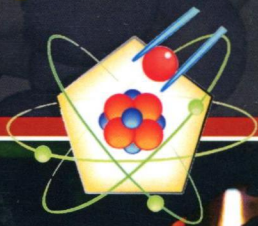


# МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ



«Инфра-Инженерия»

# МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Учебное пособие

Москва    Вологда  
«Инфра-Инженерия»  
2020

УДК 620.22  
ББК 30.3  
М34

А в т о р ы :

*С. В. Давыдов, Д. А. Болдырев, Л. И. Попова, М. Н. Тюрков*

**М34**      **Материаловедение** : учебное пособие / [С. В. Давыдов и др.]. –  
Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2020. – 424 с. : ил., табл.  
ISBN 978-5-9729-0417-4

Рассмотрены применяемые в технике металлические, неметаллические и композиционные материалы, предложена их классификация, раскрыты особенности строения и свойства. Показаны закономерности изменения строения, свойств и работоспособности различных материалов в зависимости от состава, способов обработки и условий эксплуатации.

Для студентов, аспирантов и преподавателей машиностроительных специальностей.

УДК 620.22  
ББК 30.3

ISBN 978-5-9729-0417-4

© Издательство «Инфра-Инженерия», 2020

© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2020

# ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	8
1. Кристаллическое строение твёрдых тел.....	9
1.1. Масштабные уровни строения материалов. Понятие «свойство материала».....	9
1.2. Кристаллические и аморфные вещества. Модель ближнего взаимодействия атомов.....	13
1.3. Типы кристаллических решеток и их характеристики.....	15
1.4. Индексы кристаллографических плоскостей и направлений.....	21
2. Основные свойства кристаллов. Виды связей.....	24
2.1. Анизотропия и полиморфизм кристаллов.....	24
2.2. Типы связей в кристаллах, их особенности и влияние на свойства веществ.....	26
2.2.1. Ионная связь.....	27
2.2.2. Ковалентная связь.....	28
2.2.3. Металлическая связь.....	29
2.2.4. Связь Ван-дер-Ваальса.....	31
3. Дефекты кристаллического строения и их влияние на свойства кристаллов.....	33
3.1. Термодинамические причины существования дефектов кристаллического строения.....	33
3.2. Геометрическая классификация дефектов кристаллического строения.....	35
3.3. Точечные дефекты.....	36
3.3.1. Механизмы образования точечных дефектов.....	37
3.3.2. Температурная зависимость равновесной концентрации вакансий.....	38
3.4. Влияние вакансий на диффузионные процессы. Законы диффузии.....	39
3.4.1. Законы диффузии.....	40
3.4.2. Зависимость коэффициента диффузии от температуры.....	41
3.4.3. Механизмы диффузии.....	42
3.5. Линейные дефекты кристаллов.....	44
3.5.1. Теоретическая прочность кристаллов.....	45
3.5.2. Дислокационная теория пластического сдвига в реальных кристаллах.....	47
3.5.3. Геометрия дислокаций.....	50
3.5.4. Взаимодействие дислокаций.....	53
3.5.5. Виды движения дислокаций.....	54
3.5.6. Механизмы образования и размножения дислокаций.....	55
3.5.7. Взаимодействие дислокаций с точечными дефектами.....	57
3.6. Поверхностные дефекты кристаллов.....	60
3.7. Объёмные дефекты кристаллов.....	61
4. Механические явления в твердых телах.....	63
4.1. Деформация монокристаллов. Стадийность деформации.....	64
4.2. Упругая деформация. Модули упругости.....	65
4.2.1. Модуль сдвига и модуль Юнга.....	65
4.2.2. Коэффициент Пуассона.....	66
4.2.3. Объёмный модуль упругости.....	66
4.3. Микро- и макроскопический аспекты пластической деформации. Эволюция ДСС. Ориентационный фактор Тейлора.....	67

