

Фридрих Остерманн

Технология применения алюминия

Издание и перевод с немецкого
под руководством и общей редакцией
д.т.н. В.Г. Борисова,
к.т.н. М.З. Локшина

Партнеры издания:



НП АПРАЛ
НЕКОММЕРЧЕСКОЕ ПАРТНЕРСТВО
АЛЬЯНС ПРЕССОВЩИКОВ АЛЮМИНИЯ

Москва
2019

Содержание

Предисловие ко второму изданию	14
Предисловие к третьему изданию	17
Предисловие к русскому изданию	19
1. Введение	21
1.1. Конкуренция материалов на рынках	21
1.2. Причины инноваций	24
2. Рынки и области применения	29
2.1. Автомобилестроение	30
2.2. Производство грузовых транспортных средств	55
2.3. Производство рельсовых транспортных средств	59
2.4. Судостроение	69
2.5. Авиастроение	72
2.6. Архитектура и конструирование	77
2.7. Прочие области применения	81

3. Структура сплавов, термическая обработка, стандарты	89
3.1. Элементы кристаллической структуры алюминиевых материалов	91
3.1.1. Матрица кристаллической структуры	91
3.1.2. Дефекты решетки	93
3.1.3. Границы зерен	101
3.1.4. Образование кристаллического твердого раствора, растворимость элементов	103
3.1.5. Первичные фазы кристаллизационного происхождения	109
3.1.6. Вторичные фазы	110
3.1.7. Горячая деформация, восстановление и оплавление (пережог)	118
3.1.8. Поры	120
3.1.9. Оксидные включения	120
3.2. Строение и термическая обработка деформируемых материалов	121
3.2.1. Технический алюминий	121
3.2.2. Сплавы AlMn	123
3.2.3. Сплавы AlMg(Mn)	125
3.2.4. Сплавы AlCu(Mg, Si)	141
3.2.5. Сплавы Al-Mg-Si	147
3.2.6. Сплавы AlZnMg(Cu)	166
3.2.7. Другие деформируемые сплавы	176
3.2.8. Термическая обработка	178
3.3. Кристаллическая структура и термическая обработка литейных алюминиевых сплавов	192
3.3.1. Расплав и очистка расплава	193
3.3.2. Процесс кристаллизации	195
3.3.3. Дефекты кристаллизации	202
3.3.4. Жидкотекучесть и способность к заполнению формы	206
3.3.5. Литейные алюминиевые сплавы	206
3.3.6. Рекомендации по обработке и применению	211
3.3.7. Проектирование отливки, отвечающее требованиям литейной технологии	213
3.4. Введение в стандарты на алюминиевые сплавы	214
3.4.1. Введение в системы обозначения алюминиевых материалов	214
3.4.2. Система обозначения деформируемых сплавов и их состояний	216
3.4.3. Система обозначения литейных сплавов, методов литья и состояний литых изделий	219
3.4.4. Стандарты на полуфабрикаты	221
3.4.5. Гарантированные и типичные свойства	222
3.4.6. Выбор легированных сплавов – произвольно или с учетом ограничений?	223

4. Физические свойства	237
4.1. Физические свойства алюминия	237
4.1.1. Плотность	239
4.1.2. Электропроводность	239
4.1.3. Магнитные свойства	239
4.1.4. Коэффициент теплопроводности	240
4.1.5. Отражательные и эмиссионные свойства	240
4.2. Физические свойства оксида алюминия	241
5. Коррозия	243
5.1. Меры по защите от коррозии	244
5.2. Результаты долгосрочного пребывания в естественных погодных условиях и в условиях воздействия морской воды	247
5.3. Оксидный слой и механизм коррозии алюминия	248
5.3.1. Структура и значение оксидного слоя	248
5.3.2. Усиление естественного оксидного слоя	250
5.3.3. Стойкость оксидного слоя	251
5.3.4. Механизм электрохимической коррозии	253
5.3.5. Потенциалы свободной и критической коррозии	255
5.3.6. Кривые зависимости плотности тока от потенциала	257
5.3.7. Электрохимическое действие внутриметаллических фаз	258
5.4. Виды коррозии алюминия и его сплавов	258
5.4.1. Питтинговая коррозия (LK)	259
5.4.2. Межкристаллитная коррозия (ИК)	262
5.4.3. Расслаивающая коррозия	271
5.4.4. Коррозионное растрескивание (SpRK)	271
5.4.5. Межкристаллитная коррозия под напряжением	274
5.4.6. Щелевая коррозия	274
5.4.7. Контактная коррозия	278
5.4.8. Коррозионная усталость	282
5.4.9. Фрикционная коррозия	287
5.4.10. Нитевидная коррозия	288
5.5. Примеры конструирования с учетом коррозии	288

