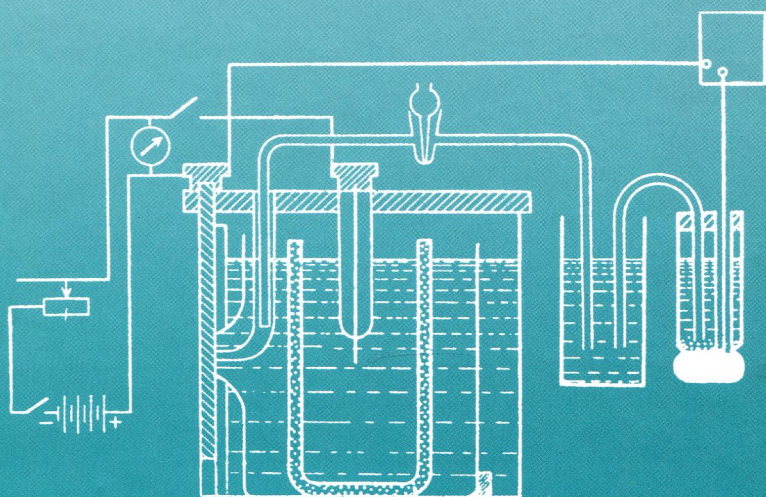


Н. П. ЖУК

# КУРС ТЕОРИИ КОРРОЗИИ И ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛОВ



Альянс

Н. П. ЖУК

# КУРС ТЕОРИИ КОРРОЗИИ И ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛОВ

Допущено Министерством высшего  
и среднего специального образования СССР  
в качестве учебного пособия  
для студентов металлургических  
специальностей вузов

Стереотипное издание

Москва  
Альянс  
2014

УДК 620.193.4 (075.8)  
ББК 6П4.52 (075.3)  
Ж 85

**Жук Н. П.**  
Ж 85 Курс теории коррозии и защиты металлов: Учеб. пособие для вузов. – Стереотипное издание. Перепечатка с издания 1976 г. – М.: Альянс, 2014. – 472 с., ил.

ISBN 978-5-91872-071-4

#### Аннотация

Учебное пособие для студентов металлургических вузов и факультетов. Может быть полезно инженерно-техническим работникам проектных организаций, исследовательских институтов, металлургических заводов, предприятий химической промышленности, занимающимся защитой металлов от коррозии.

Даны современные представления о термодинамике и кинетике окисления металлов, механизме образования и законах роста различных пленок, рассмотрены механизм и различные виды электрохимической коррозии, описаны важнейшие методы исследования коррозионных процессов.

ББК 6П4.52 (075.3)

Николай Платонович ЖУК

## КУРС ТЕОРИИ КОРРОЗИИ И ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛОВ

Подписано в печать 25.08.2014. Формат 60х90/16. Печать офсетная.  
Усл. печ. л.29,5. Тираж 200 экз. Заказ № К-1180.

ООО «Издательство Альянс»  
125319, Москва, ул. Черняховского, д. 16  
тел./факс +7(495)221-21-95  
e-mail: izdat@aliansbooks.ru www.aliansbooks.ru

Отпечатано в ГУП «ИПК «Чувашия».  
428019, г. Чебоксары, пр. И. Яковлева, 13.

ISBN 978-5-91872-071-4



9 785918 720714 >

ISBN 978-5-91872-071-

© Жук Н. П., 1976  
© Оформление. ООО «Издательство Альянс», 2014

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение . . . . .	8
1. Определение термина «коррозия металлов» . . . . .	8
2. Значение коррозии и защиты металлов для народного хозяйства . . . . .	9
3. Задачи и научные основы курса . . . . .	10
4. Роль термодинамики и кинетики в учении о коррозии и защите металлов . . . . .	10
5. Классификация коррозионных процессов . . . . .	12

