

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Амурский государственный университет»
(ГОУВПО «АмГУ»)

Физика пластичности и прочности

**Учебно-методический комплекс дисциплины
по направлению подготовки
010600.68 – «Прикладные математика и физика»**

Утвержден на заседании кафедры теоретической и
экспериментальной физики инженерно-физического факультета

«__» _____ 20__ г.,
(протокол № __ от «__» _____ 20__ г.)

Зав. кафедрой

_____ Е.А. Ванина

Печатается по решению
редакционно-издательского совета
инженерно-физического факультета
Амурского государственного
университета

Ульянычева В.Ф.

Учебно-методический комплекс по дисциплине «Физика пластичности и прочности» для направления подготовки 010600.68 «Прикладные математика и физика». – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2011.

Учебно-методические рекомендации ориентированы на оказание помощи магистрантам очной формы обучения по направлению подготовки 010600.68 «Прикладные математика и физика» для формирования знаний по основам физики пластичности и прочности.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Цели и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе	4
2. Содержание дисциплины	5
3. Темы лекций	8
4. Самостоятельная работа	9
5. Экзаменационные вопросы	10
6. Экзаменационные билеты	12
7. Критерии оценки знаний	14
8. Необходимое техническое и программное обеспечение	15
9. Виды контроля	15
10. Учебно-методические материалы	16
11. Курс лекций по дисциплине (электронный ресурс)	17

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ, ЕЕ МЕСТО В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

Целью курса является изучение основ теории дислокаций, физики пластичности и прочности монокристаллов и поликристаллов чистых металлов, твердых растворов высокопрочных гетерофазных сплавов.

Преподавание курса связано с другими курсами государственного образовательного стандарта: высшая математика, физика конденсированного состояния, квантовая механика, кристаллография и физика кристаллов, основы рентгеноструктурного анализа и др.

В результате освоения дисциплины магистранты должны знать:

- основные понятия, характеристики теории дислокаций и физики пластичности и прочности;
- элементарную теорию дислокаций;
- общие закономерности пластического течения в твердых телах;
- физическую природу критического напряжения сдвига;
- теории деформационного упрочнения монокристаллов и поликристаллов;
- основные модели упрочнения при скольжении в чистых металлах, твердых растворах;
- особенности термически-активируемого движения дислокаций и макроскопического течения;
- особенности и закономерности движения дислокаций в интерметаллидах;
- дислокационные модели и теорию дисперсного упрочнения гетерофазных в высокопрочных сплавах;
- основные направления создания высокопрочных материалов;

уметь:

- анализировать связи между структурными особенностями и составом с механической прочностью и пластичностью материалов;
- самостоятельно ориентироваться в тематике научной литературы по общим вопросам физики пластичности и прочности;
- самостоятельно анализировать общие проблемы физического материаловедения.

2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

ЛЕКЦИОННЫЙ КУРС (11 семестр, 54 часа)

1. Введение.

Теоретическая прочность кристаллов на сдвиг. Атомная модель сдвига по Френкелю.

Характеристика скольжения в реальных кристаллах. Закон Шмида-Боаса. Соотношение между теоретической и экспериментально наблюдаемой прочностью на сдвиг.

2. Геометрия дислокаций. Упругие свойства дислокаций в изотропной непрерывной среде.

Понятие трансляционной дислокации. Вектор Бюргерса. Типы дислокаций. Контур Бюргерса. Общее определение дислокации. Ядро дислокации. Непрерывность дислокаций в кристаллах. Дислокационные узлы и закон Кирхгофа для векторов Бюргерса. Правило знаков вектора Бюргерса.

Теория прямолинейных дислокаций. Упругая модель дислокации. Уравнение равновесия твердого тела с дислокацией. Винтовая дислокация. Поле напряжений и смещений винтовой дислокации в бесконечной сплошной среде. Условия на поверхности. Винтовая коаксиальная дислокация в цилиндре. Силы изображения для винтовых дислокаций. Краевая дислокация. Уравнение равновесия и поле напряжений краевой дислокации. Силы изображения для краевых дислокаций. Энергия упругой деформации среды с дислокацией. Собственная упругая энергия винтовой и краевой дислокации. Оценка энергии ядра дислокаций. Свободная энергия твердого тела с дислокацией и их термодинамическая стабильность.

