

# Коррозия алюминия и алюминиевых сплавов

Под редакцией  
Дж. Р. Дэйвиса



**НП АПРАЛ**

НЕКОММЕРЧЕСКОЕ ПАРТНЕРСТВО  
АЛЬЯНС ПРЕССОВЩИКОВ АЛЮМИНИЯ

# **Коррозия алюминия и алюминиевых сплавов**

**Под редакцией Дж. Р. Дэйвиса**

Издание и перевод с английского  
под руководством и редакцией  
проф., д. х. н. Ю. И. Кузнецова,  
к. т. н. М. З. Локшина

Партнеры издания:  
ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей»  
ООО «Иплана»



Москва  
2016

# **Corrosion of Aluminum and Aluminum Alloys**

**Edited by  
J.R. Davis  
Davis & Associates**



ASM International®  
Materials Park, Ohio 44073-0002  
[asminternational.org](http://asminternational.org)

УДК 669.71:620.193  
ББК 34.233.1  
D26

**Коррозия алюминия и алюминиевых сплавов** / Под ред. Джозефа Р. Дейвиса/  
D26 Пер. с английского по лицензии издательства ASM International, М.: НП «АПРАЛ», 2016. —  
С. 333, Илл. 197, Табл. 76.

ISBN 978-5-9906007-4-4

Все права защищены. Любое воспроизведение какой-либо части настоящей публикации, а также хранение в информационно-поисковых системах или передача в любой форме и любыми средствами, включая электронные и механические средства передачи данных, ксерокопирование, запись и прочие средства не может быть осуществлено без предварительного согласия издателя.

При том, что при составлении и подготовке этой книги проявлялась особая тщательность, однако следует отчётливо понимать, что НИКАКИХ ГАРАНТИЙ, ЯВНО ВЫРАЖЕННЫХ ИЛИ ПОДРАЗУМЕВАЕМЫХ, ВКЛЮЧАЯ, БЕЗ ОГРАНИЧЕНИЯ, ГАРАНТИЙ КОММЕРЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ ИЛИ ПРИГОДНОСТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЁННОЙ ЦЕЛИ, В СВЯЗИ С НАСТОЯЩЕЙ ПУБЛИКАЦИЕЙ НЕ ПРЕДОСТАВЛЯЕТСЯ. Хотя, по мнению ASM представленная в книге информация является точной, тем не менее, ASM не может гарантировать получение благоприятных результатов при использовании данных, содержащихся исключительно в этом издании. Настоящее издание предназначено для лиц, обладающих специальной технической квалификацией, пользующихся приведенной информацией по своему собственному усмотрению, на свой страх и риск. Поскольку состояние изделия или использование материала не контролируются со стороны ASM, последняя не несёт ответственности или обязательств в связи с любым использованием представленной в книге информации. Ни один иск, выдвинутый будь то в отношении изделий или содержащейся в настоящей публикации информации, и основывающийся или не основывающийся на неосторожности, не может превышать сумму, равную покупной цене изделий или публикации, в отношении которых заявлен ущерб. ПРЕДУСМОТРЕННЫМ СРЕДСТВОМ ПРАВОВОЙ ЗАЩИТЫ БУДЕТ ЯВЛЯТЬСЯ ИСКЛЮЧИТЕЛЬНОЕ И ЕДИНСТВЕННОЕ СРЕДСТВО ПРАВОВОЙ ЗАЩИТЫ ПОКУПАТЕЛЯ, И НИ ПРИ КАКИХ ОБСТОЯТЕЛЬСТВАХ НИ ОДНА ИЗ СТОРОН НЕ БУДЕТ НЕСТИ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ЗА ФАКТИЧЕСКИЙ УБЫТОК, ОПРЕДЕЛЯЕМЫЙ ОСОБЫМИ ОБСТОЯТЕЛЬСТВАМИ ДЕЛА, ЗА КОСВЕННЫЙ ИЛИ ПОСЛЕДУЮЩИЙ УЩЕРБ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ, ИЛИ НЕ ОБУСЛОВЛЕННЫЕ, ИЛИ ВОЗНИКШИЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ НЕОСТОРОЖНОСТИ ТАКОЙ СТОРОНЫ. До включения любого материала в технические условия большое значение имеет его оценка в условиях конечного использования. Поэтому рекомендуется проведение специальных испытаний в действительных условиях эксплуатации.

