

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО
решением Ученого совета ННГУ
протокол № 10 от 02.12.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Физические основы прочности и пластичности

Уровень высшего образования
Бакалавриат

Направление подготовки / специальность
03.03.02 - Физика

Направленность образовательной программы
Физика конденсированного состояния

Форма обучения
очная

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.1.18 Физические основы прочности и пластичности относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-3: Способен проводить научные исследования с помощью современной приборной базы, сложного физического оборудования и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта	ИД ПК-3: Демонстрация способности проводить научные исследования с помощью современной приборной базы, сложного физического оборудования и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта	ИД ПК-3: Знать: З1: Основные разделы физики прочности и пластичности, используемые для решения практических задач, в том числе: - теорию дислокаций и дисклинаций; - физику границ зёрен; - механизмы пластической деформации и разрушения твёрдых тел; - физические модели эволюции структуры материалов в ходе пластического деформирования и реологии пластического течения материалов; - структурные уровни деформации и разрушения твёрдых тел; - механизмы зарождения микротрещин и закономерности разрушения кристаллических твёрдых тел. Уметь У1: Решать практические задачи, связанные с расчетом параметров структуры кристаллических твёрдых тел, необходимых для обеспечения заданного уровня их прочностных и пластических свойств	Задачи Собеседование Допуск к лабораторной работе	Экзамен: Контрольные вопросы Задачи Отчет по лабораторным работам

		<p><i>У2: Решать практические задачи, связанные с управлением механическими свойствами путём целенаправленного изменения структуры твёрдых тел на основании анализа результатов экспериментальных исследований;</i></p> <p><i>У3: Обосновывать выбор оптимальных условий проведения экспериментальных исследований, направленных на изучение сложных физических явлений (большие пластические деформации, структурная сверхпластичность, разрушение) в области физики прочности и пластичности.</i></p> <p><i>Владеть:</i></p> <p><i>В1: Навыками решения задач (проведения расчетов) оптимальных параметров структуры металлических материалов для достижения необходимого комплекса прочностных и пластических свойств.</i></p> <p><i>В2: Навыками исследования сложных физических процессов (структурообразование, ротационные моды пластичности, деформационно-стимулированных фазовых превращений) с использованием взаимно дополняющих методик.</i></p> <p><i>В3: Навыками физического анализа результатов экспериментальных исследований и их интерпретации с использованием профессиональных знаний в соответствующих областях физики пластической деформации и разрушения твёрдых тел.</i></p>		
--	--	---	--	--

--	--	--	--	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	5
Часов по учебному плану	180
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	64
- КСР	2
самостоятельная работа	46
Промежуточная аттестация	36 Экзамен

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	
Теория дислокаций.	34	8	10	18	16
2. Основы теории дисклинаций.	0	4	8	0	6
Структура и свойства границ зёрен.	0	4	8	0	6
Физические модели пластической деформации и разрушения материалов.	0	4	8	0	6
Теория дислокаций	0	4	8	0	6
Основы теории дисклинаций	34	6	18	24	10
Структура и свойства границ зёрен	28	6	16	22	6
Физические модели пластической деформации и разрушения материалов	46	12	20	32	14
Аттестация	36				
КСР	2			2	
Итого	180	32	64	98	46

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Теория дислокаций

1.1. Представление о дислокациях. Исторический экскурс. Теоретическая и реальная прочность на сдвиг. Геометрия и классификация дислокаций.

1.2. Поля от дислокаций.

- Поля деформаций и напряжений от прямолинейных дислокаций.
- Расчет в линейной теории упругости.
- Особенности полей напряжений для краевой и винтовой дислокаций.

1.3. Энергия дислокаций.

- Расчет энергии прямолинейной краевой и винтовой дислокаций.
- Упругая энергия и энергия ядра дислокаций.
- Понятие об энергии линейного натяжения.

1.4. Силы, действующие на дислокации.

