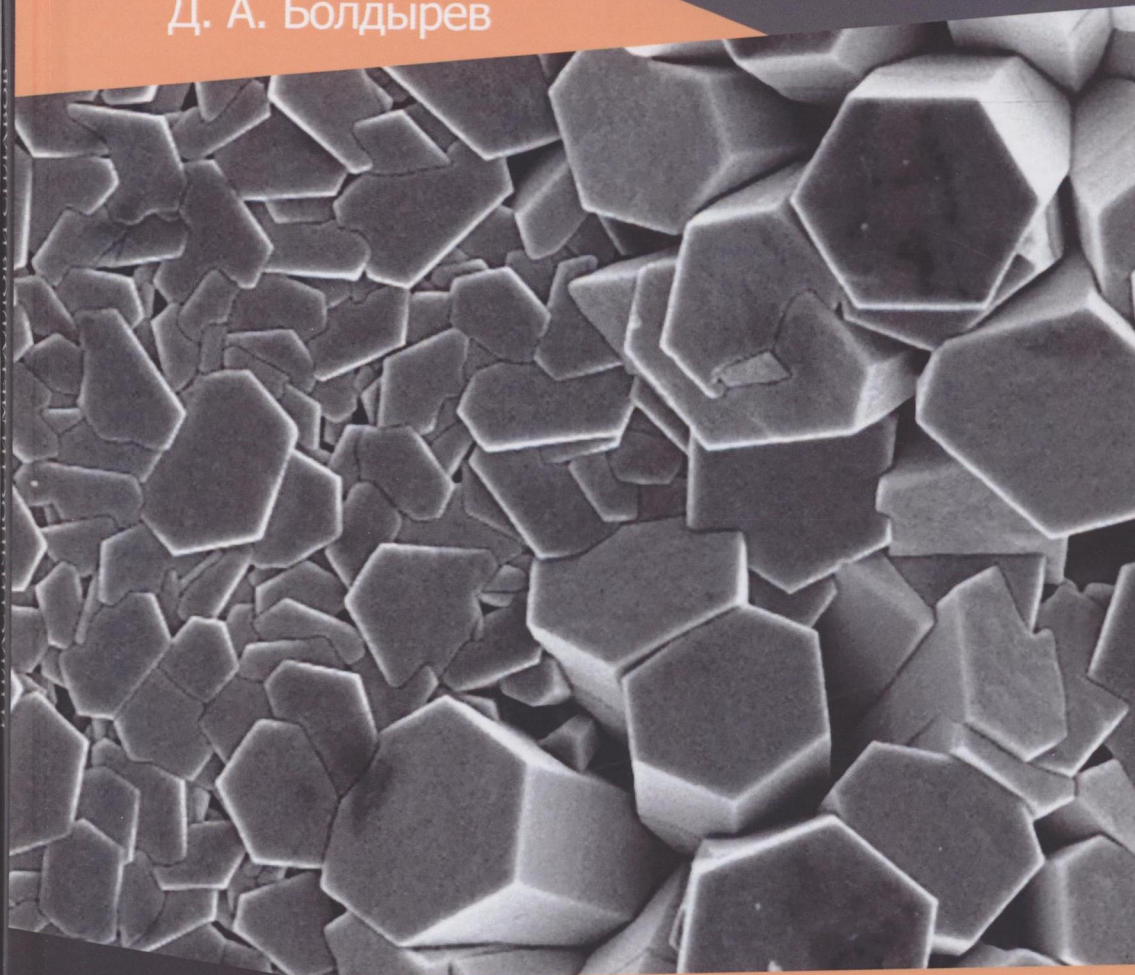


Л. И. Попова
Д. А. Болдырев




«Инфра-Инженерия»

ОСНОВЫ ФИЗИКИ ПРОЧНОСТИ И ПЛАСТИЧНОСТИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Л. И. Попова, Д. А. Болдырев

**ОСНОВЫ ФИЗИКИ ПРОЧНОСТИ И ПЛАСТИЧНОСТИ
МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**

Учебное пособие

Москва Вологда
«Инфра-Инженерия»
2023

УДК 620.17
ББК 34.2
П58

Рецензенты:

председатель правления Смоленского регионального отделения
Российской ассоциации литейщиков, профессор, д. т. н.
Чайкин Владимир Андреевич;
профессор кафедры литейных процессов и материаловедения
Магнитогорского государственного технического
университета им. Г. И. Носова, д. т. н. *Емелюшин Алексей Николаевич*

Попова, Л. И.

П58 Основы физики прочности и пластичности металлов и сплавов :
учебное пособие / Л. И. Попова, Д. А. Болдырев. – Москва ; Вологда :
Инфра-Инженерия, 2023. – 148 с. : ил., табл.
ISBN 978-5-9729-1257-5

Рассмотрены вопросы физики упругой и пластической деформации, неупругих явлений в упругой области деформации, влияния различных факторов на поведение материалов под нагрузкой. Большое внимание уделяется механизмам пластической деформации и упрочнения на основе дислокационной теории.

Для студентов машиностроительных специальностей высшего образования, преподавателей и научных работников.

