

**ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
АВИАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Е.Ф. Волкова, Л.Л. Рохлин, Б.В. Овсянников

**СОВРЕМЕННЫЕ ДЕФОРМИРУЕМЫЕ
МАГНИЕВЫЕ СПЛАВЫ:
СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ
В ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

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

ОГЛАВЛЕНИЕ

От издателя	7
Введение	9
Глава 1. Введение в курс металловедения магния и его сплавов	13
1.1. Элемент магний. Основные физические, химические и механические свойства магния, нахождения в природе	13
1.2. Природное минеральное сырье. Наиболее известные промышленные способы получения магния	16
1.3. Области применения	22
Литература	23
Вопросы к главе	24
Глава 2. Особенности взаимодействия магния с другими химическими элементами	26
2.1. Основные принципы легирования магниевых сплавов	26
2.1.1. Основные легирующие элементы	27
2.1.2. Элементы, используемые как технологические добавки и примеси	29
2.2. Особенности диаграмм состояния магния с химическими элементами I–IV групп Периодической системы элементов Д.И. Менделеева	30
2.2.1. Диаграммы состояния двойных систем	31
2.2.2. Основные диаграммы состояния тройных систем	45
2.2.3. Диаграммы состояния четверных систем	67
2.3. Роль редкоземельных металлов как перспективных легирующих компонентов в магниевых сплавах	69
2.4. Металловедческие основы разработки составов магниевых сплавов для промышленного использования, технологии их термической обработки и обработки давлением	71
2.4.1. Особенности кинетики и структурных превращений при распаде пересыщенных твердых растворов на основе магния, сопровождающемся упрочнением при старении	71

2.4.2. Особенности поведения магния и сплавов на его основе при пластической деформации и последующих отжигах	123
Литература	148
Вопросы к главе	157
Глава 3. Современные деформируемые магниевые сплавы	159
3.1. Классификация и краткая характеристика деформируемых магниевых сплавов (их свойства), используемых в промышленности.	
Перспективные сплавы	159
3.1.1. Сплавы средней прочности	160
3.1.2. Сплавы повышенной прочности	165
3.1.3. Жаропрочные сплавы	171
3.1.4. Сплавы пониженной плотности	173
3.1.5. Гранулированные сплавы	175
3.2. Особенности используемых технологий деформации и термической обработки магниевых сплавов. Базовые системы легирования. Основные достоинства и недостатки деформируемых магниевых сплавов различных систем.	178
3.3. Особенности фазового состава магниевых сплавов, содержащих РЗМ	180
Литература	193
Вопросы к главе	196
Глава 4. Перспективы повышения эксплуатационных характеристик магниевых сплавов.	198
4.1. Сбалансированное комплексное легирование и применение прогрессивных технологий литья	198
4.1.1. Сбалансированное комплексное легирование при сверхбыстрой кристаллизации	201
4.1.2. Ультразвуковая обработка	206
4.1.3. Бесслитковая прокатка	210
4.2. Применение нестандартной технологии обработки давлением	212
4.2.1. Сверхпластическая деформация	212
4.2.2. Деформация методом гидроэкструзии	226

4.3. Изготовление полуфабрикатов из быстрозакристаллизованных гранул магниевых деформируемых сплавов	237
4.3.1. Изготовление гранул	238
4.3.2. Изготовление прессованных изделий	239
4.3.3. Свойства полуфабрикатов, изготовленных из быстрозакристаллизованных магниевых сплавов	244
Литература	248
Вопросы к главе	254
Глава 5. Промышленное производство деформированных полуфабрикатов из магниевых сплавов	255
5.1. Плавка и литье крупногабаритных слитков в заводских условиях	255
5.1.1. Защита магниевых сплавов при плавлении и литье	255
5.1.2. Плавление и приготовление сплава	263
5.1.3. Гомогенизация магниевых сплавов	284
5.2. Изготовление деформированных полуфабрикатов из магниевых сплавов в заводских условиях	289
5.2.1. Основы деформации магниевых сплавов	289
5.2.2. Прессование магниевых сплавов	294
5.2.3. Штамповка магниевых сплавов	298
5.2.4. Изготовление поковок	305
5.3. Требования к оборудованию кузнечно-прессовых и термических цехов. Методы борьбы с дефектами. Контроль качества слитков и полуфабрикатов	307
5.3.1. Требования к оборудованию кузнечно-прессовых и термических цехов	307
5.3.2. Методы борьбы с дефектами	312
5.3.3. Контроль качества слитков и полуфабрикатов	324
Литература	326
Вопросы к главе	328
Глава 6. Свариваемость и коррозионная стойкость деформируемых магниевых сплавов	330
6.1. Свариваемость деформируемых магниевых сплавов. Основные свойства сварных соединений перспективных магниевых сплавов	330

6.2. Природная химическая активность магниевых сплавов. Коррозионная стойкость и способы защиты	342
Литература	352
Вопросы к главе	355
Глава 7. Перспективные области применения магниевых сплавов	356
7.1. Особенности производства деталей и узлов из магниевых сплавов	356
7.2. Деформируемые магниевые сплавы нового поколения для изделий авиационной, ракетно-космической техники, автомобильной, электронной промышленности. Перспективы применения	362
Литература	373
Вопросы к главе	373
Глава 8. Техника безопасности при работе с магниевыми сплавами	375
8.1. Проблема склонности магниевых сплавов к воспламенению при достижении высоких температур. Пути повышения пожаробезопасности магниевых сплавов.	375
8.2. Основные требования техники безопасности	383
Литература	386
Вопросы к главе	388
Заключение	389