



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> |