

**ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
АВИАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

А.Б. Лаптев, В.В. Кравцов

КОРРОЗИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Под общей редакцией
академика РАН, профессора Е.Н. Каблова

Допущено Федеральным Учебно-методическим объединением
по укрупненной группе специальностей и направлений 22.00.00
«Технологии материалов» в качестве учебного пособия
при подготовке магистров, обучающихся по направлению 22.04.01
«Материаловедение и технологии материалов»,
и аспирантов, обучающихся по направлению
22.06.01 «Технологии материалов»

**МОСКВА
ВИАМ
2021**

УДК 620.193:669.715

ББК 34.2

Л24

Рецензенты: заведующий лабораторией коррозии металлов в природных условиях ФГБУН «Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН», доктор химических наук, профессор *А.И. Маршаков*; доцент кафедры ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», доктор технических наук, профессор *М.Г. Каравайченко*

Лаптев А.Б., Кравцов В.В.

Л24 Коррозия алюминиевых сплавов: учебное пособие / под общ. ред. Е.Н. Каблова. – Москва: ВИАМ, 2021. – 320 с. : ил.

ISBN 978-5-905217-67-8

Последовательно описаны классическая теория коррозии применительно к алюминиевым сплавам, специфические виды коррозии пассивирующихся алюминиевых сплавов – питтинговая, расслаивающая коррозии и коррозионное растрескивание, а также нитевидная и контактная коррозии. Рассмотрены электрохимические основы нарушения пассивной пленки, механоэлектрохимические и дислокационные основы коррозионного растрескивания, влияние наводороживания алюминиевых сплавов и особенности коррозии в атмосфере, водяном паре, химических веществах, почве и при воздействии биологических факторов.

Издание рекомендовано в качестве учебного пособия для студентов и аспирантов, специализирующихся в области материаловедения и защиты материалов от коррозии.

УДК 620.193:669.715

ББК 34.2

ISBN 978-5-905217-67-8

© ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ, 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

От издателя	9
Предисловие	12
Глава 1. Общая характеристика алюминия и сплавов на его основе. . .	13
1.1. Физико-химические и механические свойства	13
1.2. Из истории открытий	13
1.3. Марки и химический состав алюминия.	18
1.4. Области применения алюминия	20
1.5. Сплавы алюминия. Историческая справка	21
1.6. Общая характеристика и классификация алюминиевых сплавов	33
1.7. Термическая обработка алюминиевых сплавов	36
1.7.1. Закалка алюминиевых сплавов	37
1.7.2. Старение закаленных сплавов	39
1.7.3. Структурное упрочнение	40
1.7.4. Диффузионный отжиг (гомогенизация)	41
1.7.5. Рекристаллизационный отжиг.	41
1.7.6. Отжиг для разупрочнения сплавов, прошедших закалку и старение	41
1.8. Сварка алюминиевых сплавов	42
Литература	44
Вопросы к главе	45
Глава 2. Деформируемые алюминиевые сплавы	47
2.1. Общие сведения	47
2.2. Термически неупрочняемые коррозионностойкие и свариваемые сплавы	50
2.2.1. Сплавы системы Al–Mn	50
2.2.2. Сплавы системы Al–Mg (магналии)	52
2.2.3. Коррозионностойкие сплавы повышенной пластичности системы Al–Mg–Si (авиали).	59
2.2.4. Ковочные сплавы системы Al–Cu–Mg–Si.	63
2.3. Деформируемые алюминиевые сплавы, упрочняемые термической обработкой	65

2.3.1. Общая характеристика свойств	65
2.3.2. Управление структурой алюминиевого сплава для повышения коррозионной стойкости на примере сплава марки 1913	66
2.4. Высокопрочные алюминиевые сплавы	74
2.5. Жаропрочные сплавы	75
Литература	77
Вопросы к главе	80
Глава 3. Литейные алюминиевые сплавы	82
3.1. Общая характеристика и классификация литейных сплавов	82
3.2. Сплавы системы Al-Si (силумины)	84
3.3. Сплавы системы Al-Cu	86
3.4. Сплавы системы Al-Mg	87
3.5. Жаропрочные литейные сплавы	87
Литература	89
Вопросы к главе	90
Глава 4. Общая характеристика коррозионной стойкости алюминия и его сплавов	91
4.1. Коррозионные процессы на алюминиевых сплавах	91
4.2. Химическая коррозия	94
4.3. Электрохимическая коррозия	96
4.3.1. Потенциалы нулевого заряда поверхности металлов	96
4.3.2. Поляризация электродных процессов	97
4.3.3. Поляризуемость электродных процессов	99
4.4. Особенности электрохимической коррозии алюминиевых сплавов	101
4.5. Зависимость скорости коррозии от значения электродного потенциала	106
4.5.1. Характерные участки на анодных кривых поляризационных диаграмм	106
4.5.2. Некоторые особенности анодных потенциостатических диаграмм алюминиевых сплавов	109
4.6. Зависимость скорости коррозии деформируемых алюминиевых сплавов от содержания легирующих элементов	112
4.6.1. Зависимость скорости коррозии сплава от шероховатости поверхности	116