## ЧАСТЬ I ХИМИЧЕСКАЯ КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛОВ

<b>Глава 1. Термодинамика химической коррозии металлов</b> . . . . .	17
1. Термодинамическая возможность химической коррозии металлов . . . . .	17
2. Расчет изменения изобарно-изотермического потенциала $\Delta G_T$ . . . . .	18
3. Определение возможности химической коррозии металлов по значению $\Delta G_T$ . . . . .	20
4. Расчет изменения стандартного изобарно-изотермического потенциала $\Delta G_T^\circ$ . . . . .	21
5. Реакционная способность металлов и термодинамическая устойчивость продуктов химической коррозии металлов . . . . .	27
<b>Глава 2. Пленки на металлах</b> . . . . .	29
1. Адсорбция окислителей на металлах . . . . .	29
2. Образование пленки продуктов коррозии . . . . .	31
3. Классификация пленок на металлах по толщине . . . . .	31
4. Условие сплошности пленок на металлах . . . . .	32
5. Массоперенос и электропроводность в пленках продуктов коррозии металлов . . . . .	34
6. Образование дефектов в кристаллической решетке . . . . .	35
7. Классификация продуктов коррозии металлов по типу проводимости . . . . .	38
<b>Глава 3. Кинетика химической коррозии металлов</b> . . . . .	39
1. Показатели химической коррозии металлов . . . . .	40
2. Первичная стадия окисления металлов . . . . .	42
3. Рост пористой (незащитной) пленки . . . . .	45
4. Рост сплошных (защитных) пленок . . . . .	47
5. Тонкие пленки . . . . .	47
6. Толстые пленки (окалина) . . . . .	56
7. Многослойные толстые пленки . . . . .	68
8. Двухслойные однофазные пленки . . . . .	74
9. Напряжения в защитных пленках и разрушение этих пленок . . . . .	75
10. Сводные данные о механизмах окисления металлов . . . . .	79
<b>Глава 4. Окисление сплавов</b> . . . . .	83
1. Теория Вагнера—Хауффе . . . . .	83
2. Теория А. А. Смирнова . . . . .	88
3. Теория В. И. Тихомирова . . . . .	97
4. Двойные окислы в окалине . . . . .	102
5. Внутреннее окисление сплавов . . . . .	103
6. Окисление дисперсноупрочненных материалов . . . . .	109
<b>Глава 5. Теории жаростойкого легирования</b> . . . . .	111
1. Теория уменьшения дефектности образующейся окалины . . . . .	111
2. Теория образования защитного окисла легирующего элемента . . . . .	113
3. Теория образования высокозащитных двойных окислов . . . . .	115
4. Жаростойкое легирование тугоплавких металлов . . . . .	116
5. Поверхностное легирование . . . . .	118

<b>Глава 6. Влияние внешних и внутренних факторов на химическую коррозию металлов . . . . .</b>	<b>121</b>
1. Температура . . . . .	122
2. Состав газовой среды . . . . .	128
3. Давление газов . . . . .	130
4. Высокотемпературная пассивация . . . . .	132
5. Скорость движения газовой среды . . . . .	135
6. Режим нагрева . . . . .	136
7. Состав сплава . . . . .	136
8. Структура металла . . . . .	138
9. Деформация металла . . . . .	140
10. Характер обработки поверхности металла . . . . .	140
<b>Глава 7. Химическая коррозия металлов в жидких средах . . . . .</b>	<b>140</b>
1. Коррозия металлов в неэлектролитах . . . . .	140
2. Разрушение металлов в жидкометаллических теплоносителях . . . . .	142
3. Взаимодействие твердых металлов с примесями в жидком металле . . . . .	145
4. Кавитационно-эрозионное воздействие жидких металлов . . . . .	147
Список литературы . . . . .	147

**ЧАСТЬ II  
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ КОРРОЗИЯ  
МЕТАЛЛОВ**

<b>Глава 8. Двойной электрический слой и электродные потенциалы . . . . .</b>	<b>149</b>
1. Причины возникновения скачка потенциала между фазами . . . . .	149
2. Скачок потенциала на границе металл—электролит . . . . .	151
3. Строение и уравнение двойного электрического слоя на границе металл—электролит . . . . .	157
4. Потенциал нулевого заряда . . . . .	161
5. Методы исследования двойного электрического слоя . . . . .	166
6. Обратимые электродные потенциалы . . . . .	170
7. Необратимые электродные потенциалы металлов . . . . .	176
<b>Глава 9. Механизм электрохимической коррозии металлов . . . . .</b>	<b>180</b>
1. Химический и электрохимический механизмы растворения металлов в электролитах . . . . .	180
2. Термодинамическая возможность электрохимической коррозии металлов . . . . .	181
3. Катодные процессы при электрохимической коррозии металлов . . . . .	182
4. Гомогенный и гетерогенный пути протекания электрохимической коррозии металлов . . . . .	184
5. Коррозионные гальванические элементы и причины их возникновения . . . . .	188
6. Схема и особенности электрохимического коррозионного процесса . . . . .	188
<b>Глава 10. Поляризация электродных процессов . . . . .</b>	<b>192</b>
1. Поляризация электродов и ее причины . . . . .	192
2. Электрохимическая кинетика анодных и катодных процессов . . . . .	198
3. Уравнения поляризационных кривых . . . . .	201
4. Диффузионная кинетика и концентрационная поляризация . . . . .	204
5. Вторичные процессы и продукты электрохимической коррозии металлов и их влияние на поляризацию . . . . .	212
<b>Глава 11. Анодный процесс электрохимической коррозии металлов . . . . .</b>	<b>216</b>
1. Анодная реакция ионизации металла . . . . .	216
2. Анодные реакции, протекающие с участием металла и водного раствора . . . . .	217
3. Диаграммы Пурбе . . . . .	218



