

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»

УТВЕРЖДЕНО
решением ученого совета ННГУ
протокол от "30"ноября 2022 г. №13

Рабочая программа дисциплины
«Физическое металловедение и новые технологии получения
нано- и ультрамелкозернистых материалов»

Уровень высшего образования
Подготовка научных и научно-педагогических кадров

Научные специальности

1.1.2. Дифференциальные уравнения и математическая физика, 1.1.4. Теория вероятностей и математическая статистика, 1.1.5. Математическая логика, алгебра, теория чисел и дискретная математика, 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела, 1.2.1. Искусственный интеллект и машинное обучение, 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, 1.3.11. Физика полупроводников, 1.3.19. Лазерная физика, 1.3.4. Радиофизика, 1.3.7. Акустика, 1.3.8. Физика конденсированного состояния, 1.4.1. Неорганическая химия, 1.4.2. Аналитическая химия, 1.4.3. Органическая химия, 1.4.4. Физическая химия, 1.4.7. Высокомолекулярные соединения, 1.4.8. Химия элементоорганических соединений, 1.5.11. Микробиология, 1.5.15. Экология, 1.5.2. Биофизика, 1.5.21. Физиология и биохимия растений, 1.5.5. Физиология человека и животных, 2.2.2. Электронная компонентная база микро и наноэлектроники, квантовых устройств, 3.2.7. Аллергология и иммунология, 5.1.1. Теоретико-исторические правовые науки, 5.1.2. Публично-правовые (государственно-правовые) науки, 5.1.3. Частно-правовые (цивилистические) науки, 5.1.4. Уголовно-правовые науки, 5.1.5. Международно-правовые науки, 5.12.1. Междисциплинарные исследования когнитивных процессов, 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика, 5.2.4. Финансы, 5.2.6. Менеджмент, 5.3.7. Возрастная психология, 5.4.2. Экономическая социология, 5.4.4. Социальная структура, социальные институты и процессы, 5.4.6. Социология культуры, 5.4.7. Социология управления, 5.5.2. Политические институты, процессы, технологии, 5.5.4. Международные отношения, глобальные и региональные исследования, 5.6.1. Отечественная история, 5.6.2. Всеобщая история, 5.6.7. История международных отношений и внешней политики, 5.7.1. Онтология и теория познания, 5.8.2. Теория и методика обучения и воспитания, 5.8.7. Методология и технология профессионального образования, 5.9.2. Литературы народов мира, 5.9.5. Русский язык. Языки народов России, 5.9.6. Языки народов зарубежных стран (с указанием конкретного языка или группы языков), 5.9.9. Медиакommunikации и журналистика

Нижний Новгород
2023 год

1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Физическое металловедение и новые технологии получения нано- и ультрамелкозернистых материалов» является факультативной дисциплиной и изучается на 3 году обучения в 5 семестре.

Целями освоения дисциплины являются:

- познакомить студентов с основными методами формирования ультрамелкозернистой структуры в металлах и сплавах, их преимуществами и недостатками в сравнении друг с другом;
- познакомить студентов с основными понятиями теории неравновесных границ зерен в металлах, необходимых для описания закономерностей эволюции структуры и физико-механических свойств, а также описания (объяснения) эффектов, наблюдающихся в ультрамелкозернистых металлах и сплавах;
- познакомить студентов с основными эффектами и закономерностями, проявляющимися в ультрамелкозернистых металлических материалах, получаемых с использованием методов интенсивного пластического деформирования;
- научить описывать явления, протекающие в ультрамелкозернистых металлах и сплавах при их термической обработке и деформации на языке физики металлов, теории дефектов и теории неравновесных границ зерен в металлах;
- научить составлять рекомендации по выбору оптимальных режимов термической обработки и деформации ультрамелкозернистых металлов и сплавов, обеспечивающие их повышенные физико-механические свойства и служебные характеристики;
- научить студентов использовать теоретические знания в области физики металлов и теории неравновесных границ зерен для решения практических задач, связанных с изучением закономерностей эволюции структуры и физико-механических свойств ультрамелкозернистых металлов и сплавов;
- выработать навыки анализа многофакторных экспериментальных результатов, получаемых при исследовании сложных физических процессов в ультрамелкозернистых металлах и сплавах.