4.6.2. Напряженное состояние поверхности алюминиевого сплава	117
4.7. Механизм формирования-разрушения защитных анодно-оксидных пленок	126
4.7.1. Закономерности изменения свойств оксидных пленок	126
4.7.2. Барьерный слой при доращивании исходной пленки при оксидировании алюминия	130
4.7.3. Пористый слой как результат доращивания оксидной пленки	134
4.7.4. Уплотнение оксидной пленки при анодировании изделий	136
Литература	140
Вопросы к главе	145
Глава 5. Питтинговая коррозия алюминия и сплавов на его основе	147
5.1. Общая характеристика питтинговой коррозии	147
5.2. Условия образования и механизм питтинговой коррозии	149
5.3. Электрохимические основы нарушения пассивного состояния. Механизм питтинговой коррозии	152
5.4. Влияние электрофизических свойств оксидной пленки на скорость возникновения питтинга	153
Литература	155
Вопросы к главе	157
Глава 6. Коррозионное растрескивание и коррозионная усталость алюминия и сплавов на его основе	158
6.1. Общая характеристика коррозионного растрескивания алюминия и сплавов на его основе	158
6.2. Механизмы коррозионного растрескивания	159
6.3. Теория образования трещин в металле	161
6.4. Влияние состояния поверхностного слоя	162
6.5. Механоэлектрохимические и дислокационные основы коррозионного растрескивания	163
6.6. Влияние водорода на процесс коррозионного растрескивания	168

6.7. Наводороживание деформируемых алюминиевых сплавов при натурных испытаниях в морском климате	174
6.8. Чувствительность к коррозионному растрескиванию некоторых распространенных систем сплавов на алюминиевой основе.	183
6.9. Влияние химического состава сплавов на склонность к коррозионному растрескиванию	185
6.10. Влияние структуры сплавов и неравновесной сегрегации на склонность к коррозионному растрескиванию	185
6.11. Роль механического фактора при коррозионном растрескивании	188
6.12. Влияние внешних химических факторов	189
6.13. Строение (рельеф) изломов при коррозионном растрескивании	190
6.14. Коррозионная усталость	192
Литература	197
Вопросы к главе	205
 Глава 7. Специфические виды коррозии алюминия и сплавов на его основе	207
7.1. Расслаивающая коррозия.	207
7.2. Контактная коррозия	209
7.2.1. Коррозия алюминия и сплавов на его основе в условиях контакта с другими металлами	209
7.2.2. Коррозия алюминия и сплавов на его основе в контакте с неметаллическими материалами	210
7.3. Нитевидная коррозия.	212
Литература	212
Вопросы к главе	213
 Глава 8. Особенности коррозии в естественных средах	214
8.1. Атмосферная коррозия	214
8.1.1. Общие сведения	214
8.1.2. Коррозия алюминиевых строительных конструкций.	217
8.1.3. Коррозия алюминиевых транспортных конструкций и сооружений.	218

8.1.4. Коррозия алюминиевых электротехнических изделий.	219
8.2. Коррозия алюминиевых изделий в воде и водных растворах солей	220
8.2.1. Коррозия алюминиевых изделий в воде и водных растворах солей при комнатной температуре	220
8.2.2. Коррозия алюминиевых изделий в горячей воде и водяном паре	224
8.3. Почвенная коррозия алюминия и сплавов на его основе.	234
8.4. Биологическая коррозия алюминиевых сплавов.	234
8.5. Высокотемпературная коррозия	243
8.6. Коррозия в нефти	244
Литература	245
Вопросы к главе	248

Глава 9. Коррозия алюминия и сплавов на его основе

в химических средах	250
9.1. Коррозия в кислотах	250
9.2. Коррозия в щелочах	254
9.3. Коррозия в растворах неорганических солей	255
9.4. Коррозия под действием органических веществ	255
9.5. Коррозия под действием расплавленных солей и металлов	256
Литература	257
Вопросы к главе	257

Глава 10. Методы исследований скорости коррозии и механизма

разрушения алюминиевых сплавов	259
10.1. Гравиметрические испытания.	259
10.2. Глубинный и токовый показатели скорости коррозии	260
10.3. Потенциометрические исследования коррозии алюминиевых сплавов.	261
10.4. Климатические испытания алюминиевых сплавов	262
10.4.1. Натурные климатические испытания	262
10.4.2. Натурно-ускоренные климатические испытания.	264
10.4.3. Лабораторные климатические испытания	266
Литература	280
Вопросы к главе	282

Глава 11. Краткие рекомендации по предотвращению коррозии	
алюминия и сплавов на его основе	284
11.1. Некоторые технологические приемы для повышения коррозионной стойкости алюминия и сплавов на его основе. Методы защиты	284
11.2. Защита от коррозии алюминиевых сплавов путем формирования тонкой структуры	285
11.3. Защита от коррозии алюминиевых сплавов с использованием ингибиторов коррозии	292
11.4. Защита от коррозии алюминиевых сплавов с применением неметаллических неорганических покрытий	293
11.5. Обеспечение противокоррозионной защиты алюминиевых сплавов с использованием специальных паст	298
11.6. Примеры атмосферостойких покрытий для авиационной техники	300
11.7. Снижение коррозии литых изделий из алюминиевых сплавов методом электропереноса	304
11.8. Технологии восстановления и ремонта защитных покрытий на деталях из алюминиевых сплавов	313
Литература	315
Вопросы к главе	318
Заключение	319