

**ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО
СОСТОЯНИЯ.
ДЕФЕКТЫ СТРОЕНИЯ В МЕТАЛЛАХ**



«Инфра-Инженерия»

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

ДЕФЕКТЫ СТРОЕНИЯ В МЕТАЛЛАХ

Учебник

Под редакцией д-ра техн. наук А. Н. Чуканова

Москва Вологда
«Инфра-Инженерия»
2021

УДК 621.7
ББК 34.5
Ф48

А в т о р ы :

*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*

Р е ц е н з е н т ы :

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

Ф48 Физика конденсированного состояния. Дефекты строения в металлах : учебник / [А. Н. Чуканов и др.] ; под ред. д-ра техн. наук А. Н. Чуканова. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. – 300 с. ISBN 978-5-9729-0703-8

Представлено описание современных представлений о дефектах кристаллической структуры, существенно влияющих на прочность и пластичность твердых тел. Дана краткая историография науки о прочности и пластичности. Описана роль внутреннего строения (типа кристаллической решетки, характера межатомного взаимодействия) в формировании прочности кристаллических твердых тел. Рассматриваются геометрические и энергетические характеристики, атомная структура точечных, линейных, поверхностных и объемных дефектов кристаллического строения.

Для студентов машиностроительных направлений подготовки. Может быть полезно научно-исследовательским работникам, а также сотрудникам металлургической отрасли и проектных организаций.

УДК 621.7
ББК 34.5

ISBN 978-5-9729-0703-8

© Издательство «Инфра-Инженерия», 2021

© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2021

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1. КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ТОЧЕЧНЫЕ ДЕФЕКТЫ.....	9
1.1. Кристаллографическая структура и прочность материалов	9
1.1.1. Основные исторические этапы формирования представлений о прочности и пластичности	9
1.1.2. Понятия прочности и пластичности	12
1.1.3. Работоспособность материала в конструкции. Основные свойства конструкционных материалов	17
1.1.4. Конструктивная прочность и ее критерии	17
1.1.5. Методы повышения конструктивной прочности	19
1.1.6. Типы межатомных связей в твердых телах	20
1.1.7. Кристаллическая структура металлов	23
1.1.8. Контрольные вопросы и задания	26
1.2. Точечные дефекты и их комплексы.....	28
1.2.1. Типы точечных дефектов.....	30
1.2.2. Искажения кристаллической решетки вокруг точечных дефектов	33
1.2.3. Термодинамика точечных дефектов.....	35
1.2.4. Миграция вакансий и вакансионных комплексов.....	37
1.2.5. Распределение и миграция междоузельных атомов и их комплексов	42
1.2.6. Комплексы примесных атомов с вакансией и междоузлем и их миграция	47
1.2.7. Способы введения неравновесной концентрации точечных дефектов	51
1.2.8. Определение концентрации вакансий и энергии и их образования.....	54
1.2.9. Отжиг точечных дефектов в облученных металлах	58
1.2.10. Контрольные вопросы и задания	62
1.3. Темы докладов для семинарских занятий.....	64
2. ЛИНЕЙНЫЕ ДЕФЕКТЫ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ	66
2.1. Кристаллография пластической деформации.....	66
2.1.1. Теоретическая прочность на сдвиг	73
2.2. Основные типы дислокации, их свойства и методы наблюдения.....	76
2.2.1. Контур и вектор Бюргерса.....	85
2.2.2. Экспериментальные наблюдения дислокаций	88

2.2.3. Плотность дислокаций	95
2.2.4. Контрольные вопросы и задания	96
2.3. Упругие свойства и взаимодействие дислокаций	100
2.3.1. Напряженное состояние вокруг дислокации	100
2.3.2. Энергия дислокаций	104
2.3.3. Силы, действующие на дислокацию	106
2.3.4. Упругое взаимодействие между дислокациями	110
2.3.5. Взаимодействие дислокаций с точечными дефектами	114
2.3.6. Контрольные вопросы и задания	122
2.4. Дислокации в металлах с различной кристаллической структурой ...	126
2.4.1. Полные и частичные дислокации	126
2.4.2. Частичные дислокации как границы дефектов упаковки	127
2.4.3. Условия дислокационных реакций	134
2.4.4. Типичные дислокации в кристаллах с ГЦК-решеткой	135
2.4.5. Типичные дислокации в ГПУ-кристаллах	145
2.4.6. Типичные дислокации в ОЦК-кристаллах	149
2.4.7. Контрольные вопросы и задания	157
2.5. Дисклинации	161
2.5.1. Дисклинации в непрерывной упругой среде	161
2.5.2. Дисклинации в кристаллической решетке	164
2.5.3. Контрольные вопросы и задания	168
2.6. Темы докладов для семинарских занятий	169

3. ПОВЕРХНОСТНЫЕ И ОБЪЁМНЫЕ ДЕФЕКТЫ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ 170

3.1. Типы и строение поверхностных дефектов в металлах	170
3.1.1. Типы поверхностных дефектов кристаллического строения	170
3.1.2. Геометрия границ и субграниц	171
3.1.3. Основные типы дислокационных границ	176
3.1.3.1. Наклонные дислокационные границы	177
3.1.3.2. Границы кручения	180
3.1.3.3. Дислокационные стенки	181
3.1.3.4. Двойниковые границы	182
3.1.3.5. Антифазные границы в упорядоченных сплавах	184
3.1.4. Движение дислокационных границ зерен	185
3.1.5. Специальные и произвольные границы	186
3.1.6. Зернограничные дислокации	190
3.1.7. Поверхности между фазами	196
3.1.8. Энергия дислокационных границ зерен	197
3.1.9. Контрольные вопросы и задания	200

3.2. Природа и морфология объёмных дефектов в твёрдых телах	203
3.2.1. Поры как фазово-структурные неоднородности твердого тела ...	204
3.2.2. Морфологические характеристики пор.....	209
3.2.2.1. Типы пор и модели пористых систем	209
3.2.2.2. Факторы, определяющие форму пор.....	210
3.2.2.3. Распределения и классификации пор по размерам.....	218
3.2.3. Фазовые состояния и принципы термодинамики пористых систем.....	223
3.2.4. Контрольные вопросы и задания	224
3.3. Влияние пористости на свойства твёрдых тел	225
3.3.1. Влияние пористости на физико-механические свойства	225
3.3.1.1. Роль пор при сверхпластическом течении (СПТ) материалов	232
3.3.1.2. Влияние залечивания микронесплошностей на долговечность и модуль упругости материалов	234
3.3.2. Пористость и физико-химические свойства	239
3.3.2.1. Роль пор в процессах сорбции и катализа	239
3.4. Деформационная повреждаемость и кинетика разрушения	241
3.4.1. Классификация деформационных микронесплошностей	241
3.4.2. Зародышевые микронесплошности	243
3.4.3. Общие представления о влиянии несплошностей на кинетику разрушения.....	253
3.4.4. Распределение несплошностей по размерам и их вклад в деформационное разуплотнение.....	257
3.4.5. Кинетика накопления и развития несплошностей при разрушении в области умеренных температур.....	261
3.4.5.1. Вязкое состояние	261
3.4.5.2. Квазихрупкое состояние	267
3.4.5.3. Стадийность и механизмы микроразрушения.....	270
3.4.6. Контрольные вопросы и задания	278
ЛИТЕРАТУРА.....	280