- Силы, действующие на дислокацию во внешнем поле напряжений.
- Формула Пича-Кёллера.
- Примеры расчета сил, действующих на краевую и винтовую дислокации.
- Силы изображения.
- Силы взаимодействия между дислокациями.
- Силы линейного натяжения.
- Осмотические силы.

1.5. Влияние кристаллической структуры на свойства дислокаций. Дислокации

- Модель Пайерлса-Набарро.
- Энергия несоответствия..Рельеф Пайерлса.
- Критическое напряжения срабатывания дислокации в модели Пайерлса, влияние ширины ядра дислокации и типа межатомных связей на напряжение Пайерлса.

1.6. Тонкая структура ядра дислокации.

- Перегибы и ступеньки на дислокациях. Энергия образования единичного и двойного перегибов. Вторичный рельеф Пайерлса.
- Равновесная концентрация перегибов.
- Термоактивированное движение дислокаций в модели перегибов.
- Зависимость скорости движения дислокации от внешнего напряжения в модели перегибов.

1.7. Кинетические свойства дислокаций.

- Генерация дислокаций. Размножение дислокаций по механизму Франка-Рида. Критическое напряжение срабатывания источника Франка-Рида. Поперечное и двойное поперечное скольжение винтовых дислокаций. Формула Видерзихе для частоты образования источников дислокаций по механизму двойного поперечного скольжения.
- Движение дислокаций со ступеньками. Образование ступенек на дислокациях в процессе пластической деформации. Неконсервативное движение винтовой дислокации, содержащей межузельные или вакансионные ступеньки. Реакции между перегибами и ступеньками на винтовой дислокации. Термоактивированный и силовой режимы движения.

1.8. Неконсервативное движение краевых дислокаций.

- Понятие о переползании краевых дислокаций.
- Осмотические силы, действующие на дислокации со стороны точечных дефектов.
- Расчет скорости переползания дислокаций в полях внешних и внутренних напряжений.
- Образование геликоидальных дислокаций.

1.9. Частичные дислокации и дефекты упаковки.

- Дефекты упаковки и частичные дислокации в ГЦК решетке. Частичные дислокации Шокли и Франка. Понятие о тетраэдре Томпсона. Реакции между полными и /или частичными дислокациями. Критерий Франка и его применение для анализа дислокационных реакций. Барьерные дислокации Ломерра-Коттрелла и Хирта.

- Дефекты упаковки и частичные дислокации в ОЦК решетке. Особенности расщепления винтовых дислокаций в ОЦК решетке. Особенности деформации в ОЦК кристаллах при низких температурах.
- 1.10. Пластическая деформация как результат движения дислокаций.
- Формула Орована и ее применение для описания пластической деформации.
- Факторы, влияющие на скорость и длину пробега дислокаций.
- Кинетические уравнения баланса для плотности дислокаций.
- Взаимодействие дислокаций с примесными атомами .
- Формирование атмосферы Максвелла вблизи краевой дислокации.
- Закрепление дислокаций примесными атомами (атмосферы Коттрелла и Судзуки).
- Движение дислокаций с атмосферой примеси. Отрыв дислокаций от примесного облака и связанная с этим нестабильность пластического течения.
- Торможение дислокаций примесными атомами в ОЦК решетке по механизму Снука.
- Торможение расщепленных дислокаций атмосферой Сузуки.
- Движение дислокаций в кристалле с закрепленными примесными атомами.

2. Основы теории дисклинаций.

- 2.1. Понятие о дисклинациях. Кристаллогеометрические характеристики и классификация дисклинаций. Дисклинационные диполи и петли. Частичные дисклинации.
- 2.2. Поля напряжений от дисклинаций и систем дисклинаций. Упругая энергия дисклинаций. Взаимодействие между прямолинейными дисклинациями.
- 2.3. Взаимодействие дисклинаций с дислокациями.
- 2.4. Экранирование упругих полей дисклинаций системами дислокаций.
- 2.5. Силы действующие на дисклинацию со стороны свободной поверхности.
- 2.6. Дисклинации в пентагональных кристаллах.

3. Структура и свойства границ зёрен.