4. Участие анионов в анодном процессе . . . . .	225
5. Стадийность реакций растворения металлов . . . . .	228
<b>Глава 12. Коррозионные процессы с кислородной деполяризацией . . . . .</b>	<b>230</b>
1. Термодинамическая возможность коррозии металлов с кислородной деполяризацией . . . . .	230
2. Схема катодного процесса кислородной деполяризации . . . . .	231
3. Перенапряжение ионизации кислорода . . . . .	233
4. Диффузия кислорода . . . . .	235
5. Смешанная поляризация . . . . .	240
6. Особенности коррозии металлов с кислородной деполяризацией . . . . .	243
7. Защита металлов от коррозии в нейтральных электролитах . . . . .	247
<b>Глава 13. Коррозионные процессы с водородной деполяризацией . . . . .</b>	<b>248</b>
1. Термодинамическая возможность коррозии металлов с водородной деполяризацией . . . . .	248
2. Схема катодного процесса водородной деполяризации . . . . .	250
3. Перенапряжение водорода . . . . .	251
4. Концентрационная поляризация . . . . .	259
5. Особенности коррозии металлов с водородной деполяризацией . . . . .	260
6. Защита металлов от коррозии в растворах кислот . . . . .	261
7. Смешанная кислородно-водородная деполяризация . . . . .	262
<b>Глава 14. Расчет электрохимического коррозионного процесса . . . . .</b>	<b>265</b>
1. Термодинамическая возможность и движущая сила процесса . . . . .	265
2. Коррозионные потери металла и коррозионный ток . . . . .	266
3. Показатели электрохимической коррозии металлов . . . . .	266
4. Аналитический расчет процесса . . . . .	268
5. Графический расчет процесса . . . . .	270
6. Контролирующий процесс . . . . .	274
7. Характеристика контролирующего процесса . . . . .	276
8. Основные практические случаи контроля электрохимических коррозионных процессов . . . . .	278
9. Доля электрохимического механизма коррозионного процесса . . . . .	279
<b>Глава 15. Многоэлектродные системы . . . . .</b>	<b>281</b>
1. Идеальные и реальные (экспериментальные) поляризационные кривые . . . . .	282
2. Методы получения идеальных поляризационных кривых . . . . .	284
3. Расчет короткозамкнутых многоэлектродных систем . . . . .	287
4. Разностный эффект . . . . .	290
5. Защитный эффект . . . . .	292
6. Сопоставление разностного и защитного эффектов . . . . .	295
7. Отрицательный разностный эффект . . . . .	296
8. Потенциалы бинарных сплавов . . . . .	297
9. Многоэлектродные системы с заметным омическим сопротивлением . . . . .	299
10. Потенциалы системы типа пленка—пора . . . . .	300
<b>Глава 16. Пассивность металлов . . . . .</b>	<b>302</b>
1. Определение пассивности металлов . . . . .	302
2. Характеристика пассивного состояния металлов . . . . .	303
3. Пассиваторы и депассиваторы (активаторы) . . . . .	305
4. Теории пассивности металлов . . . . .	306
5. Перепассивация металлов . . . . .	312
6. Обобщенная анодная поляризационная кривая . . . . .	314
7. Особенности коррозии металлов в условиях возможного возникновения пассивности . . . . .	318
8. Повышение коррозионной стойкости металлов и сплавов на основе повышения их пассивируемости . . . . .	322