Освоение дисциплины базируется на знаниях, полученных при изучении дисциплин «Физические основы прочности и пластичности», «Физика металлов, сплавов и керамик», «Междисциплинарные проблемы наук о материалах» и «Актуальные проблемы теории дефектов кристаллической решетки».

3. Структура и содержание дисциплины.

Объем дисциплины (модуля) составляет всего - 36 часов, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа – 18 часа, 18 часа – занятия семинарского типа).

Таблица 2

Структура дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины,	Всего (часы)	В том числе	
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них	Самостоятельная работа

форма промежуточной аттестации по дисциплине		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
	Очное					
Тема 1: Основные методы формирования ультрамелкозернистой структуры с использованием технологий интенсивного пластического деформирования. Фрагментация металлов и сплавов при интенсивной пластической деформации.	11	5			5	6
Тема 2: Процессы возврата и рекристаллизации при отжиге ультрамелкозернистых металлов и сплавов	16	11			11	5
Тема 3: Физико-механические свойства ультрамелкозернистых металлов и сплавов	22	7			7	15
Тема 4: Сверхпластичность ультрамелкозернистых сплавов	23	13			13	10
ВСЕГО	36	36			36	35
В т.ч.текущий контроль	2					
Промежуточная аттестация - зачет						

Таблица 3

Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Форма проведения занятий	Форма текущего контроля
1	Основные методы формирования ультрамелкозернистой структуры с использованием технологий интенсивного пластического деформирования. Фрагментация металлов и сплавов при интенсивной пластической деформации	Классификация материалов по размеру зерна: мелкозернистые, ультрамелкозернистые (субмикроструктурные) и нанокристаллические материалы. Ключевые методы интенсивной пластической деформации (ИПД) для формирования ультрамелкозернистой (УМЗ) структуры в металлических материалах: равноканальное угловое прессование, кручение под квазигидростатическим давлением, различные видыковки. Основные преимущества	Лекции, решение задач	

		<p>и недостатки каждого метода формирования УМЗ структуры. Основные аномалии в структуре и физико-механических свойствах УМЗ материалов, полученных методами ИПД: малый размер зерна, неравновесные большеугловые границы зерен, повышенная плотность дефектов, низкая термическая стабильность структуры, высокая прочность, аномалии в соотношении Холла-Петча, аномалии в реологии сверхпластического течения УМЗ материалов, эффект одновременного повышения прочности и пластичности в УМЗ материалах.</p> <p>Феноменология измельчения зеренной структуры металлов и сплавов при ИПД. Понятие о пределе диспергирования зерен при ИПД. Влияние температуры и скорости ИПД на средний размер зерна (предел диспергирования) и диффузионные свойства границ зерен УМЗ металлов.</p> <p>Язык теории неравновесных границ зерен – основной способ описания эффектов и аномалий в УМЗ материалах, полученных методами ИПД. Основные уравнения теории неравновесных границ зерен в металлах.</p> <p>Модель расчета величины предела диспергирования при ИПД. Причины двухстадийного характера зависимости предела диспергирования от температуры ИПД. Влияние температуры и скорости ИПД на величину коэффициента зернограницной диффузии в УМЗ материалах.</p> <p>Решение задач по различным разделам темы №1.</p>		
2	Процессы возврата и рекристаллизации при отжиге ультрамелкозернистых металлов и сплавов	<p>Увеличение плотности дислокаций ориентационного несоответствия, а также продуктов их делокализации (нормальных и скользящих компонент делокализованных дислокаций) в границах зерен</p>	Лекции, решение задач	

		<p>УМЗ металлов при ИПД. Зависимость коэффициента зернограничной диффузии и энергии активации зернограничной диффузии от плотности дефектов в границах зерен УМЗ материалов.</p> <p>Дислокации ориентационного несоответствия и скользящие компоненты делокализованных дислокаций как источник избыточного свободного объема границ зерен.</p> <p>Ключевые отличия в кинетике и механизмах процессов возврата в обычных крупнокристаллических и УМЗ материалах: кинетика возврата в крупнокристаллических материалах за счет переползания решеточных дислокаций и кинетика зернограничного возврата в УМЗ материалах. Основные уравнения, описывающие кинетику возврата в УМЗ материалах в случае стабильной микроструктуры.</p> <p>Зависимость плотности дефектов, энергии активации и коэффициента зернограничной диффузии от времени отжига и размера зерна в условиях стабильной микроструктуры.</p> <p>Влияние температуры ИПД и времени вылежки на степень неравновесности границ зерен УМЗ материалов и кинетику зернограничного возврата.</p> <p>Ключевые отличия в кинетике и механизмах процессов рекристаллизации в обычных крупнокристаллических и в УМЗ материалах. Влияние степени и температуры ИПД на температуру начала рекристаллизации и характер миграции границ зерен в УМЗ материалах. Модель расчета температуры начала рекристаллизации в чистых УМЗ металлах. Модель расчета скорости аномального роста зерен при отжиге УМЗ металлов. Модель эффекта ускорения диффузии при</p>		
--	--	---	--	--