- 3.1. Роль внутренних границ раздела в формировании физико-механических свойств твердых тел
 - Основные виды внутренних границ раздела в твердых телах.
 - Исторический экскурс в развитие представлений о структуре и свойствах границ зёрен.
 - Физические свойства твердых тел, обусловленные границами зёрен.
- 3.2. Методы и результаты экспериментальных исследований структуры и энергии межкристаллитных границ.
 - Методы измерения энергии межкристаллитных границ. Зависимость энергии межкристаллитных границ от разориентировки кристаллов и ориентации границы.
 - Энергия малоугловых, специальных, близких к специальным и обычных границ зерен. Энергия когерентных и некогерентных межзеренных границ.
 - Результаты экспериментального изучения атомной и дефектной структуры границ зёрен. Влияние температуры на ориентационную зависимость энергии межкристаллитных границ.
 - Распространенность различных типов границ, спектры границ в деформированных материалах.
- 3.2. Геометрическая теория межкристаллитных границ.
 - Понятие о взаимном проникновении (наложении) кристаллических решеток. Атомная структура границ в жесткой модели.
 - Модели Памфри и Мотта. Нуль-решетка Боллмана, решетка совпадающих узлов и полная решетка наложений.
 - Зернограничные дислокации и их свойства. Сетки вторичных дислокаций на границах близких к специальным. Вторичная нуль-решетка.
- 3.3. Кинетические свойства границ.
 - Экспериментальные методы изучения диффузионных свойств границ зёрен. Диффузия по границам с упорядоченной и неупорядоченной атомной структурой. Теоретические представления о механизмах зернограничной диффузии.

- Экспериментальные методы изучения подвижности границ, движущие силы миграции, диффузионно-индуцированная миграция, деформационно-стимулированные процессы миграции и межкристаллитного проскальзывания.
 - Возникновение и эволюция границ зёрен в процессе пластической деформации.
- 3.4. Взаимодействие внутренних границ раздела с дефектами решетки и примесными атомами.
- Результаты экспериментальных исследований взаимодействия границ зёрен с решеточными дислокациями. Диссоциация решёточных дислокаций на зернограничные в специальных границах. Делокализация ядер дислокаций в границах зерен обычного типа.
 - Эволюция дефектной структуры границ в процессе пластической деформации и отжига.
 - Взаимодействие границ с вакансиями и примесными атомами. Межкристаллитная внутренняя адсорбция (МВА) и методы ее изучения. Теория МВА.
 - Неравновесное состояние границ зерен. Аномальная диффузия в нанокристаллических материалах с сильно неравновесным состоянием границ.
 - Миграция и проскальзывание по неравновесным границам. Деформационно-стимулированное расщепление границ.
- 3.5. Влияние границ на структурно-чувствительные свойства материалов.
- Роль границ раздела в формировании механических свойств поликристаллов.
 - Явление фрагментации и образование деформационно-индуцированных большеугловых границ. Получение наноматериалов методами интенсивной пластической деформации.
 - Определяющая роль границ зёрен в явлении структурной сверхпластичности.
4. Физические модели пластической деформации и разрушения материалов.
- 4.1. Механизмы пластической деформации.
- Деформация, обусловленная движением точечных дефектов. Диффузионная ползучесть.
 - Деформация, обусловленная скольжением дислокаций.
 - Ротационные моды пластической деформации. Фрагментация. Базовые механизмы фрагментации.
 - Деформация, обусловленная взаимным смещением зёрен. Зернограничное проскальзывание в би-кристаллах и поликристаллах.
- 4.2. Описание деформационного поведения материалов на основе представлений о микромеханизмах пластической деформации.
- Физические модели деформационного упрочнения.
 - Модели деформационного разупрочнения.
 - Модели, описывающие реологию пластического течения материалов при низких температурах.
 - Модели низкотемпературной (логарифмической) и высокотемпературной дислокационной ползучести.
- 4.3. Механизмы разрушения кристаллических твёрдых тел.
- 4.3.1. Механизмы зарождения микротрещин. Дислокационная и дисклинационная трещины. Критерии зарождения и устойчивости трещин.
- 4.3.2. Механизмы зарождения трещин на границах зёрен.
- Межкристаллитное разрушение при внутризёренной деформации. Модель накопления дислокаций ориентационного несоответствия, модель накопления стыковых дисклинаций. Модель гетерогенного зарождения пор.
 - Механизмы интеркристаллитного разрушения при межзёренной деформации.
 - Интеркристаллитное разрушение при совместном протекании внутризёренной и межзёренной деформации.
 - Роль явления межкристаллитной внутренней адсорбции в интеркристаллитном охрупчивании.
- 4.3.3. Механизмы роста трещин в хрупких и пластичных телах.
- 4.3.4. Механизмы зарождения и роста пор. Диффузионный и пластический рост пор.
- 4.3.5. Описание процессов разрушения на основе представлений о микромеханизмах зарождения и роста трещин и пор.
- Разрушение в условиях низких температур. Модели хрупко-вязкого перехода.