3. Силы, действующие на дислокацию. Взаимодействие дислокаций.

Внутренние и внешние напряжения в упруго-изотропном твердом теле. Теорема Колонетти. Сила, действующая на дислокацию. Энергия и сила между параллельными прямолинейными дислокациями. Прямолинейная смещенная дислокация. Дислокационные диполи. Общий случай трансляционных дислокаций. Понятие линейного натяжения дислокаций. Зависимость линейного натяжения от ориентации дислокации.

4. Движение дислокаций. Влияние периодичности кристаллической решетки.

Консервативное и неконсервативное движение дислокаций. Равномерное движение винтовой дислокации. Масса дислокации. Эффекты, обусловленные ускоренным движением дислокаций. Дислокационная модель Пайерлса-Набарро. Атомные смещения и энергия несовпадения в модели Пайерлса. Соппротивление решетки движению дислокаций (силы Пайерлса).

5. Характерные (устойчивые) дислокации в кристаллах.

Полные, единичные и кратные дислокации. Частичные (неполные) дислокации.

Понятие дислокационной реакции. Дефекты упаковки в плотноупакованных кристаллах. Дислокационная реакция Хайденрейха-Шокли и ГЦК кристалле. Частичная дислокация Шокли. Расщепление дислокаций. Дислокация Франка. Дислокационные реакции Ломера-Коттрелла и Хирта в ГЦК кристаллах. Вершинные (угловые) дислокации. Дислокационные барьеры.

Символика Томпсона. Тетраэдр и треугольник Томпсона. Дислокационные реакции в символической нотации Томпсона. Дефекты упаковки в ГЦК кристаллах. Частичные дислокации в ОЦК кристаллах. Особенности диссоциации винтовых дислокаций в ОЦК решетке. Сидячие конфигурации винтовых дислокаций. Раскалывающие дислокации и дислокационные барьеры в ОЦК решетке. Реакции между дислокациями в ГПУ в решетке.

6. Подвижность дислокаций.

Динамика дислокаций. Движущая винтовая дислокация. Поле смещений, поле напряжений и энергия движущейся винтовой дислокации. Эффектная масса дислокации.

7. Генерация и пересечение дислокаций.

Механизмы генерации дислокаций. Источник Франка-Рида. Механизм двойного поперечного скольжения. Критическое напряжение источника Франка-Рида. Пересечение полных дислокаций. Образование уступов, перегибов и рекомбинированных сегментов дислокаций при пересечении. Понятие леса дислокаций. Анализ Хирта пересечения дислокаций. Движение дислокации с уступом. Образование точечных дефектов при движении уступов на дислокациях.

8. Системы дислокаций.

Плотность дислокаций. Тензор плотности дислокаций. Плоские скопления дислокаций. Субзеренные границы. Высокоугловые границы. Решетки совпадающих узлов. Понятие специальной границы. Границы общего типа. Зернограничные дислокации.

9. Общие закономерности пластического течения в кристаллах.

Кристаллографическая природа скольжения. Системы скольжения в кристаллах. Приведенные касательные напряжения. Кривые течения монокристаллов. Первичная и скрытые системы скольжения. Анализ касательных напряжений в открытых системах. Влияние ориентации кристалла.

10. Физическая природа критического скалывающего напряжения.

Дислокационная структура исходного кристалла. Реализация макроскопического сдвига движением и размножением дислокаций. Напряжение Пайерлса. Генерация дислокаций.

Источники Франка-Рида и механизм двойного поперечного скольжения. Дислокационная решетка Тэйлора. Лес дислокаций. Взаимодействие пробной дислокации с дислокационной решеткой Тэйлора и лесом дислокаций. Давнодействующее и короткодействующее взаимодействие дислокаций.

11. Теория деформационного упрочнения монокристаллов.