		аномальном росте зерен УМЗ материалов. Решение задач по различным разделам темы №2.		
3	Физико-механические свойства ультрамелкозернистых металлов и сплавов	Прочность УМЗ металлов и сплавов. Проблемы соотношения Холла-Петча в УМЗ материалах. Модель расчета параметров соотношения Холла-Петча в УМЗ материалах: предел макроупругости и предел текучести в УМЗ металлах. Эффект аномального упрочнения при отжиге УМЗ материалов: основные экспериментальные факты. Модель влияния возврата и миграции границ зерен на параметры соотношения Холла-Петча в УМЗ материалах. Условия проявления эффекта аномального упрочнения при отжиге УМЗ материалов. Эффект одновременного повышения прочности и пластичности УМЗ материалов при комнатной температуре: основные экспериментальные факты. Проблема предельной прочности и предельной пластичности УМЗ материалов при комнатной температуре. Модель влияния параметров микроструктуры и условий испытаний (температуры и скорости деформации) на предельную прочность и предельную пластичность УМЗ материалов. Условия проявления эффекта одновременного повышения прочности и пластичности в УМЗ материалах. Решение задач по различным разделам темы №3.	Лекции, решение задач	
4	Сверхпластичность ультрамелкозернистых сплавов	Феноменология сверхпластичности в УМЗ материалах: эффекты низкотемпературной и высокоскоростной сверхпластичности; эффект оптимального размера зерна для сверхпластичности УМЗ материалов. Эффект ускорения зернограницной диффузии при	Лекции, решение задач	

		<p>сверхпластичности УМЗ материалов. Основные уравнения теории неравновесных границ зерен, описывающие кинетику накопления дефектов на границах зерен УМЗ металлов в условиях сверхпластической деформации. Влияние температуры и скорости сверхпластической деформации на коэффициент зернограницной диффузии УМЗ материалов.</p> <p>Модель расчета оптимального размера зерна для сверхпластичности УМЗ материалов. Физические причины «проявления» эффекта оптимального размера зерна при сверхпластичности. Влияние роста зерен на сверхпластичность УМЗ материалов.</p> <p>Особенности деформационного упрочнения при сверхпластичности УМЗ металлов и сплавов.</p> <p>Накопление связь кинетики накопления дефектов на границах зерен и вида кривой деформационного упрочнения в условиях сверхпластичности УМЗ сплавов. Модель расчета напряжения течения при сверхпластической деформации УМЗ сплавов.</p> <p>Решение задач по различным разделам темы №4.</p>		
--	--	--	--	--

4. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся предполагает изучение конспектов лекций, выделенных разделов основной литературы, а также дополнительной литературы, подготовку устного доклада (публичного выступления), подготовку к промежуточной аттестации.

Перечень основной и дополнительной литературы для самостоятельного изучения приведен в п. 7 настоящей Рабочей программы дисциплины.

Контрольные вопросы для промежуточной аттестации, примерные темы для устного доклада (публичного выступления) приведены в п. 6.4 настоящей Рабочей программы дисциплины.

5. Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине

5.1. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине.

При выполнении всех работ учитываются следующие **основные критерии**:

- уровень теоретических знаний (подразумевается не только формальное воспроизведение информации, но и понимание предмета, которое подтверждается правильными ответами на дополнительные, уточняющие вопросы, заданные экзаменаторами);
- умение использовать теоретические знания при анализе конкретных проблем, ситуаций;
- качество изложения материала, то есть обоснованность, четкость, логичность ответа, а также его полнота (то есть содержательность, не исключающая лаконичности);
- способность устанавливать внутри- и межпредметные связи,
- оригинальность мышления, знакомство с дополнительной литературой и другие факторы.