- Разрушение в условиях высоких температур. Модели разрушения при ползучести. Оценка долговечности.
- Разрушение в условиях усталостного нагружения. Модели накопления повреждений.
- Разрушение в условиях сверхпластичности.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Для обеспечения самостоятельной работы обучающихся используются:
Электронные курсы, созданные в системе электронного обучения ННГУ:

Физические основы прочности и пластичности, <https://e-learning.unn.ru/course/view.php?id=4964>.

Иные учебно-методические материалы:

1. Перевезенцев В.Н., Рыбин В.В. Структура и свойства границ зёрен: Учебное пособие.- Нижний Новгород: Изд-во ННГУ, 2012, 307 с.
2. Сарафанов Г.Ф. Дислокации в кристаллах и эффекты экранирования их упругого поля. Учебное пособие. Изд-во ННГУ, 2013, 122 с.
3. Перевезенцев В.Н., Щуров А.Ф. Физическое материаловедение в задачах и упражнениях. Учебное пособие. Изд-во ННГУ, 2000, 101 с.
4. Нохрин А.В., Пискунов А.В., Лопатин Ю.Г., Чувильдеев В.Н., Смирнова Е.С., Перевезенцев В.Н. Изучение процессов рекристаллизации при отжиге сильнодеформированных мелкозернистых металлов – Н.Новгород: ННГУ, 2020, 38 с.
5. Перевезенцев В.Н., Огородников А.Е., Нохрин А.В. Исследование ползучести субмикроструктурных металлов и сплавов методом микроиндентирования – Н.Новгород, ННГУ, 2020, 43 с.

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-3:

Задача №1. Параллельные разноименные смешанные дислокации с векторами Бюргерса = скользят навстречу друг другу во внешнем поле в параллельных плоскостях. Как зависит их эффективное сечение захвата и критическое напряжение прохождения от угла между вектором Бюргерса и линией дислокации.

Задача №2. Пусть имеются равномерно распределённые и одинаково ориентированные в кристалле круговые петли скользящих решёточных дислокаций с радиусом r_1 , объёмная плотность которых равна

S. Используя формулу Орована найти приращение величины пластической деформации кристалла при увеличении радиуса петель до величины r_2 во внешнем поле напряжений.

Задача №3. В приближении линейного натяжения вывести зависимость изменения энергии системы при изменении радиуса R круговой дислокационной петли с вектором Бюргерса b , лежащей в плоскости $z = 0$, под действием внешнего напряжения σ_x . Найти равновесный размер петли. Будет ли такое равновесие устойчивым?