Три стадии скольжения в кубических кристаллах. Общие закономерности пластического течения на 1 стадии. Дислокационная модель скольжения на этой стадии. Влияние ориентации кристалла. Феноменологическая теория упрочнения на 1 стадии упрочнения. Взаимодействие дислокаций различных систем скольжения. Дислокационные барьеры.

Дислокационные скопления. Модель непрерывного распределения дислокаций в плоском скоплении. Поле напряжений плоского скопления дислокаций. 2-я стадия скольжения. Дислокационные модели и теория упрочнения в полях далекодействующих внутренних напряжений. Факты нарушения подобия дислокационных структур при деформации.

Клубки и сплетения дислокаций. Барьерный эффект. Ячеистая дислокационная структура. Теория упрочнения в моделях близкодействующего взаимодействия дислокаций. Модель композита. Дальнодействующие внутренние напряжения в объеме и стенках ячеек. Коллективные эффекты в дислокационных ансамблях. Разориентированные ячеистые структуры. Полосовые структуры. Фрагментация кристаллов. Ротационные моды деформации. Носители ротационной пластичности.

Понятие дисклинации. Частичные дисклинации. Поле напряжений и энергия клиновой дисклинации. Дисклинационные диполи. Явление динамического дислокационного возврата. 3-я стадия скольжения.

12. Термически-активируемое движение дислокаций.

Термическая и атермическая компоненты напряжения течения.

Термическая активация движения дислокаций в поле локальных препятствий. Скорость активируемого движения дислокаций. Энергия и объем активации. Термически-активируемое движение дислокаций в потенциале Пайерлса. Модель Дорна-Рейнака. Энергия и объем активации движения дислокации в модели Рейнака. Термически-активируемое движение дислокаций и макроскопическое течение в кристаллах. Диффузионное переползание дислокаций. Особенности термически-активируемого течения в ковалентных кристаллах; металлических кристаллах с ОЦК и ГЦК решетками.

13. Структура и движение дислокаций в твердых растворах и интерметаллидах.

Взаимодействие дислокаций с растворенными атомами. Теория упрочнения твердых растворов. Примесные сегрегации на дислокациях.

Сегрегации (атмосферы) Коттрелла и Сузуки.

Сверхдислокации в упорядоченных структурах и интерметаллидах.

Сверхдислокации в В2 интерметаллидах. Структура сверхдислокаций в интерметаллидах типа $L1_2$. Плоское и объемное расщепление дислокаций в сверхструктуре $L1_2$. Механизмы самозакрепления сверхдислокаций Флинна, Кира, Витека. Аномальная температурная зависимость сопротивления движению дислокаций в сверхструктурах.

14. Дислокационные модели и теория дисперсного упрочнения в гетерофазных сплавах.

Дислокационные модели взаимодействия дислокаций с частицами атомно-упорядоченных фаз. Механизм Хэма и теория предела текучести в сплавах с атомно-упорядоченной фазой. Поле напряжений сферического включения. Упругое взаимодействие дислокаций с частицами вторичных фаз. Дислокационная модель Герольда-Хаберкорна и теория предела текучести в сплавах с упругими включениями вторичных фаз.

Сгибание дислокациями включений вторичных фаз. Механизм Орована. Теория предела текучести сплавов с частицами некогерентных фаз.

Дислокационные кольца Орована. Особенности упрочнения гетерофазных сплавов. Нерелаксированные состояния. Релаксация локальных напряжений в гетерофазных сплавах. Призматическое скольжение на частицах вторичных фаз. Геометрически необходимые деформации. Дислокационная модель Эшби. Теория упрочнения в модели локального призматического скольжения на частицах вторичных фаз.

Основные направления создания современных высокопрочных материалов.

3. ТЕМЫ ЛЕКЦИЙ (54 часа)

1. Введение. Теоретическая прочность кристаллов на сдвиг. 2 ч.
2. Геометрия дислокаций. Вектор Бюргерса. Типы дислокаций. Контур Бюргерса. Типы дислокаций. 2 ч.
3. Теория прямолинейных дислокаций. Упругая модель дислокации. Винтовая и краевая дислокации. 2 ч.
4. Собственная упругая энергия винтовой и краевой дислокации. Оценка энергии ядра дислокаций. Свободная энергия твердого тела с дислокацией и их термодинамическая стабильность. 2 ч.
5. Силы, действующие на дислокацию. Взаимодействие дислокаций. 4 ч.
6. Движение дислокаций. Влияние периодичности кристаллической решетки. 4 ч.
7. Характерные (устойчивые) дислокации в кристаллах. 4 ч.

