козлов, М.О. Месник

## **ОСНОВЫ КОРРОЗИИ И ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛОВ**

Учебное пособие

Иваново 2011

УДК 691.667.6(07.07)

Козлов, В.А. Основы коррозии и защиты металлов: учеб. пособие /В.А. Козлов, М.О. Месник; Иван. гос. хим. – технол. ун-т. – Иваново, 2011. – 177с.

В учебном пособии раскрывается сущность химической и электрохимической коррозии, описываются влияние различных факторов на скорость коррозии. Рассматривается коррозия металлов в атмосфере и грунте. Подробно описываются способы защиты металлов от коррозии: электрохимическая защита, ингибиторы коррозии, защитные покрытия (металлические, неметаллические, неорганические и органические), комплексная защита.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению 240100 – Химическая технология, профиль «Технология и переработка полимеров»

Печатается по решению редакционно-издательского совета Ивановского государственного химико-технологического университета

Рецензенты:

кафедра химии и охраны окружающей среды Ивановского государственного архитектурно-строительного университета; кандидат химических наук Н.А. Богровская (Институт химии растворов РАН)

©Козлов В.А., Месник М.О., 2011

©Ивановский государственный  
химико-технологический  
университет, 2011

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ .....	3
ВВЕДЕНИЕ .....	6
1. ВИДЫ КОРРОЗИИ .....	9
2. ХИМИЧЕСКАЯ КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛОВ .....	15
2.1. Термодинамическая возможность химической коррозии .....	15
2.2. Пленки на металлах .....	16
2.3. Кинетика химической коррозии металлов .....	20
2.4. Рост пористой (незащитной) пленки .....	23
2.5. Рост сплошной (защитной) пленки .....	24
2.6. Многослойные толстые пленки .....	26
2.7. Напряжения в защитных пленках и разрушение пленок .....	26
2.8.1. Температура .....	28
2.8.2. Состав газовой среды .....	30
2.8.3. Давление газов .....	30
2.8.4. Скорость движения газовой среды .....	31
2.8.5. Состав сплава .....	31
2.8.6. Деформация металла .....	32
2.8.7. Характер обработки поверхности металла .....	32
2.8.8. Способы защиты металлов от газовой коррозии .....	32
2.9. Химическая коррозия металлов в жидких неэлектролитах .....	32
3. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛОВ .....	34
3.1. Электродные потенциалы .....	34
3.2. Микрорезионные элементы .....	41
3.3. Механизм электрохимической коррозии металлов .....	44
3.4. Вторичные реакции при электрохимической коррозии .....	46
3.5. Анодный процесс электрохимической коррозии .....	48
3.6. Катодные процессы при электрохимической коррозии .....	51
3.6.1. Кислородная деполяризация .....	52
3.6.2. Водородная деполяризация .....	55

3.7.Поляризация.....	57
3.7.1. Причины поляризации .....	58
3.7.2. Поляризационные кривые и диаграммы.....	60
3.7.3. Контролирующий процесс коррозии .....	63
3.8.Пассивность металлов.....	67
3.9. Влияние различных факторов на электрохимическую коррозию металлов	70
3.9.1. Термодинамическая устойчивость металлов .....	70
3.9.2. Положение металла в периодической системе элементов Д.И.Менделеева .....	70
3.9.3. Состояние поверхности металла.....	71
3.9.4. Структурная гетерогенность сплавов.....	72
3.9.5. Механический фактор.....	73
3.9.6. Водородный показатель.....	74
3.9.7. Состав и концентрация нейтральных электролитов.....	76
3.9.8. Скорость движения электролита .....	79
3.9.9. Температура .....	80
3.9.10. Давление .....	82
3.9.11. Контакт с другими металлами .....	82
3.9.12. Внешние токи .....	84
3.9.13. Ультразвук .....	86
3.9.14. Облучение .....	87
3.10. Атмосферная коррозия металлов.....	87
3.11. Подземная коррозия металлов.....	92
3.12. Противокоррозионная профилактика.....	98
3.12.1. Выбор формы конструкции.....	98
3.12.2. Выбор конструкционных материалов .....	101
3.12.3. Выбор способа соединения металлов .....	102
3.13. Способы защиты металлов от коррозии.....	103
3.13.1. Легирование металлов .....	105
3.13.2. Электрохимическая защита.....	108
3.13.3. Ингибиторы коррозии.....	113