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Студент самостоятельно решает задачу базового уровня сложности. Допустимы небольшие погрешности. Задача может быть решена после подсказки преподавателя
не зачтено	Задача не решена (правильный ответ не получен даже после подсказки преподавателя)

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-3:

1. В чем основные отличия кристаллогеометрии скольжения винтовых и краевых дислокаций.
2. Докажите, что в линейной теории упругости для групп дислокаций выполняется принцип суперпозиции полей деформаций и напряжений.
3. В чем заключается приближение линейного натяжения? Оцените вклад энергии ядра дислокаций в общую энергию.
4. В каких случаях можно ввести понятие о дефектах упаковки и частичных дислокациях. Возможны ли частичные дислокации в кристаллах с простой кубической решеткой.
5. Используя представление о тетраэдре Томпсона, укажите сколько возможно различных систем скольжения в ГЦК решетке.
6. Укажите сходства и отличия зернограничных и решеточных дислокаций.
7. Как можно описать структуру границ, близких к специальным.
8. В каких случаях осуществляется кооперативная межкристаллитная внутренняя адсорбция, а в каких – конкурентная?
9. Укажите критерии «полезности» примеси для подавления зернограничного охрупчивания.
10. Решеточная дислокация пересекает субграницу под произвольным углом, приводя к появлению системы ступенек на дислокациях. Что можно сказать об упругих напряжениях от такой границы?

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Студент отвечает на контрольные вопросы, демонстрируя минимальный уровень знаний по дисциплине
не зачтено	Студент допускает грубые ошибки при ответах на контрольные вопросы, не демонстрирует минимальный уровень знаний

5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Допуск к лабораторной работе) для оценки сформированности компетенции ПК-3:

Контрольные вопросы к допуску по лабораторным работам описаны в учебных пособиях:

1. Нохрин А.В., Пискунов А.В., Лопатин Ю.Г., Чувильдеев В.Н., Смирнова Е.С., Перевезенцев В.Н. Изучение процессов рекристаллизации при отжиге сильнодеформированных мелкозернистых металлов – Н.Новгород: ННГУ, 2020, 38 с.
2. Перевезенцев В.Н., Огородников А.Е., Нохрин А.В. Исследование ползучести субмикроструктурных металлов и сплавов методом микроиндентирования – Н.Новгород, ННГУ, 2020, 43 с.

Критерии оценивания (оценочное средство - Допуск к лабораторной работе)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Сдана техника безопасности. При ответах на контрольные вопросы (при сдаче допуска к лабораторной работе) студент демонстрирует знание основного материала с рядом негрубых ошибок или погрешностей, наличие минимально необходимого множества навыков, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, умение обозначить проблемные ситуации, владение источниками, а также отвечает на большинство поставленных вопросов
не зачтено	Техника безопасности не сдана. При ответах на контрольные вопросы студент демонстрирует непонимание смысла проблем, присутствуют грубые ошибки в основном материале, студент не демонстрирует достаточно полное владение терминологией, а также отсутствуют один или несколько навыков, предусмотренных данной компетенцией.

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
		не зачтено		зачтено			
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовк	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.

	вследствие отказа обучающегося от ответа		негрубых ошибок	. Допущено несколько негрубых ошибок	. Допущено несколько несущественных ошибок	и. Ошибок нет.	
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-3

1. Поля смещений, упругих деформаций и упругих напряжений от прямолинейных краевых и винтовых дислокаций. Упругая энергия и энергия ядра дислокаций.
2. Силы, действующие на дислокацию в поле упругих напряжений. Формула Пича-Келлера. Взаимодействие между прямолинейными параллельными дислокациями. Дислокационные диполи. Сила линейного натяжения, равновесный прогиб дислокации.
3. Модель Пайерлса-Набарро. Первичный и вторичный потенциальный рельеф Пайерлса. Напряжение Пайерлса. Тонкая структура ядра дислокаций, энергия и равновесная длина одиночного и двойного перегибов.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Студент отвечает полностью на вопросы билета и дополнительные вопросы (задания), выходящие за рамки изученного объема курса и изученных алгоритмов и подходов, проявляя инициативу и творческое мышление.
отлично	Студент отвечает полностью на вопросы билета. При ответе на вопросы допускаются незначительные неточности.
очень хорошо	Студент показывает хороший уровень знания вопросов билета и отвечает на вопросы (задания) преподавателя с небольшими неточностями.
хорошо	Студент показывает средний уровень знания вопросов билета и отвечает на некоторые дополнительные вопросы преподавателя (в рамках билета).
удовлетворительно	Студент показывает удовлетворительное знание вопросов билета и знание базовых понятий
неудовлетворительно	Студент показывает удовлетворительное знание вопросов билета и знание базовых понятий
плохо	Подготовка совершенно недостаточна. Последующая передача возможна только с комиссией.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-3