*Над реализацией этого проекта работали следующие сотрудники ASM International: Скотт Генри (Scott Henry), заместитель директора по изданию справочной литературы; Бонни Сэндерс (Bonnie Sanders), менеджер отдела технического редактирования; Грейс Дэвидсон (Grace Davidson), менеджер отдела книжного производства; Нэнси Гривнэк (Nancy Hrivnak), выпускающий редактор; Кэндис Маллет (Candace Mullet) и Джилл Кинсон (Jill Kinson), координаторы отдела книжного производства.*

УДК 669.71:620.193  
ББК 34.233.1

ISBN 978-5-9906007-4-4 (рус)  
ISBN 10: 0-87170-629-6 (англ)

© Перевод на русский язык  
© НП «АПРАЛ», 2016 г.

## Содержание

Предисловие .....	7	<b>Глава 4. Межкристаллитная коррозия и коррозионное расслаивание</b> .....	93
Предисловие к русскому изданию .....	8	Межкристаллитная коррозия .....	93
Партнер издания ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей» .....	9	ММК сплавов серии 2xxx (сплавы на основе системы Al-Cu) .....	93
Партнер издания ООО «Иплана» .....	10	ММК сплавов серии 7xxx (сплавы на основе системы Al-Zn-Mg-Cu) .....	95
<b>Глава 1. Введение</b> .....	11	ММК сплавов серии 6xxx (сплавы на основе системы Al-Mg-Si) .....	96
Основные свойства алюминия .....	11	ММК сплавов серии 5xxx (сплавы на основе системы Al-Mg) .....	97
Алюминиевая промышленность .....	15	ММК сплавов серии 1xxx (чистый Al) и сплавов серии 3xxx (сплавы на основе системы Al-Mn) .....	98
Производство первичного алюминия .....	15	Оценка ММК .....	98
Производство вторичного алюминия .....	24	Коррозионное расслаивание .....	98
Алюминиевые сплавы .....	24	Механизм и свойства .....	98
Классификации и обозначения .....	25	Влияние окружающей среды .....	99
Влияние легирующих элементов .....	26	Сплавы, чувствительные к коррозионному расслаиванию, и рекомендуемые состояния материала .....	99
Свойства деформируемых сплавов .....	27	Коррозионное расслаивание деталей самолётов .....	100
Свойства литейных сплавов .....	31	Оценка коррозионного расслаивания .....	104
Номенклатура производства .....	31	Связь между ММК, коррозионным расслаиванием и КРН .....	104
Области применения .....	33	<b>Глава 5. Коррозия электрохимическая, вследствие отложений и блуждающими токами</b> ..	107
Строительство зданий и сооружений .....	33	Электрохимическая коррозия .....	107
Тара и упаковка .....	34	Предотвращение электрохимической коррозии .....	110
Транспорт .....	34	Испытания на стойкость к электрохимической коррозии .....	112
Электротехника .....	42	Коррозия вследствие отложений .....	113
Потребительские товары длительного пользования .....	43	Коррозия блуждающими токами .....	113
Машины и оборудование .....	44	<b>Глава 6. Эрозия, кавитация, каплеударная эрозия и фреттинг-коррозия</b> .....	117
Другие области применения .....	46	Эрозионная коррозия .....	117
<b>Глава 2. Основные сведения о коррозионных свойствах алюминия</b> .....	47	Кавитационная эрозия .....	118
Пассивное состояние алюминия и алюминиевых сплавов .....	47	Каплеударная эрозия .....	123
Причины и виды коррозии .....	50	Фреттинг-коррозия и фреттинг-усталость .....	127
Потенциалы коррозии алюминия в водных средах .....	50	<b>Глава 7. Растрескивание под воздействием окружающей среды</b> .....	131
Питтинговая коррозия .....	53	Коррозионное растрескивание под напряжением .....	131
Соотношение электрохимических свойств .....	54	Механизмы и свойства .....	132
Виды коррозии .....	55	Влияние напряжения и снятия напряжения .....	134
Влияние состава и микроструктуры на коррозию .....	56	Влияние зёрненной структуры и направления действия напряжения .....	135
Переменные факторы, влияющие на коррозию .....	60	Влияние формы изделий .....	136
Металлургические переменные факторы .....	60	Влияние окружающей среды .....	141
Переменные факторы воздействия окружающей среды .....	61	Выбор сплава для достижения стойкости к КРН .....	142
<b>Глава 3. Питтинговая и щелевая коррозии</b> .....	73		
Питтинговая коррозия .....	73		
Щелевая коррозия .....	78		
Общие сведения .....	78		
Коррозия водяного пятна .....	81		
Коррозия под покрытием .....	84		
Нитевидная коррозия .....	84		

