



А.А. Черепухин, А.А. Смолькин

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УЧЕБНИК

Электронно-
Библиотечная
Система
znanium.com

**А.А. ЧЕРЕПАХИН
А.А. СМОЛЬКИН**

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УЧЕБНИК

*Рекомендован в качестве учебника
для студентов высших учебных заведений, обучающихся
по направлениям подготовки: 13.03.03 «Энергетическое машиностроение»,
15.03.01 «Машиностроение», 15.03.02 «Технологические машины
и оборудование», 15.03.03 «Прикладная механика», 15.03.05 «Конструкторско-
технологическое обеспечение машиностроительных производств»,
23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин
и комплексов», 23.03.01 «Технология транспортных процессов»,
27.03.03 «Системный анализ и управление», 15.03.04 «Автоматизация
технологических процессов и производств», 27.03.01 «Стандартизация
и метрология» (квалификация «Бакалавр»), 23.05.01 «Наземные транспортно-
технологические средства» (квалификация «Специалист»)*

Москва
КУРС
ИНФРА-М
2020

УДК 620.22(075.8)
ББК К2я73+К43я73
Ч46

ФЗ
№ 436-ФЗ

Издание не подлежит маркировке
в соответствии с п. 1 ч. 4 ст. 11

Рецензенты:

В.И. Ластовиця — д-р техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «МАМИ»;
В.В. Столяров — д-р техн. наук, профессор ФГБУН «Институт машиностроения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (ИМАШ РАН)»

Черепяхин А.А., Смолькин А.А.

Ч46 **Материаловедение: учебник.** — М.: КУРС: ИНФРА-М, 2020.
— 288 с. — (Бакалавриат).

ISBN 978-5-906818-56-0 (КУРС)

ISBN 978-5-16-012023-2 (ИНФРА-М, print)

ISBN 978-5-16-104678-4 (ИНФРА-М, online)

В учебнике подробно рассмотрены виды и свойства конструкционных материалов; теоретические и практические вопросы воздействия на их структуру и свойства различных факторов (температурных, силовых, физико-химических).

Учебник написан в соответствии с требованием государственного образовательного стандарта (ФГОС3+) преподавания общепрофессиональной дисциплины «Материаловедение».

Для студентов машиностроительных ВУЗов конструкторских и технологических направлений.

УДК 620.22(075.8)
ББК К2я73+К43я73

Электронно-
Библиотечная
Система
znanium.com

ISBN 978-5-906818-56-0 (КУРС)

ISBN 978-5-16-012023-2 (ИНФРА-М, print)

ISBN 978-5-16-104678-4 (ИНФРА-М, online)

© Черепяхин А.А., Смолькин А.А.,
2016

© КУРС, 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1. КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ	4
1.1. Общая характеристика металлов	5
<i>Кристаллографические обозначения</i>	11
1.2. Дефекты кристаллической решетки	13
<i>Механизм образования вакансий в кристалле</i>	14
<i>Вектор и контур Бюргерса</i>	15
<i>Краевые и винтовые дислокации</i>	16
1.3. Диффузия	23
Контрольные вопросы	25
Глава 2. КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ ЧИСТЫХ МЕТАЛЛОВ	26
2.1. Термодинамические основы кристаллизации	26
<i>Физическая сущность энтропии</i>	28
2.2. Гомогенная кристаллизация	30
2.3. Гетерогенная кристаллизация	33
2.4. Строение металлического слитка	33
2.5. Полиморфные превращения	37
Контрольные вопросы	38
Глава 3. КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ ДВОЙНЫХ СПЛАВОВ	39
3.1. Строение сплавов	39
3.2. Структура сплавов	43
3.3. Кристаллизация сплавов	44
3.4. Диаграммы состояния сплавов	45
<i>Диаграммы состояния сплавов, образующих механическую смесь</i>	47
<i>Диаграмма состояния сплавов, компоненты которых неограниченно растворимы в жидком и твердом состояниях</i>	49
<i>Диаграмма состояния сплавов, компоненты которых ограниченно растворимы в твердом состоянии и образуют эвтектику</i>	51
<i>Диаграмма состояния сплавов с полиморфным превращением компонентов и эвтектоидным превращением</i>	53
<i>Диаграмма состояния сплавов с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии и с перитектикой</i>	55
<i>Связь между свойствами сплавов и типом диаграммы состояния</i>	56
Контрольные вопросы	56
Глава 4. СВОЙСТВА КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	58
4.1. Технологические и Эксплуатационные свойства	58
4.2. Механические свойства	59
<i>Статические испытания</i>	60
<i>Испытания на твердость</i>	62
<i>Динамические испытания</i>	65
4.3. Конструкционная прочность материалов и критерии ее оценки	66
Контрольные вопросы	69