Полный типовых экзаменационных задач представлен в учебном пособии: Перевезенцев В.Н., Щуров А.Ф. Физическое материаловедение в задачах и упражнениях. Учебное пособие. Изд-во ННГУ, 2000, 101 с.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Студент самостоятельно решает задачу. Замечания к решению задачи отсутствуют. Студент может решить дополнительную задачу с использованием подходов, выходящих за рамки изученного объема курса и изученных алгоритмов и подходов, проявляя инициативу и творческое мышление.
отлично	Студент самостоятельно решает задачу в рамках изученных алгоритмов и подходов.
очень хорошо	Студент самостоятельно решает задачу и отвечает на вопросы (задания) преподавателя с небольшими неточностями.
хорошо	Студент решает задачу с наводящими вопросами преподавателя
удовлетворительно	Студент может решить типовую задачу с помощью преподавателя
неудовлетворительно	Задача не решена (правильный ответ не получен даже после помощи преподавателя)
плохо	Задача не решена или студент отказался решать задачу

5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Отчет по лабораторным работам) для оценки сформированности компетенции ПК-3

Требования к оформлению и содержанию отчета по лабораторным работам описаны в учебных пособиях:

1. Нохрин А.В., Пискунов А.В., Лопатин Ю.Г., Чувильдеев В.Н., Смирнова Е.С., Перевезенцев В.Н. Изучение процессов рекристаллизации при отжиге сильнодеформированных мелкозернистых металлов – Н.Новгород: ННГУ, 2020, 38 с.
2. Перевезенцев В.Н., Огородников А.Е., Нохрин А.В. Исследование ползучести субмикроструктурных металлов и сплавов методом микроиндентирования – Н.Новгород, ННГУ, 2020, 43 с.
3. Нохрин А.В., Пискунов А.В., Лопатин Ю.Г., Чувильдеев В.Н., Смирнова Е.С., Перевезенцев В.Н. Изучение процессов рекристаллизации при отжиге сильнодеформированных мелкозернистых металлов – Н.Новгород: ННГУ, 2020, 38 с

Критерии оценивания (оценочное средство - Отчет по лабораторным работам)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Замечаний к отчету о проделанной работе нет. Студент отвечает на все дополнительные вопросы к отчету.
отлично	Замечаний к отчету нет. Студент отвечает на большинство дополнительных вопросов к отчету
очень хорошо	Отчет о проделанной лабораторной работе содержит ряд незначительных отклонений от установленной формы
хорошо	Отчет о проделанной лабораторной работе содержит ряд не критических отклонений от формы, описанной в учебном (учебно-методическом) пособии к лабораторной работе.
удовлетворительно	Отчет о проделанной лабораторной работе содержит ряд существенных отклонений от формы, описанной в учебном (учебно-методическом) пособии к лабораторной работе.
неудовлетворительно	Отчет о проделанной лабораторной работе не представлен или форма представленного отчета существенно отличается от формы, описанной в учебном (учебно-методическом) пособии к лабораторной работе.
плохо	Отчет о работе не предоставлен или в нем обнаружены следы неправомерного заимствования