4.4. Истинные напряжения и деформации. Классификация остаточных напряжений.....	75
<b>5. Механизмы пластической деформации. Факторы упрочнения .....</b>	<b>77</b>
5.1. Скольжение .....	77
5.2. Двойникование.....	78
5.3. Механизм теоретической прочности .....	79
5.4. Ползучесть .....	80
5.4.1. Механизмы ползучести.....	81
5.4.2. Механические характеристики ползучести .....	82
5.5. Деформация поликристаллов и зернограницные механизмы деформации .....	83
5.6. Зернограницное упрочнение. Закон Холла – Петча. Технологические способы измельчения зерна в сплавах .....	86
5.7. Факторы упрочнения .....	87
5.7.1. Силы трения КР .....	88
5.7.2. Деформационное упрочнение и его природа.....	88
5.7.3. Твёрдорастворное упрочнение .....	90
5.7.4. Дисперсионное упрочнение .....	91
<b>6. Механические свойства и их характеристики .....</b>	<b>93</b>
6.1. Статические испытания металлов и сплавов. Испытание на одноосное растяжение при комнатной температуре .....	93
6.2. Методы определения твёрдости .....	98
6.2.1. Метод определения твёрдости по Бринеллю .....	98
6.2.2. Метод измерения твёрдости по Роквеллу .....	99
6.2.3. Метод Виккерса и микротвёрдость .....	100
6.3. Динамические испытания металлов.....	101
6.4. Усталостные испытания металлов .....	104
<b>7. Теория разрушения Гриффитса .....</b>	<b>112</b>
7.1. Вязкое и хрупкое разрушение .....	112
7.2. Сравнительный анализ вязкого и хрупкого разрушений.....	115
7.3. Фрактографический анализ.....	116
7.4. Вязко-хрупкий переход. Факторы, влияющие на хладноломкость .....	118
<b>8. Влияние температуры на свойства деформированного металла .....</b>	<b>122</b>
8.1. Рекристаллизация и её типы .....	122
8.2. Влияние степени предварительной деформации на размер рекристаллизованных зёрен.....	127
8.3. Основные факторы, влияющие на температуру рекристаллизации. Горячая и холодная обработка металлов давлением .....	128
<b>9. Термодинамические основы фазовых превращений .....</b>	<b>130</b>
9.1. Основные понятия и закономерности термодинамики фазовых превращений .	130
9.2. Кристаллизация и её типы .....	134
9.2.1. Гомогенная кристаллизация.....	136
9.2.2. Влияние степени переохлаждения на критический размер зародыша.....	139
9.2.3. Гетерогенная кристаллизация .....	140
9.2.4. Вторичная кристаллизация.....	143
9.2.5. Кинетика кристаллизации. Кривые Таммана .....	145
9.3. Механизмы роста кристаллов.....	148
9.4. Кристаллизация слитка .....	151

10. Фазы в сплавах.....	154
11. Диаграммы состояния двухкомпонентных систем .....	167
11.1. Построение диаграмм состояния методом термического анализа (ТА). Правило фаз Гиббса .....	168
11.2. Диаграмма состояния однокомпонентной системы .....	171
11.3. Анализ диаграмм состояния двухкомпонентных систем .....	173
11.3.1. Диаграмма состояния первого рода для компонентов, нерастворимых в твердом состоянии. Правила коноды .....	173
11.3.2. Диаграмма состояния второго рода для системы сплавов, компоненты которых образуют непрерывный ряд твёрдых растворов .....	180
11.3.3. Диаграмма состояния с полиморфным превращением и неограниченной растворимостью компонентов в твёрдом состоянии .....	181
11.3.4. Диаграмма состояния сплавов, компоненты которых неограниченно растворимы в жидком состоянии, имеют ограниченную растворимость в твёрдом состоянии и при кристаллизации образуют эвтектику .....	184
11.3.5. Диаграмма состояния с конгруэнтно плавящимся устойчивым химическим соединением .....	189
11.3.6. Диаграмма состояния двойных сплавов с перитектическим и перитектоидным превращениями.....	190
11.3.7. Диаграмма состояния с инконгруэнтно плавящимся неустойчивым химическим соединением .....	192
11.3.8. Диаграмма состояния с монотектическим превращением.....	193
11.3.9. Диаграмма состояния с метатектическим превращением .....	195
11.3.10. Взаимосвязь между типом диаграммы состояния и свойствами сплавов .....	196
12. Аморфные металлические и нанокристаллические материалы .....	197
12.1. Аморфные металлические материалы .....	197
12.1.1. Свойства аморфных металлических стёкол и области их применения .....	201
12.1.2. Способы получения АМС .....	202
12.2. Наноматериалы, особенности их строения и свойства .....	203
12.2.1. Классификация наноматериалов .....	205
12.2.2. Физические явления, обеспечивающие специфику свойств наноматериалов.....	208
12.2.3. Технологии получения наноматериалов .....	211
12.2.4. Области применения наноматериалов.....	213
13. Диаграмма состояния «железо — углерод». Структурообразование сталей .....	217
13.1. Фазы, линии, критические точки.....	217
13.2. Формирование равновесной структуры сталей при охлаждении .....	222
13.2.1. Первичная кристаллизация сталей .....	222
13.2.2. Перекристаллизация сталей .....	225
13.3. Зависимость свойств сталей в равновесном состоянии от содержания углерода.....	232
13.4. Процессы, реализующиеся при нагреве стали. Наследственно крупно- и мелкозернистые стали .....	235