Описание шкалы оценивания на промежуточной аттестации в форме экзамена

Описание шкалы оценивания на промежуточной аттестации в форме зачета

Оценка	Уровень подготовленности, характеризуемый оценкой
<i>Зачтено</i>	владение программным материалом, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, умение самостоятельно обозначить проблемные ситуации в организации научных исследований, способность критически анализировать и сравнивать существующие подходы и методы к оценке результативности научной деятельности, свободное владение источниками, умение четко и ясно излагать результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях.
<i>Не зачтено</i>	непонимание смысла ключевых проблем, недостаточное владение науковедческой терминологией, неумение самостоятельно обозначить проблемные ситуации, неспособность анализировать и сравнивать существующие концепции, подходы и методы, неумение ясно излагать результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях.

5.2. Примеры типовых контрольных заданий или иных материалов, используемых для оценивания результатов обучения по дисциплине

5.2.1. При проведении зачета обучающимся предлагаются следующие контрольные вопросы, охватывающие программу дисциплины

Группа вопросов из типового теста, применяемого для оценки результатов обучения в виде знаний, приведена в таблице ниже.

1. В чем основные преимущества и недостатки технологии равноканального углового прессования как метода получения УМЗ материалов?
2. В чем основные преимущества и недостатки технологии кручения под квазигидростатическим давлением как метода получения УМЗ материалов?
3. В чем необычность структуры УМЗ материалов?
4. Какие аномалии в физико-механических свойствах УМЗ материалов наблюдаются?
5. Почему трудно ожидать аномалий в фундаментальных физических свойствах металлических материалов при ИПД?
6. Какие виды дефектов образуются в границах зерен при ИПД и последующем отжиге?

7. Как связана плотность нормальных компонент делокализованных дислокаций и мощность стыковой дисклинации (дисклинационного диполя)?
8. Как связана плотность дислокаций в границах зерен и величина коэффициента зернограницной диффузии / энергии активации зернограницной диффузии?
9. Почему в УМЗ материалах с увеличением среднего размера зерна может наблюдаться увеличение коэффициента зернограницной диффузии?
10. Чему с физической точки зрения соответствует характерное время делокализации ДОН.
11. Чему с физической точки зрения соответствует характерное время диффузионной аккомодации скользящих компонент вектора Бюргерса делокализованных дислокаций.
12. Чему с физической точки зрения соответствует характерное время диффузионной аккомодации нормальных компонент вектора Бюргерса делокализованных дислокаций.
13. Почему характерное время диффузионной аннигиляции скользящих компонент делокализованных дислокаций зависит от размера зерна, а время диффузионной аннигиляции ДОН – нет?
14. Почему нормальные компоненты делокализованных дислокаций не оказывают влияния на диффузионные свойства границ зерен УМЗ материалов?
15. Запишите уравнение для расчета поля напряжений от стыковых дисклинаций.
16. Как можно описать процесс возврата с физической точки зрения?
17. Почему температура начала рекристаллизации УМЗ металла зависит от энергии активации зернограницной диффузии?
18. Какие отличительные признаки зародыша рекристаллизации в УМЗ металле?
19. В чем характерные отличия процессов рекристаллизации в обычных и в УМЗ металлах?
20. В чем недостаток подхода к описанию процесса рекристаллизации с использованием уравнения Зинера-Холомона?
21. Почему в УМЗ материалах наблюдается аномальный рост зерен?
22. В каких условиях в УМЗ материалах наблюдается нормальный и аномальный рост зерен?
23. Почему в условиях аномального роста зерен зависимость среднего размера зерна от времени отжига имеет экспоненциальный характер?
24. Почему в условиях аномального роста зерен наблюдается эффект ускорения зернограницной диффузии, а в условиях нормального роста зерен (собирающей рекристаллизации) – нет?
25. Почему в условиях аномального роста зерен наблюдается эффект аномального упрочнения при отжиге, а в условиях нормального роста зерен (собирающей рекристаллизации) – нет?
26. В каких условиях в УМЗ материалах проявляется эффект аномального упрочнения при отжиге?
27. Почему в УМЗ материалах величина предела макроупругости оказывается зависящей от плотности дефектов на неравновесных границах зерен?
28. Как будет процесс длительной выдержки УМЗ материала при комнатной температуре (процесс возврата) влиять на механические свойства и температуру начала рекристаллизации УМЗ металла?
29. В чем состоят ключевые отличия (особенности) реализации эффекта сверхпластичности в УМЗ и в обычных материалах?
30. Почему в УМЗ материалах наблюдается эффект оптимального размера зерна для сверхпластичности?
31. В каких условиях в УМЗ материалах будет наблюдаться эффект ускорения зернограницной диффузии при сверхпластичности?
32. Опишите основные закономерности эффекта одновременного повышения прочности и пластичности в УМЗ материалах?
33. Почему с физической точки зрения в УМЗ материалах наблюдается эффект одновременного повышения прочности и пластичности?