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Штремель Мстислав Андреевич. Прочность сплавов : [учеб. пособие для вузов по специальности "Физика металлов"]. Ч. 1. Дефекты решетки. - М. : Metallurgy, 1982. - 278 с. : ил. - 0.60., 3 экз.
2. Коттрелл А. Х. Теория дислокаций / пер. с англ. Т. С. Плаксиной ; под ред. А. Л. Ройтбурда. - М. : Мир, 1969. - 96 с. : черт. - 0.27., 3 экз.
3. Хирт Джон Прайс. Теория дислокаций : [пер. с англ.] / под ред. Э. М. Надгорного и Ю. А. Осипьяна. - М. : Атомиздат, 1972. - 599 с. : ил. - 5.56., 2 экз.
4. Орлов Алексей Николаевич. Введение в теорию дефектов в кристаллах : [учеб. пособие для вузов по специальности "Физика металлов"]. - М. : Высшая школа, 1983. - 144 с. : ил. - 0.25., 43 экз.
5. Владимиров Владимир Игоревич. Дислокации в кристаллах / отв. ред. А. Н. Орлов ; АН СССР, Физ.-техн. ин-т им. А. Ф. Иоффе. - Л. : Наука, Ленингр. отд-ние, 1986. - 222, [1] с. : ил. - 2.40., 2 экз.
6. Полухин Петр Иванович. Физические основы пластической деформации : [учеб. пособие для вузов по специальности "Обработка металлов давлением"]. - Москва : Metallurgy, 1982. - 584 с. : ил. - 1.50., 1 экз.

7. Орлов Алексей Николаевич. Границы зерен в металлах. - М. : Metallurgia, 1980. - 154 с. : ил. - (Достижения отечественного металловедения / под общ. ред. М. Л. Бернштейна, И. И. Новикова). - 1.50., 1 экз.
8. Рыбин Валерий Васильевич. Большие пластические деформации и разрушение металлов. - М. : Metallurgia, 1986. - 223, [1] с. : ил. - 2.40., 1 экз.

Дополнительная литература:

1. Перевезенцев В. Н. Фрагментация при пластической деформации металлов : учеб. пособие / Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского. - Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2007. - 127 с. - ISBN 978-5-91326-020-8 : 15.00., 2 экз.
2. Мак Лин Д. Границы зерен в металлах / пер. с англ. М. А. Штремеля. - М. : Metallurgizdat, 1960. - 322 с. : ил. - 15.50., 1 экз.
3. Нотт Дж. Основы механики разрушения / пер. с англ. Д. В. Лаптева ; под ред. В. Г. Кудряшова. - М. : Metallurgia, 1978. - 256 с. : ил. - 1.70., 2 экз.
4. Херцберг Ричард В. Деформация и механика разрушения конструкционных материалов / пер. с англ. А. М. Бернштейна ; под ред. М. Л. Бернштейна, С. П. Ефименко. - М. : Metallurgia, 1989. - 575 с. : ил. - ISBN 5-229-00079-1 : 5.90., 1 экз.
5. Структура и свойства внутренних поверхностей раздела в металлах / отв. ред. Б. С. Бокштейн ; АН СССР, Ин-т проблем микроэлектроники и особо чистых материалов. - М. : Наука, 1988. - 270, [1] с. : ил. - (Физика, химия и механика поверхности). - ISBN 5-02-001299-8 : 4.20., 2 экз.
6. Фрост Г. Дж. Карты механизмов деформации / пер. с англ. Л. М. Бернштейна. - Челябинск : Metallurgia, Челяб. отд-ние, 1989. - 327, [1] с. : ил. - ISBN 5-229-00078-3 (в пер.) : 4.70., 1 экз.
7. Розенберг Владимир Моисеевич. Ползучесть металлов. - М. : Metallurgia, 1967. - 276 с. : ил. - 1.27., 2 экз.
8. Владимиров Владимир Игоревич. Физическая природа разрушения металлов. - М. : Metallurgia, 1984. - 280 с. : ил. - 2.30., 2 экз.
9. Пуарье Ж. П. Высокотемпературная пластичность кристаллических тел / пер. с фр. Г. Д. Стельмаковой ; под ред. А. С. Кагана, С. С. Рыжак. - М. : Metallurgia, 1982. - 272 с. : ил. - 3.10., 1 экз.
10. Физическое металловедение : в 3 т. Т. 1. Атомное строение металлов и сплавов / под ред. Р. У. Кана, П. Хаазена ; пер с англ. под ред. О. В. Абрамова [и др.]. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Metallurgia, 1987. - 638, [1] с. : ил. - 6.40., 2 экз.
11. Физическое металловедение : [в 3 вып.] : пер. с англ. Вып. 2. Фазовые превращения. Металлография / под ред. Р. Кана ; под ред. И. И. Новикова. - М. : Мир, 1968. - 490 с. : ил. - 2.22., 3 экз.
12. Физическое металловедение : в 3 т. Т. 3. Физико-механические свойства металлов и сплавов / под ред. Р. У. Кана, П. Хаазена ; пер с англ. под ред. О. В. Абрамова [и др.]. - М. : Metallurgia, 1987. - 661, [1] с. : ил. - 6.40., 2 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