Глава 5. ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ДЕФОРМИРОВАННЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ	70
5.1. Механизм пластического деформирования.....	70
<i>Холодное пластическое деформирование идеальных кристаллов</i>	70
<i>Холодное пластическое деформирование реальных кристаллов</i>	74
<i>Холодное пластическое деформирование поликристаллов</i>	77
5.2. Свойства холоднодеформированных металлов.....	78
5.3. Разрушение металлов.....	79
5.4. Влияние нагрева на структуру и свойства деформированного металла.....	83
<i>Возврат</i>	83
<i>Рекристаллизация</i>	85
5.5. Холодная, горячая и теплая деформации. Сверхпластичность.....	88
Контрольные вопросы	88
Глава 6. СТРУКТУРНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВАХ	90
6.1. Компоненты и фазы в системе железо-углерод	90
6.2. Превращения в сплавах железо — цементит.....	94
6.3. Превращения сталей в твердом состоянии.....	96
6.4. Превращения чугунов.....	99
6.5. Чугуны со свободным графитом.....	101
6.6. Влияние углерода и технологических примесей на свойства стали.....	101
6.7. Влияние легирующих элементов на структуру и свойства сталей.....	102
<i>Влияние легирующих элементов на полиморфные превращения</i>	104
<i>Структура и свойства легированного феррита и аустенита</i>	105
<i>Карбидная фаза в легированных сталях</i>	107
<i>Интерметаллические соединения</i>	108
6.8. Структурные классы легированных сталей.....	108
Контрольные вопросы	109
Глава 7. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СПЛАВОВ	110
7.1. Виды термической обработки.....	110
7.2. Термическая обработка сплавов, не связанная с фазовыми превращениями в твердом состоянии.....	112
<i>Отжиг для снятия напряжений</i>	112
<i>Рекристаллизационный отжиг</i>	112
<i>Диффузионный отжиг</i>	113
7.3. Термическая обработка сплавов с переменной растворимостью компонентов в твердом состоянии	114
7.4. Термическая обработка сталей.....	118
<i>Основные фазовые превращения стали</i>	118
<i>Механизм превращения перлита в аустенит</i>	120
<i>Механизм распада переохлажденного аустенита</i>	125
<i>Механизм перлитного превращения аустенита</i>	126
<i>Механизм мартенситного превращения аустенита</i>	127
<i>Механизм бейнитного (промежуточного) превращения аустенита</i>	129
7.5. Основные виды термической обработки стали	129
<i>Отжиг сталей</i>	130
<i>Полный отжиг стали</i>	130
<i>Нормализация</i>	132
<i>Диффузионный отжиг</i>	132

	<i>Неполный отжиг стали</i>	133
	<i>Низкий отжиг стали</i>	133
	<i>Охлаждение стали при ее отжиге</i>	134
	<i>Изотермический отжиг</i>	134
	<i>Закалка сталей</i>	134
	<i>Отпуск закаленных сталей</i>	137
7.6.	Технология термической обработки стали.....	140
7.7.	Влияние термической обработки на механические свойства стали.....	140
7.8.	Закаливаемость и прокаливаемость сталей.....	141
	Контрольные вопросы.....	142

Глава 8. ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СПЛАВОВ..... 144

8.1.	<i>Диффузионное насыщение неметаллами</i>	145
	<i>Цементация стали</i>	145
	<i>Азотирование</i>	152
	<i>Цианирование</i>	155
	<i>Нитроцементация</i>	158
8.2.	<i>Диффузионное насыщение металлами (диффузионная металлизация)</i>	160
	<i>Алитирование</i>	160
	<i>Хромирование</i>	161
	<i>Силицирование</i>	162
	<i>Борирование</i>	162
8.3.	<i>Инновационные методы химико-термической обработки</i>	164
	<i>Поверхностное лазерное легирование стальной поверхности</i>	164
	<i>Циркуляционный метод химико-термической обработки</i>	166
	<i>Ионная химико-термическая обработка</i>	166
	<i>Ионно-плазменная обработка (азотирование)</i>	166
	<i>Ионная имплантация</i>	167
	Контрольные вопросы.....	167