<b>Глава 17. Внутренние факторы электрохимической коррозии металлов .</b>	<b>324</b>
1. Термодинамическая устойчивость металла . . . . .	324
2. Положение металла в периодической системе элементов Д. И. Менделеева . . . . .	325
3. Состояние поверхности металла . . . . .	326
4. Кристаллографический фактор . . . . .	326
5. Границы устойчивости твердых растворов . . . . .	327
6. Структурная гетерогенность сплавов и величина зерна . . . . .	330
7. Механический фактор . . . . .	332
<b>Глава 18. Внешние факторы электрохимической коррозии металлов . .</b>	<b>341</b>
1. Водородный показатель рН раствора . . . . .	341
2. Состав и концентрация нейтральных растворов . . . . .	343
3. Ингибиторы (замедлители) электрохимической коррозии металлов . . . . .	345
4. Стимуляторы (ускорители) электрохимической коррозии металлов . . . . .	351
5. Скорость движения электролита . . . . .	352
6. Температура . . . . .	353
7. Давление . . . . .	357
8. Контакт с другими металлами . . . . .	357
9. Внешние токи . . . . .	362
10. Блуждающие токи . . . . .	367
11. Ультразвук . . . . .	368
12. Облучение . . . . .	369
<b>Глава 19. Атмосферная коррозия металлов . . . . .</b>	<b>372</b>
1. Классификация и механизм атмосферной коррозии металлов . . . . .	372
2. Конденсация влаги на поверхности корродирующего металла . . . . .	374
3. Особенности атмосферной коррозии металлов и ее контролирующий процесс . . . . .	376
4. Факторы атмосферной коррозии металлов . . . . .	377
5. Методы защиты металлов от атмосферной коррозии . . . . .	383
<b>Глава 20. Подземная коррозия металлов . . . . .</b>	<b>384</b>
1. Почва и грунт как коррозионные электролиты . . . . .	384
2. Механизм и классификация подземной коррозии металлов . . . . .	384
3. Контролирующий фактор и особенности грунтовой коррозии металлов . . . . .	385
4. Влияние различных факторов на грунтовую коррозию металлов . . . . .	386
5. Кинетика грунтовой коррозии металлов . . . . .	390
6. Коррозия металлов блуждающими токами . . . . .	390
7. Методы борьбы с подземной коррозией металлов . . . . .	392
<b>Глава 21. Морская коррозия металлов . . . . .</b>	<b>397</b>
1. Механизм и особенности морской коррозии металлов . . . . .	398
2. Влияние различных факторов на морскую коррозию металлов . . . . .	399
3. Способы защиты металлов от коррозии в морской воде . . . . .	403
<b>Глава 22. Коррозия металлов в расплавленных солях . . . . .</b>	<b>405</b>
1. Электродные потенциалы в расплавленных солях . . . . .	406
2. Механизм и особенности коррозии металлов в расплавленных солях . . . . .	408
3. Влияние различных факторов на коррозию металлов в расплавленных солях . . . . .	411
4. Защита металлов от коррозии в расплавленных солях . . . . .	413
<b>Глава 23. Некоторые виды местной электрохимической коррозии металлов и сплавов . . . . .</b>	<b>414</b>
1. Щелевая коррозия . . . . .	414
2. Точечная (питтинговая) коррозия . . . . .	416
3. Межкристаллитная коррозия . . . . .	420
Список литературы . . . . .	425

### ЧАСТЬ III МЕТОДЫ КОРРОЗИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Глава 24. Общая характеристика методов коррозионных исследований . . . . .	426
1. Цель коррозионных исследований . . . . .	426
2. Классификация методов коррозионных исследований . . . . .	427
3. Показатели коррозии металлов . . . . .	428
4. Десятибалльная шкала коррозионной стойкости металлов . . . . .	430
5. Сравнительность коррозионных исследований . . . . .	431
6. Обработка результатов измерений . . . . .	432
7. Планирование эксперимента . . . . .	432
Глава 25. Лабораторные методы исследований . . . . .	433
1. Методы изучения пленок на металлах . . . . .	434
2. Методы испытаний металлов на газовую коррозию . . . . .	437
3. Общие методы исследований коррозии металлов в электролитах . . . . .	443
4. Специальные методы исследований коррозии металлов в электролитах . . . . .	450
5. Электрохимические методы исследований металлов в электролитах . . . . .	455
Глава 26. Внелабораторные и эксплуатационные исследования . . . . .	465
1. Исследования в атмосфере . . . . .	465
2. Исследования в море . . . . .	468
3. Исследования в грунте . . . . .	469
4. Исследования в заводской аппаратуре . . . . .	470
5. Эксплуатационные исследования . . . . .	471
Список литературы . . . . .	472