## 6 | Коррозия алюминия и алюминиевых сплавов

Классификация стойкости к КРН .....	151	Коррозионное растрескивание под напряжением .....	231
Методы минимизации КРН .....	152	Коррозионная усталость .....	231
Примеры КРН в авиационной промышленности .....	155	Покрытия для защиты от коррозии .....	231
Коррозионная усталость .....	162	Роль конструкции в предотвращении коррозии .....	235
Усталостная прочность в коррозионных средах .....	162	<b>Глава 11. Методы предотвращения коррозии</b> .....	237
Представление данных по коррозионной усталости .....	163	Проектные решения .....	237
Переменные факторы, влияющие на распространение трещины при коррозионной усталости .....	166	Проектные решения, ускоряющие коррозию .....	237
Методы минимизации коррозионной усталости .....	168	Обращение с алюминием .....	246
Жидко-металлическое охрупчивание .....	169	Обслуживание и хранение .....	246
<b>Глава 8. Виды коррозионных сред</b> .....	173	Удаление продуктов коррозии .....	246
Атмосферная коррозия .....	173	Продукты из алкледа .....	249
Общие сведения .....	173	Анодирование .....	250
Стойкость алюминиевых сплавов к атмосферной коррозии .....	174	Конверсионные покрытия .....	258
Испытания на атмосферную коррозию .....	183	Хроматные конверсионные покрытия .....	258
Атмосферы в помещении .....	183	Альтернативы хроматным конверсионным покрытиям .....	260
Коррозия в водных средах .....	185	Покрытия на основе органических соединений .....	262
Влияние микробиологических факторов на коррозию .....	192	Эмалирование .....	263
Коррозия под воздействием почв .....	194	Металлические покрытия .....	263
Коррозия под воздействием строительных материалов .....	194	Ингибиторы коррозии .....	264
Коррозия под воздействием пищевых продуктов и химических веществ .....	195	Методы мониторинга и контроля коррозии .....	267
Контакт с пищевыми продуктами и лекарственными препаратами .....	195	<b>Глава 12. Коррозионные испытания</b> .....	275
Контакт с химическими веществами .....	196	Контроль качества по коррозионным свойствам .....	275
<b>Глава 9. Коррозия сварных, паяных и клеевых соединений</b> .....	203	Контроль качества продукции .....	276
Коррозия сварных соединений .....	203	Испытания на питтинговую коррозию .....	276
Коррозия соединений, выполненных высокотемпературной пайкой .....	213	Изучение и оценка питтингов .....	281
Коррозия соединений, выполненных низкотемпературной пайкой .....	216	Испытания на межкристаллитную коррозию .....	282
Коррозия клеевых соединений .....	218	Испытания на нитевидную коррозию .....	283
<b>Глава 10. Коррозия алюминиевых композиционных материалов с металлической матрицей</b> .....	223	Испытания на коррозионное расслаивание .....	286
Структурные характеристики .....	223	Испытания в солевом тумане .....	286
Коррозионные свойства .....	224	Испытания при полном погружении образца .....	287
Коррозия композиционных материалов бор/алюминий .....	224	Визуальная оценка коррозионного расслаивания .....	288
Коррозия композиционных материалов графит/алюминий .....	225	Сравнение методов испытания .....	290
Коррозия композиционных материалов карбид кремния/алюминий .....	227	Испытания на коррозионное растрескивание под напряжением .....	291
Коррозия композиционных материалов оксид алюминия/алюминий .....	229	Гладкие образцы для испытаний .....	293
Коррозия композиционных материалов слюда/алюминий .....	230	Результаты испытаний гладких образцов .....	298
		Образцы с предварительно образованной трещиной .....	301
		Результаты испытаний образцов с предварительно образованной трещиной .....	303
		Динамическое нагружение: испытания с малыми скоростями деформации .....	307
		<b>Список рекламодателей</b> .....	313
		<b>Перечень компаний – поставщиков оборудования, материалов, технологий, изделий в секторе коррозии и защиты алюминиевых сплавов</b> .....	314
		<b>Предметный указатель</b> .....	319