1. <http://www.lib.unn.ru/> - сайт Фундаментальной библиотеки ННГУ.
2. <http://www.unn.ru/books/> - фонд образовательных электронных ресурсов ННГУ.
3. <https://biblio-online.ru/> - сайт электронной библиотеки «Юрайт», содержащий в открытом доступе книги по отдельным разделам дисциплины.

4. <https://e.lanbook.com> – сайт электронно-библиотечной системы «ЛАНЬ», содержащий в открытом доступе книги по отдельным разделам дисциплины.
5. <http://www.sciencedirect.com> – сайт международного издательства «Elsiveir», публикующего статьи и монографии по актуальным направлениям физики конденсированного состояния и физического материаловедения, совпадающим с тематикой отдельных разделов преподаваемой дисциплины.
6. <http://elibrary.ru/defaultx.asp> - российская научная электронная библиотека «Elibrary», публикующая статьи, тематика которых совпадает с тематикой отдельных разделов преподаваемой дисциплины.
7. <http://znanium.com> – сайт электронно-библиотечной системы «Znanium.com», содержащий книги по отдельным разделам дисциплины.
8. <http://eqworld.ipmnet.ru/> - сайт электронной библиотеки EqWord, содержащий книги по отдельным разделам дисциплины.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: - литьевые машины INDUTHERM VTC-200 и INDUTHERM VCC-3000 для изготовления образцов сплавов заданного состава.

- воздушные муфельные печи типа «СНОЛ», "ЭКПС" и "Plavka Pro";
- лабораторный прокатный стан;
- ротационно-ковочная машина R5-4-21 НР для деформационной обработки сплавов;
- гидравлический пресс УММ-200 (усилие 200 тс.) с технологической оснасткой для горячей экструзии при комнатной и повышенной температурах.
- маятниковый копер МК-30;
- интерференционные металлографические микроскопы Leica DM IRM и Altami MET1C для исследования микро- и макроструктуры сплавов.
- растровый электронный микроскоп Jeol JSM-6490 с энергодисперсионным микроанализатором INCA 350.
- испытательные машины 2167 P-50 (10 тс), EU-40 (40 тс) и Tinius Olsen H25KS (5 тс) для проведения механических испытаний на растяжение, сжатие и изгиб при комнатной и повышенной температурах.
- микротвердомеры VHS-100 и МЕТОЛАБ 502;
- прибор для измерения электропроводности «SIGMATEST 2.069» вихретоковым методом.
- автоматизированный прецизионный комплекс ACC-1 для релаксационных испытаний на сжатие микрообразцов по ГОСТ Р 57173-2016.
- оборудование для пробоподготовки: отрезной станок Secotom-10 Struers, установка для запрессовки образцов SimpliMet-1000 Buehler, автоматизированный шлифовальный станок Vector Power Head Buehler, установка для электролитической подготовки поверхности LectroPol-5, вытяжные шкафы для проведения электрохимической полировки и травления образцов и др.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 03.03.02 - Физика.

Автор(ы): Нохрин Алексей Владимирович, доктор физико-математических наук
Мелёхин Николай Владимирович, кандидат физико-математических наук
Берендеев Николай Николаевич, кандидат физико-математических наук.

Рецензент(ы): Белова Ольга Васильевна.

Заведующий кафедрой: Нохрин Алексей Владимирович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 30.11.2024, протокол № б/н.