8. Подвижность дислокаций.	2 ч.
9. Генерация и пересечение дислокаций.	4 ч.
10. Системы дислокаций.	2 ч.
11. Общие закономерности пластичного течения в кристаллах.	2 ч.
12. Физическая природа критического скалывающего напряжения.	4 ч.
13. Теория деформационного упрочнения монокристаллов.	4 ч.
14. Термически-активируемое движение дислокаций.	4 ч.
15. Структура и движение дислокаций в твердых растворах и интерметаллидах.	6 ч.
16. Дислокационные модели и теория дисперсного упрочнения в гетерофазных сплавах.	6 ч.

4. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА (66 часов)

В качестве самостоятельной работы по дисциплине предлагается изучить следующие вопросы:

1. Движение дислокаций. Влияние периодичности кристаллической решетки.

Консервативное и неконсервативное движение дислокаций. Равномерное движение винтовой дислокации. Масса дислокации. Эффекты, обусловленные ускоренным движением дислокаций. Дислокационная модель Пайерлса-Набарро. Атомные смещения и энергия несовпадения в модели Пайерлса. Сопротивление решетки движению дислокаций (силы Пайерлса).

2. Подвижность дислокаций.

Динамика дислокаций. Движущая винтовая дислокация. Поле смещений, поле напряжений и энергия движущейся винтовой дислокации. Эффектная масса дислокации.

3. Генерация и пересечение дислокаций.

Механизмы генерации дислокаций. Источник Франка-Рида. Механизм двойного поперечного скольжения. Критическое напряжение источника Франка-Рида. Пересечение полных дислокаций. Образование уступов, перегибов и рекомбинированных сегментов дислокаций при пересечении. Понятие леса дислокаций. Анализ Хирта пересечения дислокаций. Движение дислокации с уступом. Образование точечных дефектов при движении уступов на дислокациях.

5. ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ

1. Кристаллографическая природа пластической деформации. Системы скольжения. Ориентация кристаллов.
2. Критическое приведенное напряжение сдвига при скольжении. Закон Шмида-Боаса.
3. Определение сдвиговой деформации. Кривые напряжение-деформация.
4. Гранецентрированные кубические кристаллы. Геометрическое рассмотрение. Кривые течения монокристаллов.
5. Теоретическая прочность кристалла на сдвиг. Свойства дислокаций (краевая, винтовая). Вектор Бюргера.
6. Силы, действующие на дислокацию. Напряжение движения дислокации.
7. Размножение дислокаций. Источник Франка-Рида.
8. Поле напряжений винтовой, краевой дислокаций.
9. Собственная упругая энергия винтовой и краевой дислокаций. Линейное натяжение дислокаций.
10. Силы взаимодействия дислокаций.
11. Расщепление дислокаций. Полные, частичные дислокации. Дислокационные упаковки. Символика Томпсона.
12. Сидячие дислокации. Дислокации Франка. Дислокационные реакции Ломера-Коттрела.
13. Деформация кристаллов с ГЦК решеткой. Общие закономерности на I стадии. Теория упрочнения на I стадии.
14. II стадия упрочнения. Дислокационные модели и теории упрочнения на II стадии.
15. III стадия упрочнения. Общие закономерности теории упрочнения.
16. Твердые растворы. Взаимодействие дислокаций с растворенными атомами. Упругое взаимодействие.
17. Взаимодействие вследствие различия модулей упругости. Электрическое взаимодействие. Химическое взаимодействие. Экспериментальное подтверждение взаимодействия дислокаций с атомами растворенного вещества.
18. Системы дислокаций. Зернограничные дислокации.
19. Общие закономерности пластического течения в кристаллах.
20. Физическая природа критического напряжения сдвига.
21. Термическая и атермическая компоненты напряжения течения. Скорость активируемого движения дислокаций.
22. Диффузионное переползание дислокаций. Особенности термически активируемого течения в ковалентных кристаллах, металлах, СОЦК и ГЦК решеткой.
23. Теория упрочнения твердых растворов.
24. Сверхдислокации в упорядоченных и неупорядоченных структурах и интерметаллидах.