34. Как процессы возврата и рекристаллизации будут влиять на возможность реализации в УМЗ материалах эффекта одновременного повышения прочности и пластичности?
35. Как в общем случае определить оптимальный размер зерна УМЗ металла, при котором будет наблюдаться эффект одновременного повышения прочности и пластичности?

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.

а) основная литература

1. Нохрин А.В., Лопатин Ю.Г., Пискунов А.В., Чувильдеев В.Н., Смирнова Е.С. Изучение процессов рекристаллизации при отжиге сильнодеформированных металлов. Практикум - Н.Новгород: ННГУ, 2016, 31 с. (электронное издание, http://www.unn.ru/books/met_files/Recrystallization.pdf).
2. Чувильдеев В.Н., Дейч И.С., Пирожникова О.Э. Исследование микропластичности металлов методом релаксационных испытаний. в кн. «Физика твердого тела. Лабораторный практикум. Часть 2. Физические свойства твердых тел» / под ред. А.Ф. Хохлова - Н.Новгород, 2000, с. 21-66. [10 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
3. Сидорова А.И., Сысоев А.Н. Определение механических свойств металлов. В кн. «Физика твердого тела. Лабораторный практикум. Часть 2. Физические свойства твердых тел» / под ред. А.Ф. Хохлова - Н.Новгород, 2000, с. 28-50. [10 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
4. Грачева Т.А., Малыгин Н.Д. Определение параметров кристаллической структуры твердых растворов рентгеновским методом. В кн. «Физика твердого тела. Лабораторный практикум. Часть 1. Методы получения твердых тел и исследования их структуры» / под ред. А.Ф. Хохлова - Н.Новгород, 2000, с. 28-50. [10 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
5. Щербань М.Ю., Егорова С.П. Растровая электронная микроскопия для изучения структуры твердых тел. В кн. «Физика твердого тела. Лабораторный практикум. Часть 1. Методы получения твердых тел и исследования их структуры» / под ред. А.Ф. Хохлова - Н.Новгород, 2000, с. 28-50. [10 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
6. Горелик С.С. Рекристаллизация металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1978, 568 с. [8 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
7. Физическое металловедение в 3 т. / Под ред. Р.У. Кана, П. Хаазена, пер. с англ. под ред. О.В. Абрамова, 3-е изд. перераб и доп. / Том 1. Атомное строение металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1987. 638 с. [8 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
8. Физическое металловедение в 3 т. / Под ред. Р.У. Кана, П. Хаазена, пер. с англ. под ред. О.В. Абрамова, 3-е изд. перераб. и доп. / Т. 2: Фазовые превращения в металлах и сплавах и сплавы с особыми физическими свойствами. – М.: Металлургия, 1987. 621 с. [6 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
9. Физическое металловедение в 3 т. / Под ред. Р.У. Кана, П. Хаазена, пер. с англ. под ред. О.В. Абрамова, 3-е изд. перераб. и доп. / Т. 3: Физико-механические свойства металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1987. 661 с. [6 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
10. Чувильдеев В.Н. Неравновесные границы зерен в металлах. Теория и приложения – М.: Физматлит, 2004, 303 с. [доступно авторизованным пользователям через электронно-библиотечную систему «ЛАНЬ»: https://e.lanbook.com/book/59342?category_pk=925#book_name]. [8 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
11. Чувильдеев В.Н., Нохрин А.В., Пирожникова О.Э., Грязнов М.Ю., Лопатин Ю.Г., Смирнова Е.С. Физика новых материалов – Н.Новгород, изд-во ННГУ, 2010, 105 с. [http://www.unn.ru/books/met_files/NokhrinAV.pdf].
12. Корушнов А.И. Физико-механические свойства материалов после равноканального углового прессования. Особенности проявления - Саров: Российский федеральный