УДК 620.17
ББК 34.2

ISBN 978-5-9729-1257-5

© Попова Л. И., Болдырев Д. А., 2023
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2023
© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2023

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1. УПРУГОЕ ПОВЕДЕНИЕ ТВЕРДЫХ ТЕЛ.....	7
1.1. Упругая деформация и характеристики упругих свойств	7
1.2. Факторы, влияющие на модули упругости.....	10
Практическое задание	14
Контрольные вопросы.....	14
2. НЕУПРУГИЕ ЯВЛЕНИЯ В УПРУГОЙ ОБЛАСТИ.....	15
2.1. Релаксированный и нерелаксированный модули упругости.....	15
2.2. Внутреннее трение. Основные механизмы рассеяния энергии.....	17
2.3. Релаксационные явления в твердых телах.....	22
2.3.1. Теория релаксационных явлений	22
2.3.2. Внутреннее трение, обусловленное точечными дефектами, как частный случай релаксационных процессов	25
2.4. Материалы с особыми упругими свойствами и заданной величиной внутреннего трения	27
Практическое задание	30
Контрольные вопросы.....	30
3. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЛАСТИЧНОСТИ.....	32
3.1. Скольжение дислокаций.....	32
3.2. Двойникование	36
Практическое задание	41
Контрольные вопросы.....	42
4. СТАДИЙНОСТЬ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ И ЭВОЛЮЦИЯ ДИСЛОКАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ	43
4.1. Стадийность пластической деформации	43
4.2. Классификация остаточных напряжений	48
4.3. Отличия деформации ГПУ- и ОЦК-кристаллов	49
4.4. Классификация дислокационных субструктур (ДСС) и последовательность их эволюции	50
4.4.1. Структурные уровни деформации и классификация ДСС	50
4.4.2. Эволюция дислокационных субструктур в процессе пластической деформации.....	56
Практическое задание	58
Контрольные вопросы.....	59
5. ДЕФОРМАЦИЯ ПОЛИКРИСТАЛЛОВ И ЗЕРНОГРАНИЧНОЕ УПРОЧНЕНИЕ	60
5.1. Деформация поликристаллов и зернограничное упрочнение	60
5.2. Взаимодействие дислокаций с границами зерен и зернограничные механизмы деформации.....	64
5.3. Текстуры деформации	65
5.4. Эффекты, проявляющиеся на диаграммах растяжения	66
Практическое задание	69
Контрольные вопросы.....	69
6. МЕХАНИЗМЫ УПРОЧНЕНИЯ	71

6.1. Основные факторы упрочнения и их классификация	71
6.2. Деформационное упрочнение	72
6.2.1. Упрочнение близкодействующими полями напряжений	72
6.2.2. Упрочнение далекодействующими полями напряжений	75
6.2.3. Общая теория деформационного (структурного) упрочнения.....	76
6.3. Упрочнение легированием	76
6.3.1. Упрочнение атмосферами или эффект блокировки	77
6.3.2. Твердорастворное упрочнение	79
6.3.3. Деформационное старение	82
6.4. Дисперсионное упрочнение	84
6.4.1. Перерезание частиц дислокациями. Теория Келли	85
6.4.2. Огибание частиц дислокациями. Модель Орована	86
6.4.3. Способы получения дисперсионно-упрочненных сплавов	87
Практическое задание	89
Контрольные вопросы.....	89
7. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ХОЛОДНОДЕФОРМИРОВАННЫХ МЕТАЛЛОВ	91
7.1. Физическая сущность и последовательность рекристаллизационных процессов.....	91
7.2. Особенности рекристаллизации многофазных сплавов.....	96
7.3. Горячая и холодная ОМД. Динамические рекристаллизационные процессы.....	98
Практическое задание	100
Контрольные вопросы.....	100
8. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И УСЛОВИЙ НАГРУЖЕНИЯ НА ПРОЦЕССЫ ДЕФОРМАЦИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ	102
8.1. Гомологические температуры и напряжения.....	102
8.2. Влияние температуры на механические характеристики сплавов и развитие ПД при $T < 0,3 T_{лп}$	104
8.3. Ползучесть	104
8.3.1. Физические модели накопления деформаций при ползучести	107
8.3.2. Механизмы ползучести.....	108
8.4. Классификация сплавов по их способности сохранять прочность при повышенных температурах	111
Контрольные вопросы.....	112
9. РАЗРУШЕНИЕ	113
9.1. Общие положения теории разрушения.....	113
9.2. Механика разрушения.....	115
9.2.1. Линейная упругая механика разрушения	115
9.2.2. Критический коэффициент интенсивности напряжений.....	120
9.2.3. Стандартные методы определения K_{IC} как характеристики трещиностойкости материалов	122
9.3. Сравнительный анализ основных видов разрушений от однократных нагрузок	124
Контрольные вопросы.....	129

10. ВЯЗКО-ХРУПКИЙ ПЕРЕХОД.....	131
10.1. Основные факторы, оказывающие влияние на тип разрушения материалов	131
10.2. Определение ударной вязкости методом динамических испытаний на изгиб.....	133
10.3. Методы определения критических температур вязко-хрупкого перехода.....	135
10.3.1. Определение критических температур вязко-хрупкого перехода по температурной зависимости ударной вязкости	136
10.3.2. Фрактографические методы определения критических температур вязко-хрупкого перехода	137
10.4. Определение энергии зарождения и распространения трещины при ударных испытаниях образцов с надрезом.....	141
Практическое задание	142
Контрольные вопросы.....	143
Рекомендуемая литература.....	144