3.13.4. Защитные покрытия .....	117
3.13.4.1. Металлические покрытия .....	118
3.13.4.2. Гальванические покрытия .....	126
3.13.4.3. Неметаллические неорганические покрытия .....	141
3.13.4.4. Органические покрытия .....	144
3.13.5. Комплексная защита металлов от коррозии.....	147
4. ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ: «ОСНОВЫ КОРРОЗИИ И ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛОВ».....	149
5. ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ.....	156
6. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	171

## ВВЕДЕНИЕ

Еще в глубокой древности люди научились получать металл из руд и использовать его в своей практической деятельности. До 90 процентов всех используемых металлов и сплавов составляют сплавы на основе железа - чугуны, стали. Сплавов железа выплавляется в мире примерно в 50 раз больше, чем сплавов алюминия, не говоря уже о других металлах. Сплавы на основе железа доступны, универсальны, технологичны и, в большинстве своем, дешевы. Сырьевая база этого металла не вызывает сомнений: уже разведанных запасов железных руд хватит по меньшей мере на два века вперед.

К сожалению, металлы и их сплавы в природе неустойчивы. Они подвергаются окислению, разъеданию, разрушению, то есть коррозии. *Потери металлов от коррозии велики - до 30 % годового их производства, причем около 10 % металлов теряется безвозвратно. До 26 млн. т металлоконструкций, пораженных коррозией, ежегодно направляется на досрочную переплавку.*

Проблема коррозии металлов стала особенно острой в последние десятилетия, когда увеличилось производство металла, колоссально возросли количества, сложность и стоимость металлических сооружений, аппаратов, машин и т.д. Возникли совершенно новые производства, где металлы соприкасаются с химически активными веществами при высоких температурах, давлении, усилилось загрязнение окружающей среды.

В нефтяной промышленности насосно-компрессорные системы в присутствии сероводорода служат всего 25-30 суток, трубы в крекинг-установках выдерживают не более полугода. На некоторых химзаводах почти все технологическое оборудование необходимо полностью заменять через несколько месяцев. Подземная коррозия ежегодно уносит километры нефте- и газопроводов, кабелей и др. И под землей, и под морскими

волнами, и на земле от дождей, туманов, снега страдает арматура железобетона, при этом гибнет вся конструкция - и железо, и бетон.

Коррозия многолика, ущерб от нее огромен. Различают два вида ущерба от коррозии: *п р я м о й* и *к о с в е н н ы й*. К **прямому ущербу** следует отнести стоимость замены уничтоженных коррозией частей машин, устройств, трубопроводов и т.д., включая сюда и стоимость рабочей силы, стоимость ремонта, уменьшение срока службы механизмов, несмотря на ремонт. В эту группу включаются также расходы на проведение противокоррозионных мероприятий (нанесение защитных покрытий, использование ингибиторов коррозии и др.).

Косвенные потери часто превышают прямые в несколько раз. Их объем определяется расходами, которые связаны с ликвидацией последствий коррозионного разрушения того или иного сооружения, оборудования или механизма. **Косвенные потери** от коррозии включают:

1. *П р о с т о и*. Замена прокорродировавшей трубы на нефтеперегонной установке стоит несколько тысяч рублей, но недовыработка продукции за время простоя установки может принести убыток до нескольких миллионов рублен в час.

2. *П о т е р и г о т о в о й п р о д у к ц и и*. В межремонтный период происходят утечки нефти, газа, воды вследствие коррозионных повреждений соответствующих систем. Коррозия трубы ведет к утечке газа, а это в свою очередь может привести к взрыву.