- ядерный центр – ВНИИЭФ, 2013. 257 с. [Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/60871.html> — ЭБС «IPRbooks»].
13. Рудской А.И., Коджаспиров Г.Е. Технологические основы получения ультрамелкозернистых металлов — СПб.: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2011. 247 с. [Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/43977.html>. ЭБС «IPRbooks»].
- б) дополнительная литература
1. Глейтер Г., Челмерс Б. Большеугловые границы зерен. – М.: Мир, 1975, [8 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
 2. Гегузин Я.Е. Очерки о диффузии в кристаллах – М.: Наука, 1974 [Доступ через электронную библиотеку EqWord: <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Geguzin1974ru.djvu>].
 3. Трушин Ю.В. Физическое материаловедение – СПб.: Наука, 2000, 286 с. [32 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
 4. Мартин Дж. Микромеханизмы дисперсионного твердения сплавов» - М.: Металлургия, 1988. 167 с. [доступно через электронную библиотеку Исследовательской школы «Наноматериалы и нанотехнологии» ННГУ: <http://www.nanotech.unn.ru/sites/default/files/martin.pdf>]
 5. Орлов А.Н. Введение в теорию дефектов кристалла. М. Высшая школа, 1983. 150 с. доступ через электронную библиотеку Исследовательской школы «Наноматериалы и нанотехнологии» ННГУ: <http://www.nanotech.unn.ru/sites/default/files/a.n.orlov.vvedenie.v.teoriyu.defektov.djvu>.
 6. Витязь П.А. Наноматериаловедение: учебное пособие/ Витязь П.А., Свидунович Н.А., Куис Д.В. - Минск: Вышэйшая школа, 2015, 512 с. [Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/35501.html> - ЭБС «IPRbooks»].
 7. Вознесенский Э.Ф., Шарифуллин Ф.С., Абдуллин И.Ш. Методы структурных исследований материалов. Методы микроскопии: учебное пособие - Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2014. 184 с. [Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/61986.html> — ЭБС «IPRbooks»].
 8. Голдобина В.Г. Нанотехнологии в машиностроении: учебное пособие Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ЭБС АСВ, 2014. 150 с. [Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/49712.html> ЭБС «IPRbooks»].
 9. Болдырев В.В., Аввакумов Е.Г., Болдырева Е.В. Фундаментальные основы механической активации, механосинтеза и механохимических технологий — Новосибирск: Сибирское отделение РАН, 2009. 343 с. [Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/15822.html> — ЭБС «IPRbooks»].
 10. Рудской А.И. Наноструктурированные металлические материалы - СПб.: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Наука, 2011. 270 с. [Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/43958.html> — ЭБС «IPRbooks»].
 11. Рудской А.И. Нанотехнологии в металлургии — СПб.: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Наука, 2007. 186 с. [Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/43970.html> — ЭБС «IPRbooks»].
 12. Наноструктурные материалы: учебное пособие. Серия «Мир материалов и технологий» под ред. Ханнинка Р. — М.: Техносфера, 2009. 488 с. [Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/12730.html>. — ЭБС «IPRbooks»].
 13. Шишкин А.В., Дутова О.С. Исследование физических свойств материалов. Часть 4.1. Испытания на растяжение: учебно-методическое пособие — Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2012. 64 с. [Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45095.html>. — ЭБС «IPRbooks»].

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

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 «Elsevier», 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.
9. <http://www.nanotech.unn.ru> – сайт электронной библиотеки Исследовательской школы «Наноматериалы и нанотехнологии» ННГУ
10. <http://www.iprbookshop.ru> – сайт электронно-библиотечной системы IPRbooks, содержащей книги по отдельным разделам дисциплины.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Библиотечные залы и компьютерные классы ННГУ и НИФТИ ННГУ, обеспечивающие доступ к Интернет – ресурсам. Для чтения лекций со стороны физического факультета и НИФТИ ННГУ предоставляются аудитории с презентационным оборудованием.

Автор д.ф.-м.н., доцент Нохрин А.В.

Рецензент: к.ф.-м.н., зам. декана по учебной работе Белова О.В.

Заведующий кафедрой д.ф.-м.н., проф. Чувильдеев В.Н.

Программа одобрена на заседании методической комиссии физического факультета от _____ 2022 года, протокол № б/н