6. Механические свойства	297
6.1. Механико-технологические свойства материалов	298
6.1.1. Характеристические значения испытания на растяжение	299
6.1.2. Диаграммы деформирования для обработки давлением	301
6.1.3. Влияние на текучесть и пластичность	309
6.1.4. Поведение материалов при высокой интенсивности нагрузок	316
6.1.5. Поведение материалов при различных температурах	322
6.2. Усталостная прочность	333
6.2.1. Основы материаловедения для усталостных повреждений с трещинообразованием	336
6.2.2. Усталостная прочность образцов и компонентов	348
6.3. Дефекты материалов и компонентов	370
6.3.1. Макро- и микроскопические явления разрушения	371
6.3.2. Модель материала для анализа повреждений и отказов	385
6.3.3. Свойства материалов, относящиеся к механике разрушения, при квазистатической нагрузке	389
6.3.4. Свойства материалов, относящиеся к механике разрушения, при циклической нагрузке	399
6.4. Анализ механической прочности на разрушение	406
6.4.1. Концепция механики разрушения	407
6.4.2. Дефект механического разрушения	411
6.4.3. Нагрузка механического разрушения	412
6.4.4. Состояние механического разрушения материала	418
6.4.5. Оценка безопасности компонентов при квазистатической нагрузке	420
6.4.6. Оценка срока службы компонентов при циклической нагрузке	423
6.4.7. Особые аспекты	424
6.4.8. Пример сварной ректификационной колонны из алюминия	428
7. Технологии литья алюминиевых сплавов	449
7.1. Технология непрерывного литья	449
7.2. Технология литья под давлением	453
7.3. Сравнение методов литья под давлением	470
8. Прокатка	473
8.1. Процессы прокатки	473
8.2. Параметры качества листов горячей и холодной прокатки	476
8.3. Катаные изделия с поверхностным покрытием	479
8.4. Композитные полуфабрикаты	481

9. Экструзионное прессование	483
9.1. Способы прессования	484
9.2. Базовые формы профилей и матриц	487
9.3. Пригодность алюминиевых сплавов к прессованию	488
9.4. Технологическая цепочка прессования	492
9.5. Производство профилей и матриц для прессования	494
9.6. Проектирование прессованных профилей	497
9.6.1. Функциональные группы	497
9.6.2. Проектирование конструкций методом соединения профилей	499
9.7. Специальный метод прессования алюминия	502
9.7.1. Прессование методом Conform	502
9.7.2. Гидростатическое прессование	502
9.7.3. Композитное прессование	503
9.7.4. Горячая гибка профилей при прессовании	503
10. Штамповка алюминия	505
10.1. Процесс горячей штамповки	506
10.2. Штампы для объемной штамповки	508
10.3. Поток материала и траектория волокон	510
10.4. Деформируемые сплавы, исходный материал, кристаллическая структура и порядок выполнения работ	512
10.5. Проектирование штамповок	517
11. Холодное прессование алюминия	521
11.1. Характерные особенности изделий, полученных методом холодного прессования	522
11.2. Алюминий для технических деталей, полученных прессованием (выдавливанием)	524
11.2.1. Исходный материал: рондель	524
11.2.2. Алюминиевые сплавы для холодного прессования (выдавливания)	525
11.2.3. Альтернативные исходные состояния заготовок для холодного прессования	527
11.3. Формование выдавливанием	530
11.3.1. Базовый метод холодного прессования	530
11.3.2. Инструменты для холодного прессования	533
11.3.3. Усилие, необходимое для холодного прессования	533