3. *П о т е р и м о щ н о с т и*. Из-за отложения продуктов коррозии на стенках сосудов, трубопроводов ухудшается теплопроводность поверхностей теплообмена. Уменьшение проходных сечений трубопроводов из-за отложения ржавчины требует повышения мощности насосов.

4. *З а г р я з н е н и е п р о д у к ц и и*. Небольшое количество меди, поступившее в систему в результате коррозии медного трубопровода или латунного оборудования, может испортить целую партию мыла (соли меди ускоряют старение и порчу мыла и тем самым сокращают срок его хранения).



Следы металла могут изменять цвет красителей. Свинцовое оборудование не может быть использовано для приготовления и хранения пищевых продуктов из-за токсичности солей свинца. Сюда же относятся и случаи порчи продуктов питания из-за ржавления металлических емкостей.

5. *Д о п у с к и        н а        к о р р о з и ю .* Этот фактор является обычным при проектировании реакторов, паровых котлов, конденсаторов, насосов, трубопроводов, морских конструкций, резервуаров для воды и др. Типичным примером допусков на коррозию может служить выбор толщины стенок подземных трубопроводов. Расчётная толщина стенки трубопровода диаметром 200 мм и длиной 360 км с учетом допуска на коррозию составляет 8,2 мм. А применение соответствующей защиты от коррозии позволяет снизить эту величину до 6,36 мм, что приводит к экономии 3700 т стали и увеличению полезного, объема трубопровода на 5 %.

Очевидно, что косвенные потери составляют существенную часть общих коррозионных потерь. Однако подсчет косвенных потерь представляет собою трудную задачу даже в рамках одной отрасли промышленности. В ряде случаев такие потери вообще не могут быть выражены в денежных единицах. К ним относятся аварии, связанные с взрывами, разрушением химического оборудования, вызванные коррозией катастрофы самолетов, поездов, автомобилей, приводящие к потере здоровья и гибели людей.

Наука о коррозии связана с охраной природы. Развитие промышленности, интенсификация сельского хозяйства и массовая урбанизация привели за последние годы к сильному загрязнению окружающей нас среды. Помимо отрицательных последствий для человека, а также для животного мира и растительности, это привело к увеличению коррозионной активности воздуха, воды и почвы. Загрязнение вод приводит к увеличению коррозионных разрушений железобетонных набережных, подводных трубопроводов и кабелей, плавающих объектов.

Выхлопные газы автомобилей, продукты сгорания угля, различные газовые выбросы промышленных предприятий, пыль от искусственных удобрений и средств защиты растений (пестицидов) загрязняют воздух и являются причиной интенсивной коррозии зданий, железнодорожного и автомобильного транспорта и т.д. Вместе с осадками загрязнения переходят из воздуха в почву и в грунтовые воды, способствуя росту почвенной коррозии находящихся в земле металлических конструкций. Таким образом, факторы, вредные с точки зрения коррозиониста, обычно вредны и для природы, и наоборот.

Из всего сказанного следует, что борьба с коррозией представляет серьезную проблему. Уменьшение ущерба от коррозии возможно только в случае организованной борьбы с этим вредным явлением. Интенсивно развивается наука о коррозии. Она изучает взаимодействие металлов с коррозионными средами, устанавливает механизм этого взаимодействия, изучает его закономерности. Своей конечной целью эта наука имеет создание высокоэффективной защиты металлов от коррозионного разрушения при их обработке, при эксплуатации металлических конструкций в атмосфере, воде, грунте. Важно, что металлофонд стран в дальнейшем будет увеличиваться не только за счет расширения производства металла, но и за счет продления срока его службы.

## **1. ВИДЫ КОРРОЗИИ**

Коррозией металлов называется самопроизвольное разрушение металлических материалов вследствие химического или электрохимического взаимодействия их с окружающей средой. Под металлами здесь и далее будем понимать простые металлы и их сплавы, а также металлические изделия и конструкции. Средой, в которой происходит коррозия металлов, обычно являются жидкости и газы. Коррозионный процесс протекает на границе раздела двух фаз: металл - окружающая среда, то есть является гетерогенным.