



А. В. ПЛОХОВ,
А. И. ПОПЕЛЮХ, Н. В. ПЛОТНИКОВА

**ФИЗИЧЕСКИЕ
И МЕХАНИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА
МАТЕРИАЛОВ**

**А. В. ПЛОХОВ,
А. И. ПОПЕЛЮХ, Н. В. ПЛОТНИКОВА**

**ФИЗИЧЕСКИЕ
И МЕХАНИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА
МАТЕРИАЛОВ**



**НОВОСИБИРСК
2 0 1 8**

УДК 620.17(075.8)

П 398

Рецензенты:

д-р техн. наук, профессор *В.А. Гридчин*

канд. техн. наук, доцент *А.А. Никулина*

Плохов А.В.

П 398 Физические и механические свойства материалов : учебник / А.В. Плохов, А.И. Попелюх, Н.В. Плотникова. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2018. – 342 с. – (серия «Учебники НГТУ»).

ISBN 978-5-7782-3547-2

Настоящий учебник является базовым для дисциплины «Физические и механические свойства материалов». Изложены главные положения структурной теории конструктивной прочности. Описаны основы теории физических явлений, рассмотрены пористость, электрические, тепловые и другие свойства материалов. Даны современные представления об упругости, прочности, твердости, износостойкости, усталости и других важных механических свойств. Рассмотрены стандартные методы оценки физических и механических свойств, а также новые способы исследования параметров конструктивной прочности материалов. Цель учебника – научить определять физико-механические свойства; ставить задачи и составлять программы комплексных исследований; использовать полученные результаты для оценки качества материалов и изделий, а также для моделирования и оптимизации технологических процессов.

Рекомендуется для студентов машиностроительных и авиационных специальностей технических университетов и инженерно-технических работников, занятых испытаниями материалов машиностроительного назначения.

УДК 620.17(075.8)

ISBN 978-5-7782-3547-2

© Плохов А.В., Попелюх А.И.,
Плотникова Н.В., 2018

© Новосибирский государственный
технический университет, 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	9
Введение.....	11
Глава 1. ДЕФЕКТЫ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛОВ. ФИЗИЧЕСКИЕ И СТРУКТУРНЫЕ МОДЕЛИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ И РАЗРУШЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ	15
1.1. Дефекты реальной структуры	15
1.2. Макродефекты	16
1.3. Микродефекты.....	19
1.3.1. Точечные дефекты	19
1.3.2. Линейные дефекты – дислокации.....	21
1.4. Мезодефекты.....	36
1.5. Структурные модели пластической деформации и разрушения материалов.....	39
1.5.1. Понятие о физической мезомеханике материалов.....	39
1.5.2. Структурные модели разрушения материалов.....	42
1.5.3. Виды разрушения. Хрупкое и вязкое разрушение	44
1.5.4. Пути преодоления противоречия между повышением предела текучести и трещиностойкостью	50
Список литературы	55
Глава 2. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ.....	57
2.1. Плотность.....	57
2.1.1. Понятия и определения	57
2.1.2. Метод гидростатического взвешивания.....	59
2.1.3. Пикнометрический метод.....	63
2.2. Пористость	64
2.2.1. Основные положения.....	64
2.2.2. Общая характеристика методов измерения пористости.....	69
2.2.3. Метод гидростатического взвешивания.....	70
2.2.4. Микроскопические количественные методы	73
2.2.5. Ртутная порометрия	78
2.2.6. Метод вытеснения.....	80
2.2.7. Определение пористости по методу восстановленного отпечатка	82
2.2.8. Коррозионные методы	84
2.3. Коэффициент проницаемости	85
2.3.1. Понятия и определения	85
2.3.2. Образцы, оборудование, испытания.....	85
2.4. Электрическая прочность	88



