

Фридрих Остерманн

Научная библиотека

БНТУ



* 8 0 1 2 4 6 4 4 1 *

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:



АЛЮМИНИЕВАЯ
АССОЦИАЦИЯ



Белая Калитва



ТАТПРОФ



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 (ЛК) | 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. Покрытия | 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 |