12. Деформация листа	537
12.1. Свойства материалов при деформации листа	538
12.1.1. Свойства материалов по результатам испытаний на растяжение	538
12.1.2. Свойства материалов по результатам технологических испытаний	539
12.1.3. Способность к изгибанию	547
12.1.4. Упругая деформация	553
12.1.5. Алюминиевые сплавы для изготовления кузовов	555
12.2. Трибологические свойства	559
12.2.1. Механизм трения	559
12.2.2. Трибосистема «Лист–Инструмент–СОЖ»	561
12.3. Резание	566
12.3.1. Процесс разделения при нормальном резании	568
12.3.2. Точное резание	572
12.3.3. Прецизионное резание	574
13. Специальные разделы технологии деформации	579
13.1. Дополнительная обработка профилей и труб	579
13.2. Полугорячая деформация	590
13.3. Сверхпластическая деформация. Механизмы и материалы	592
14. Формообразование алюминия обработкой резанием	597
14.1. Образование стружки	599
14.2. Форма стружки при обработке алюминиевых сплавов	601
14.3. Алюминиевые материалы для обработки резанием	602
14.4. Пригодность для обработки резанием	605
14.5. Износ инструмента	606
14.6. Инструментальные материалы для обработки алюминия резанием	609
14.7. Смазочно-охлаждающие жидкости	611
14.8. Поверхности алюминиевых материалов, обработанных резанием	612
14.9. Электроэрозионная обработка	613
15. Обработка поверхности	617
15.1. Процесс очистки	620
15.2. Предварительная обработка	622
15.3. Покрyтия	623

16. Сварка плавлением	631
16.1. Свариваемость алюминиевых материалов	632
16.2. Свойства сварных соединений алюминия	641
16.3. Способы сварки плавлением для алюминия	646
16.3.1. Дуговая сварка в среде защитного газа	646
16.3.2. Электронно-лучевая сварка	652
16.4. Дефекты сварки	659
17. Контактная сварка	663
17.1. Контактная точечная сварка (WPS)	664
17.2. Рельефная сварка	673
17.3. Точечная сварка склеиванием	675
18. Механическое соединение	679
18.1. Особенности методов механических соединений	679
18.2. Соединение с помощью холодного деформирования	682
18.3. Клепка	686
18.3.1. Простые заклепки	686
18.3.2. Вытяжные заклепки	687
18.3.3. Болт-заклепки	688
18.3.4. Пробивная клепка	688
18.4. Резьбовые соединения	691
18.5. Последние технологические разработки	694
18.6. Прочностные характеристики механических соединений	695
19. Особые методы выполнения соединений	699
19.1. Сварка трением с перемешиванием (Friction Stir Welding/FSW)	699
19.2. Сварка трением	704
19.3. Сварка взрывом	708
19.4. Высокотемпературная пайка	710

20. Конструирование с использованием алюминия (введение)	717
20.1. Принципы конструирования	718
20.2. Модуль упругости и облегченные конструкции	720
20.3. Сварные конструкции	726
20.4. Остаточные напряжения в сварных соединениях	730
20.5. Обеспечение усталостной прочности сварных соединений	738
20.6. Дополнительная обработка для повышения усталостной прочности	751
21. Специальные материалы	755
21.1. Алюминиевая порошковая металлургия	755
21.2. Композитные материалы на основе алюминия	763
21.3. Пеноматериалы на основе алюминия	768
22. Добыча, переработка, экология	773
22.1. Первичный алюминий	773
22.2. Вторичный алюминий	778
22.3. Ресурсы в Германии	780
22.4. Экологические вопросы	781
Приложение А	787
Список рекламодателей	840
Перечень компаний-поставщиков оборудования, материалов, технологий, изделий для различных технологий применения алюминия	842