

# ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

ПРОЧНОСТЬ И РАЗРУШЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Под редакцией А. Н. Чуканова



# **ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ**

**ПРОЧНОСТЬ И РАЗРУШЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ**

**Учебник**

*Под редакцией доктора технических наук А. Н. Чуканова*

Москва    Вологда  
«Инфра-Инженерия»  
2021

УДК 621.785  
ББК 34.65  
Ф48

*Авторы:*

А. Н. Чуканов, Н. Н. Сергеев, А. Е. Гвоздев, А. Н. Сергеев, П. Н. Медведев,  
Ю. С. Дорохин, С. Н. Кутепов, А. А. Яковенко, Д. В. Малий

*Рецензенты:*

доктор технических наук, профессор  
кафедры физики *В. В. Жигунов*  
(Тульский государственный университет);  
доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой  
общетеоретических дисциплин для иностранных учащихся *И. М. Лагун*  
(Тульский государственный университет)

**Ф48 Физика конденсированного состояния. Прочность и разрушение материалов** : учебник / [А. Н. Чуканов и др.]; под ред. д. т. н. А. Н. Чуканова. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. – 260 с. : ил., табл.  
ISBN 978-5-9729-0771-7

Изложены ранние и современные представления о механизмах формирования теоретической и реальной прочности металлических материалов. Уделено внимание дислокационным моделям формирования высокопрочного состояния сплавов, показан их вклад в обеспечение эксплуатационных свойств при реализации наиболее распространённых промышленных процессов упрочнения. Выполнен подробный количественный анализ характеристик прочности и сопротивления разрушению при суперпозиции различных механизмов упрочнения, в том числе при повышенных температурах. Описана теория вязко-хрупкого перехода. Представлены количественные характеристики энергоёмкости и интенсивности напряжений при разрушении в различных условиях.

Для студентов машиностроительных и металлургических направлений подготовки. Может быть полезно работникам научных, проектных и исследовательских организаций, а также специалистам в области машиностроения и металлургии.

УДК 621.785  
ББК 34.65

ISBN 978-5-9729-0771-7

© Издательство «Инфра-Инженерия», 2021

© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2021

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>5</b>
<b>1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ И ВЫСОКОПРОЧНОЕ СОСТОЯНИЕ .....</b>	<b>6</b>
1.1. Понятие о высокопрочном состоянии .....	6
1.2. Теоретическая прочность при сдвиге .....	10
1.3. Теоретическая прочность при отрыве .....	13
1.4. Нитевидные кристаллы и их прочность .....	16
1.5. Контрольные вопросы и задания .....	20
<b>2. ТЕОРИИ УПРОЧНЕНИЯ МЕТАЛЛОВ .....</b>	<b>21</b>
2.1. Деформационное упрочнение .....	21
2.1.1. Системы скольжения в металлах .....	21
2.1.2. Факторы, определяющие сопротивление движению дислокации в монокристаллах .....	22
2.1.3. Деформационное упрочнение монокристаллов металлов и сплавов .....	31
2.1.4. Теории деформационного упрочнения .....	44
2.1.5. Пластическая деформация двойникованием .....	50
2.2. Твёрдорастворное упрочнение .....	57
2.2.1. Теории блокировки дислокаций атмосферами атомов примесей и легирующих элементов .....	58
2.2.2. Взаимодействие дислокаций с примесями в железе и стали .....	61
2.2.3. Теории упрочнения твердых растворов замещения при легировании .....	65
2.2.4. Легированный феррит .....	69
2.2.5. Легированный аустенит .....	71
2.3. Зернограничное упрочнение .....	74
2.3.1. Теория деформации поликристаллических материалов .....	74
2.3.2. Зависимость сопротивления деформации скольжением от размера зерна .....	79
2.3.3. Связь предела текучести с размером зерна при деформации двойникованием .....	90
2.3.4. Субструктурное упрочнение .....	93
2.3.5. Описание кривых «напряжение – деформация» для поликристаллов .....	96
2.3.6. Влияние размера зерна на усталость .....	103
2.3.7. Влияние размера зерна и субструктуры на ползучесть .....	105
2.4. Упрочнение и фазовые превращения .....	108
2.4.1. Мартенсит железистоуглеродистых сплавов и его сопротивление пластической деформации .....	108

2.4.2. Структура и свойства $\epsilon$ -мартенсита.....	112
2.4.3. Роль мартенсита деформации в упрочнении сталей и сплавов ....	114
2.5. Дисперсионное упрочнение .....	119
2.5.1. Основные определения и эффективность упрочнения.....	119
2.5.2. Дисперсные упрочняющие фазы .....	122
2.5.3. Механизмы упрочнения когерентными частицами .....	125
2.5.4. Механизмы упрочнения некогерентными частицами .....	130
2.5.5. Кривые «напряжение – деформация» для сплавов с когерентными и некогерентными выделениями .....	135
2.5.6. Теории деформационного упрочнения сплавов с дисперсными выделениями .....	139
2.6. Контрольные вопросы и задания .....	144
<b>3. ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ НА ПРОЧНОСТЬ И РАЗРУШЕНИЕ.....</b>	<b>149</b>
3.1. Суперпозиции механизмов упрочнения .....	149
3.2. Анализ применимости механизмов упрочнения к сталям и сплавам.....	152
3.3. Количественная оценка предела текучести.....	161
3.4. Эффективность различных механизмов упрочнения при повышенных температурах.....	169
3.5. Оценка величины равномерной деформации .....	171
3.6. Количественная оценка влияния упрочнения на изменение температуры вязко-хрупкого перехода феррито-перлитной стали .....	174
3.7. Контрольные вопросы и задания .....	180
<b>4. РАЗРУШЕНИЕ МЕТАЛЛОВ.....</b>	<b>182</b>
4.1. Условия зарождения трещины .....	184
4.2. Дислокационные модели зарождения микротрещин .....	188
4.3. Рост трещин .....	192
4.4. Теория вязко-хрупкого перехода .....	198
4.5. Коэффициент интенсивности напряжений – критерий энергоемкости хрупкого и вязкого разрушения .....	203
4.6. Связь $K_{Ic}$ с механизмами распространения трещины.....	209
4.7. Разрушение упорядоченных сплавов .....	224
4.8. Междеренное разрушение при высоких температурах.....	227
4.9. Разрушение при усталости .....	229
4.10. Контрольные вопросы и задания .....	235
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>238</b>