Глава 9. ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫЕ СПЛАВЫ..... 169

9.1.	<i>Углеродистые стали</i>	171
	<i>Углеродистые стали обыкновенного качества</i>	171
	<i>Углеродистые качественные и высококачественные стали</i>	172
	<i>Инструментальные углеродистые стали</i>	174
9.2.	<i>Легированные стали</i>	175
	<i>Маркировка легированных сталей</i>	175
	<i>Влияние легирующих элементов на свойства стали</i>	176
	<i>Низколегированные строительные стали</i>	177
	<i>Низколегированные конструкционные стали</i>	178
	<i>Низколегированные инструментальные стали</i>	179
	<i>Низколегированные подшипниковые стали</i>	182
	<i>Легированные высокопрочные стали</i>	183
	<i>Коррозионно-стойкие стали</i>	187
	<i>Жаростойкие стали</i>	188
	<i>Криогенные стали</i>	191
	<i>Стали с особыми магнитными свойствами</i>	192
9.3.	<i>Высоколегированные инструментальные стали</i>	193
	<i>Стали для изготовления кузнечно-штамповой оснастки</i>	193
	<i>Стали для обработки резанием</i>	195
9.4.	<i>Чугуны</i>	198
	<i>Графитизация чугунов</i>	199

<i>Классификация чугунов со свободным графитом</i>	200
<i>Серый чугун</i>	202
<i>Высокопрочный чугун</i>	203
<i>Чугун с вермикулярным графитом</i>	205
<i>Ковкий чугун</i>	205
<i>Легированные чугуны</i>	205
Контрольные вопросы	207

Глава 10. ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ

10.1. Сплавы на основе меди	208
<i>Общая характеристика медных сплавов</i>	210
<i>Латуни</i>	212
<i>Бронзы</i>	214
10.2. Сплавы на основе алюминия	217
<i>Общая характеристика алюминиевых сплавов</i>	218
<i>Деформируемые алюминиевые сплавы, не упрочняемые термической обработкой</i>	220
<i>Деформируемые алюминиевые сплавы, упрочняемые термической обработкой</i>	221
<i>Литейные алюминиевые сплавы</i>	223
<i>Спеченные алюминиевые сплавы</i>	226
10.3. Сплавы на основе магния	227
<i>Общая характеристика магниевых сплавов</i>	228
<i>Деформируемые магниевые сплавы</i>	228
<i>Литейные магниевые сплавы</i>	230
10.4. Титановые сплавы	231
<i>Общая характеристика титановых сплавов</i>	233
<i>Термическая обработка титановых сплавов</i>	235
<i>Деформируемые титановые сплавы</i>	237
<i>Литейные титановые сплавы</i>	238
<i>Титановые сплавы с памятью формы</i>	239
Контрольные вопросы	240

Глава 11. НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

11.1. Полимеры	241
<i>Пластмассы</i>	243
11.2. Резиновые материалы	246
11.3. Клеи и герметики	247
11.4. Прокладочные материалы	250
Контрольные вопросы	251

Глава 12. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

12.1. Дисперсно-упрочненные композиционные материалы	254
<i>Структура и свойства</i>	254
<i>ДУКМ на алюминиевой основе</i>	255
<i>Жаропрочные ДУКМ</i>	255
<i>Конструкционные порошковые материалы</i>	256
<i>Металлокерамические твердые сплавы</i>	257
<i>Вольфрамовые твердые сплавы</i>	257
<i>Безвольфрамовые твердые сплавы</i>	259
12.2. Волокнистые композиционные материалы	259
<i>Структура и свойства</i>	259

<i>Композиционные материалы с неметаллической матрицей</i>	259
<i>Композиционные материалы с металлической матрицей</i>	260
Контрольные вопросы	261
Глава 13. ОСНОВЫ НАНОТЕХНОЛОГИИ	262
13.1. Основные понятия и аппаратные средства нанотехнологии	262
13.2. Методы молекулярного дизайна	265
13.3. Графен, углеродные нанотрубки и фуллерены	267
<i>Графен</i>	267
<i>Углеродные нанотрубки</i>	268
<i>Фуллерены</i>	270
13.4. Перспективы наноструктурирования конструкционных материалов на основе металлов и сплавов.....	271
<i>Методы интенсивной пластической деформации</i>	272
Контрольные вопросы	273
ГЛОССАРИЙ	274
ЛИТЕРАТУРА	277