13.5. Влияние примесей на процессы кристаллизации и свойства сталей. Рекомендации по их использованию.....	238
<b>14. Метастабильная и стабильная диаграммы состояния «железо – углерод».</b> <b>Белые и графитизированные чугуны.....</b>	<b>240</b>
14.1. Метастабильная диаграмма состояния «железо – цементит». Структурообразование белых чугунов.....	240
14.2. Стабильная диаграмма состояния «железо – углерод». Структурообразование графитизированных чугунов.....	244
14.2.1. Классификация графитизированных чугунов и способы их получения.....	247
14.2.2. Особенности свойств графитизированных чугунов .....	250
<b>15. Модифицирование графитизированных конструкционных чугунов.....</b>	<b>254</b>
15.1. Понятие о модифицировании и его специфика .....	254
15.2. Модификаторы для графитизирующей обработки расплава чугуна.....	264
<b>16. Превращения в сталях при охлаждении.....</b>	<b>279</b>
16.1. Диаграмма изотермического превращения аустенита .....	279
16.2. Влияние скорости охлаждения на структуру и свойства сталей.....	282
16.3. Мартенситное превращение: основные особенности, кинетика.....	285
16.4. Бейнитное превращение .....	289
<b>17. Термическая обработка (ТО).....</b>	<b>291</b>
17.1. Классификация видов ТО, основные технологические параметры, разновидности.....	291
17.2. Закалка углеродистых сталей .....	294
17.3. Мартенсит: особенности свойств, морфологические разновидности .....	301
17.4. Отпуск. Превращения при отпуске. Виды отпуска. Отпускная хрупкость .....	304
17.5. Закалка без полиморфного превращения. Старение .....	312
17.5. Виды отжига и их назначение .....	315
17.6. Химико-термическая обработка (ХТО) стали.....	320
<b>18. Легированные стали .....</b>	<b>328</b>
18.1. Примеси в сталях .....	328
18.2. Классификация легирующих элементов и их влияние на структуру и свойства сталей.....	329
18.3. Классификация легированных сталей и особенности их ТО .....	334
<b>19. Классификация материалов .....</b>	<b>340</b>
19.1. Основные признаки классификации материалов .....	340
19.2. Неметаллические и композиционные материалы.....	342
19.3. Классификация и маркировка сталей .....	346
19.4. Классификация и маркировка чугунов.....	357
19.5. Классификация и маркировка порошковых материалов .....	357
19.6. Классификация и маркировка цветных сплавов.....	359
19.6.1. Классификация и маркировка алюминиевых сплавов .....	359
19.6.2. Классификация и маркировка медных сплавов.....	361
19.6.3. Классификация и маркировка титановых сплавов.....	364
19.6.4. Классификация и маркировка магниевых сплавов.....	365

20. Специальные вопросы материаловедения .....	367
20.1. Ключевые параметры получения чугунов. Усвоение магния из модификатора .....	367
20.2. Ферросиликомагний. Модификаторы и особенности получения ЧВГ (чугуна с вермикулярным графитом) и ВЧ (высокопрочного чугуна) .....	369
20.3. Технологии модифицирования чугунов .....	382
20.4. Литейные дефекты в чугунах: практические примеры и рекомендации по их устранению .....	393
20.5. Специальные вопросы модифицирующей обработки расплава чугуна .....	409
20.6. Контроль качества модификаторов .....	415
20.7. Автоматизированная система термического анализа (ТА) .....	417