2.4.1. Основные положения.....	88
2.4.2. Образцы, оборудование, испытания.....	91
2.5. Удельные объемное и поверхностное электросопротивления.....	94
2.5.1. Понятия и определения	94
2.5.2. Сверхпроводимость	97
2.5.3. Образцы, оборудование, испытания.....	97
2.6. Теплопроводность	101
2.6.1. Основные положения.....	101
2.6.2. Образцы, оборудование, испытания.....	102
2.7. Температурный коэффициент линейного расширения	107
2.7.1. Понятия и определения	107
2.7.2. Образцы, оборудование, испытания.....	109
2.8. Магнитные свойства	112
2.8.1. Понятия и определения	112
2.8.2. Магнитная индукция и магнитная проницаемость	114
2.8.3. Магнитные материалы и их применение	116
2.8.4. Стандартные методы испытаний магнитных материалов.....	117
Список литературы	119
Глава 3. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ ПРИ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЯХ	121
3.1. Упругость	121
3.1.1. Основные положения.....	121
3.1.2. Определение модуля упругости при изгибе	123
3.1.3. Определение модуля упругости динамическим методом	127
3.1.4. Другие методы определения характеристик упругости	128
3.2. Прочность, пластичность.....	129
3.2.1. Статические испытания на растяжение	129
3.2.2. Прочность порошковых и керамических материалов	133
3.2.3. Сверхпластичность материалов.....	135
3.2.4. Статические испытания на сжатие и кручение	136
3.3. Внутреннее трение	137
3.3.1. Понятия и определения	137
3.3.2. Дислокационная модель Гранато–Люкке	139
3.4. Твердость	141
3.4.1. Понятия и определения	141
3.4.2. Измерение твердости по Бринеллю.....	142
3.4.3. Измерение твердости по Роквеллу	145
3.4.4. Измерение твердости по Виккерсу.....	148



3.4.5. Измерение микротвердости.....	150
3.4.6. Наноиндентирование	158
3.5. Ударная вязкость.....	160
3.5.1. Понятия и определения	160
3.5.2. Образцы, оборудование, испытания.....	162
Список литературы	167
Глава 4. ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ И ИСПЫТАНИЯ НА ИЗНАШИВАНИЕ.....	169
4.1. Термины и определения.....	169
4.2. Актуальные направления повышения износостойкости	174
4.3. Абразивное изнашивание	178
4.3.1. Понятия и определения	178
4.3.2. Изнашивание закрепленными и незакрепленными абразивными частицами.....	180
4.3.3. Газоабразивное изнашивание.....	192
4.3.4. Гидроабразивное изнашивание. Кавитация.....	198
4.3.5. Ударно-абразивное изнашивание	202
4.3.6. Изнашивание абразивно-масляной прослойкой (абразивной суспензией)	207
4.4. Изнашивание в парах трения.....	212
4.4.1. Факторы, определяющие процессы трения и изнашивания	212
4.4.2. Выбор метода испытаний	213
4.4.3. Машины трения.....	215
4.4.4. Анализ поверхностей трения	220
4.4.5. Оценка фрикционной совместимости.....	222
4.5. Фреттинг-коррозия.....	223
4.5.1. Понятия и определения	223
4.5.2. Образцы, оборудование, испытания.....	226
4.6. Истирающая способность.....	229
4.7. Измерение износа.....	230
Список литературы	238
Глава 5. УСТАЛОСТЬ И УСТАЛОСТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ.....	241
5.1. Много- и малоцикловая усталость.....	241
5.1.1. Понятия и определения	241
5.1.2. Факторы, влияющие на усталостную прочность материалов.....	246
5.1.3. Образцы, оборудование, испытания.....	249
5.2. Контактная усталость.....	255
5.2.1. Понятия и определения	255
5.2.2. Образцы, оборудование, испытания.....	256



5.3. Малоцикловая усталость: термическая и при термомеханическом нагружении	261
5.3.1. Понятия и определения	261
5.3.2. Малоцикловая термическая усталость	262
5.3.3. Усталость при термомеханическом нагружении	264
5.4. Ударно-циклическая усталость	265
Список литературы	267
Глава 6. ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ	269
6.1. Общие сведения о трещиностойкости	269
6.2. Статическая трещиностойкость	276
6.3. Циклическая трещиностойкость	284
6.4. Ударно-циклическая трещиностойкость	287
Список литературы	288
Глава 7. ЖАРОПРОЧНОСТЬ	289
7.1. Жаропрочные материалы	289
7.2. Испытания на ползучесть	291
7.2.1. Понятия и определения	291
7.2.2. Образцы, оборудование, испытания	291
7.3. Испытания на длительную прочность	295
7.4. Испытания на релаксацию напряжений	297
Список литературы	298
Глава 8. ЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА	299
8.1. Жаростойкость	299
8.1.1. Понятия и определения	299
8.1.2. Образцы, оборудование, испытания	302
8.2. Коррозионная стойкость	307
8.2.1. Понятия и определения	307
8.2.2. Образцы, оборудование, испытания	308
Список литературы	319
Глава 9. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ	321
9.1. Лист и лента	321
9.2. Проволока	323
9.3. Трубы	325
9.4. Испытания на осадку и изгиб проката	327
Заключение	331
Список литературы	333
<i>Приложение. Список основных Государственных стандартов на испытания материалов</i>	<i>335</i>