25. Дислокационные модели взаимодействия дислокаций с частицами атомно-упорядоченных фаз.

26. Дислокационная модель Герольда-Хаберкорна и теория предела текучести в сплавах с упругими включениями.

27. Дислокационные модели в гетерофазных сплавах с некогерентными частицами. Модели Орована, Брауна.

28. Геометрически – необходимые дислокации. Дислокационная модель Эшби.

29. Теория упрочнения и модели локального призматического скольжения.

30. Основные направления создания современных высокопрочных материалов.

6. ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ БИЛЕТЫ

БИЛЕТ № 1

1. Кристаллографическая природа пластической деформации. Системы скольжения. Ориентация кристаллов.
2. Расщепление дислокаций. Полные, частичные дислокации. Дислокационные упаковки. Символика Томпсона.

БИЛЕТ № 2

1. Критическое приведенное напряжение сдвига при скольжении. Закон Шмида-Боаса.
2. Сидячие дислокации. Дислокации Франка. Дислокационные реакции Ломера-Коттрела.

БИЛЕТ № 3

1. Определение сдвиговой деформации. Кривые напряжение-деформация.
2. Деформация кристаллов с ГЦК решеткой. Общие закономерности на I стадии. Теория упрочнения на I стадии.

БИЛЕТ № 4

1. Гранецентрированные кубические кристаллы. Геометрическое рассмотрение. Кривые течения монокристаллов.
2. II стадия упрочнения. Дислокационные модели и теории упрочнения на I стадии.

БИЛЕТ № 5

1. Теоретическая прочность кристалла на сдвиг. Свойства дислокаций (краевая, винтовая). Вектор Бюргерса.
2. III стадия упрочнения. Общие закономерности теории упрочнения.

БИЛЕТ № 6

1. Силы, действующие на дислокацию. Напряжение движения дислокации.
2. Твердые растворы. Взаимодействие дислокаций с растворенными атомами. Упругое взаимодействие.

БИЛЕТ № 7

1. Размножение дислокаций. Источник Франка-Рида.
2. Взаимодействие вследствие различия модулей упругости. Электрическое взаимодействие. Химическое взаимодействие. Экспериментальное подтверждение взаимодействия дислокаций с атомами растворенного вещества.

1
БИЛЕТ № 8

1. Поле напряжений винтовой, краевой дислокаций.
2. Системы дислокаций. Зернограничные дислокации.

БИЛЕТ № 9

1. Собственная упругая энергия винтовой и краевой дислокаций. Линейное напряжение дислокаций.
2. Общие закономерности пластического течения в кристаллах.

БИЛЕТ № 10

1. Силы взаимодействия дислокаций.
2. Физическая природа критического напряжения сдвига.

БИЛЕТ № 11

1. Термическая и атермическая компоненты напряжения течения. Скорость активируемого движения дислокаций.
2. Основные направления создания современных высокопрочных материалов.

БИЛЕТ № 12

1. Диффузионное переползание дислокаций. Особенности термически активируемого течения в ковалентных кристаллах, металлах, с ОЦК и ГЦК решеткой.
2. Теория упрочнения и модели локального призматического скольжения.

БИЛЕТ № 13

1. Теория упрочнения твердых растворов.
2. Геометрически – необходимые дислокации. Дислокационная модель Эшби.

БИЛЕТ № 14

1. Сверхдислокации в упорядоченных и неупорядоченных структурах и интерметаллидах.
2. Дислокационные модели в геторофазных сплавах с некогерентных частицами. Модель Орована, Брауна.

БИЛЕТ № 15

1. Дислокационные модели взаимодействия дислокаций с частицами атомно-упорядоченных фаз.
2. Дислокационная модель Герольда-Хаберкорна и теория предела в сплавах с упругими включениями.

7. КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ

При определении оценки знаний магистрантов на экзамене преподаватель руководствуется следующими критериями:

Оценка	Полнота, системность, прочность знаний	Обобщенность знаний
Отлично	Изложение полученных знаний в устной, письменной или графической форме, полное, в системе, в соответствии с требованиями учебной программы; допускаются единичные несущественные ошибки, самостоятельно исправляемые студентами.	Выделение существенных признаков изученного с помощью операций анализа и синтеза; выявление причинно-следственных связей; формулировка выводов и обобщений; свободное оперирование известными фактами и сведениями с использованием сведений из других предметов.
Хорошо	Изложение полученных знаний в устной, письменной и графической форме, полное, в системе, в соответствии с требованиями учебной программы; допускаются отдельные несущественные ошибки, исправляемые студентами после указания преподавателя на них.	Выделение существенных признаков изученного с помощью операций анализа и синтеза; выявлений причинно-следственных связей; формулировка выводов и обобщений, в которых могут быть отдельные несущественные ошибки; подтверждение изученного известными фактами и сведениями.
Удовлетворительно	Изложение полученных знаний неполное, однако, это не препятствует усвоению последующего программного материала; допускаются отдельные существенные ошибки, исправление с помощью преподавателя.	Затруднения при выполнении существенных признаков изученного, при выявлении причинно-следственных связей и формулировке выводов.
Неудовлетворительно	Изложение учебного материала неполное, бессистемное, что препятствует усвоению последующей учебной информации; существенные ошибки, неисправляемые даже с помощью преподавателя.	Бессистемное выделение случайных признаков изученного; неумение производить простейшие операции анализа и синтеза; делать обобщения, выводы.

8. НЕОБХОДИМОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Лекции проводятся в стандартной аудитории, оснащенной в соответствии с требованиями преподавания теоретических дисциплин, включая мультимедиа проектор.

9. ВИДЫ КОНТРОЛЯ

Текущий контроль за аудиторной и самостоятельной работой обучаемых осуществляется во время проведения лекционных занятий посредством устного опроса по контрольным вопросам соответствующего раздела. Промежуточный контроль осуществляется два раза в семестр в виде анализа итоговых отчетов на аттестационные вопросы. Итоговый контроль осуществляется после успешного прохождения магистрантами текущего и промежуточного контроля в виде экзамена.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Головин С.А. Физика прочности и пластичности. Тула. Изд-во ТулГУ, 2006.
2. Победря Б.Е., Георгиевский Д.В. Основы механики сплошной среды. Курс лекций. – М.: Физматлит, 2006.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Дж. Кристиан. Теория превращений в металлах и сплавах. – М.: Мир, 1978.
2. А.М. Косевич. Физическая механика реальных кристаллов. – К.: Наукова Думка, 1981.
3. А.А. Предводителев, О.А. Троицкий. Дислокации и точечные дефекты в гексагональных металлах. – М.: Атомиздат, 1973.
4. И.И. Новиков, К.М. Розин. Кристаллография и дефекты кристаллической решетки.
5. А. Келли, Г. Гровз. Кристаллография и дефекты в кристаллах. – М.: Мир, 1974.
6. Т. Рид. Дислокации в кристаллах. – М.: Металлургия, 1967.
7. Физика прочности и пластичности. Пер. с англ. под ред. Гордиенко Л.К. – М.: Металлургия, 1972.
8. Физическое металловедение. Пер.с англ. под ред. Абрамова О.В., Копецкого Ч.В., Серебрякова А.В.Т.З. – М.: Металлургия, 1987.
9. Хирт Дж., Лоте И. Теория дислокаций. – М.: Атомиздат, 1972.
10. Набарро Ф.Р.Н., Базинский З.С., Холт Д.Б. Пластичность чистых монокристаллов. – М.: Металлургия, 1967.
11. Бернер Р., Кронмюллер Т. Пластическая деформация монокристаллов. – М.: Металлургия, 1969.
12. Фридель Ж. Дислокации. – М.: Мир, 1967.
13. Р. Хоникомб. Пластическая деформация металлов. – М.: Мир, 1972.