

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Костромской государственный университет»  
(КГУ)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

**МЕТОДЫ АНАЛИЗА МАТЕРИАЛОВ**

Направление подготовки 03.03.02 – Физика

Направленность: Физика

Квалификация (степень) выпускника: Бакалавр

**Кострома 2021**

Рабочая программа дисциплины «Методы анализа материалов» разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования направления подготовки 03.03.02–Физика, утвержден 07.08.2020 г., приказ № 891

Разработал: Дьяков Илья Геннадьевич, доцент кафедры общей и теоретической физики, к.т.н., доцент

Рецензент: Жиров Александр Владимирович, доцент кафедры общей и теоретической физики, к.т.н., доцент

**УТВЕРЖДЕНО:**

Заведующий кафедрой общей и теоретической физики

Шадрин Сергей Юрьевич, к.т.н., доцент

## 1. Цели и задачи освоения дисциплины

Основной целью курса является подготовка бакалавров физики к научно-исследовательской, научно-инновационной, организационно-управленческой деятельности в научно-исследовательских институтах, лабораториях, конструкторских или проектных бюро, на предприятиях путем формирования соответствующих компетенций.

В результате изучения учебной дисциплины «Методы анализа материалов» обучаемые должны приобрести профессиональные компетенции:

– способен выполнять эксперименты и оформлять результаты исследований и разработок. (ПК-2)

Задачи дисциплины:

– систематизировать полученные ранее знания по термодинамике, современным проблемам электролитно-плазменной модификации металлов с помощью методов компьютерного моделирования;

– получить новые знания в области физических методов исследования металлов, сплавов и композиционных материалов, по основам технологии получения и сферах применения современных физических методов исследования твердых тел;

– уметь применять полученные знания к решению прикладных задач физики твердого тела.

## 2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

В результате изучения дисциплины «Методы анализа материалов» обучаемые должны

**Освоить компетенции:**

**ПК-2**– способен выполнять эксперименты и оформлять результаты исследований и разработок

Код и содержание индикаторов компетенции

**ПК-2.1.** Проводит эксперименты в соответствии с установленными полномочиями

**ПК-2.2.** Проводит наблюдения и измерения, составляет их описание и формулирует выводы

**ПК-2.3.** Составляет отчеты (разделы отчетов) по теме или по результатам проведенных экспериментов

**знать**

– основы организации и планирования физических исследований, в частности, методы решения вопросов, необходимых для решения научно-инновационных задач в области исследования твердых тел.

– современные методы исследования металлов, сплавов и композиционных материалов, в частности, методы металлографии, рентгенографии, нейтронографии, электронографии и электронной микроскопии;

**уметь**

– планировать и организовывать физические исследования, в частности, осуществлять обоснованный выбор материала, в зависимости от назначения, условий эксплуатации деталей, узлов и механизмов, основы технологии модификации поверхности и нанесения специальных покрытий;

– самостоятельно разработать стратегию поиска необходимой научной информации, а также индивидуальный план освоения дополнительного материала;

**владеть**

– методами постановки конкретных задач научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта, в частности, навыками

освоения новых, в том числе специализированных, методик расчета структурных и фазовых составляющих:

– практическими методами расчета глубины модифицированных поверхностных слоев, с использованием металлографии, рентгенографии, нейтронографии, электронографии и электронной микроскопии.

### **3. Место дисциплины в структуре ОП ВО**

Дисциплина «Методы анализа материалов» изучается в седьмом и восьмом семестрах и входит в часть дисциплин, формируемых участниками образовательных отношений, образовательной программы подготовки бакалавров физики. В процессе ее изучения студент знакомится с наноструктурными объектами и законами микромира, узнает то, каким образом можно наблюдать эти объекты и использовать их уникальные свойства на практике. Изучаемый материал подобран в соответствии с научным направлением кафедры общей и теоретической физики КГУ.

Основной целью курса «Методы анализа материалов» является подготовка бакалавров физики к практической деятельности в области моделирования сложных физических процессов в научных исследованиях.

В рамках курса «Методы анализа материалов» рассматривается описание особых свойств объектов и принципов их исследований (существующих и перспективных) в современной технологии. Курс не ограничивается лишь описанием новых материалов и методов их исследований – значительное внимание в нем будет уделено методам выбора того или иного метода, применительно к конкретной практической задаче.

Во всех методах термической обработки необходимо учитывать физико-химические особенности обрабатываемого материала и факторы, влияющие на формирование его структуры, поэтому для выбора наиболее оптимальных режимов работы в каждом конкретном случае требуется знание особенностей материала и их влияние на конечный результат.

Освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее для прохождения научно-исследовательской практики и научно-исследовательской работы, а также для факультативных дисциплин: электрохимико-термическая модификация сплавов и физико-химические методы обработки материалов.

Перед изучением дисциплины «Методы анализа материалов» обучающийся должен иметь представления о фазовых превращениях вещества в рамках курсов общей физики и физического материаловедения, знать основы теории термической и химико-термической обработки материалов, должен иметь представления о молекулярно-кинетической теории строения вещества, явлениях переноса теплоты, законах электростатики, электродинамики, оптики, интерференции, дифракции и поляризации. Требуемые компетенции на минимальном и среднем уровне формируются в рамках дисциплин «Молекулярная физика», «Термодинамика», «Электродинамика», «Оптика». Для усвоения дисциплины от студента требуется знание дифференциального и интегрального исчисления, основных положений линейной алгебры, векторного и тензорного анализа, физики твердого тела, квантовой теории.

Освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее для прохождения научно-исследовательской практики, и написания выпускной квалификационной работы, Она необходима для комплексного понимания научного направления «Скоростная химико-термическая обработка металлов», развиваемого в рамках профиля подготовки «Физика конденсированного состояния вещества». В некоторых методах термической обработки окружающая среда является сложным физическим объектом, например, парогазовой смесью, поэтому для выбора наиболее оптимальных режимов работы в каждом конкретном случае требуется знание особенностей процессов теплообмена и их влияние на конечный результат.

Перед изучением дисциплины «Методы анализа материалов» обучающийся должен иметь представления о фазовых превращениях вещества в рамках курсов общей и теоретической физики, уметь использовать соответствующие уравнения математической физики в различных физических моделях. Требуемые знания и умения формируются в рамках базовой части профессионального цикла основной образовательной программы бакалавриата.

Освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее для прохождения научно-исследовательской и производственной практик и научно-исследовательской работы, а также для факультативных дисциплин: электрохимико-термическая модификация сплавов и физико-химические методы обработки материалов.

#### 4. Объем дисциплины (модуля)

##### 4.1. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием академических (астрономических) часов и виды учебной работы

Виды учебной работы,	Очная форма
Общая трудоемкость в зачетных единицах	6
Общая трудоемкость в часах	216
Аудиторные занятия в часах, в том числе:	168
Лекции	92
Практические занятия	42
Лабораторные занятия	34
Самостоятельная работа в часах	48
Контроль	
Форма промежуточной аттестации	Экзамен 8 семестр зачет 7 семестр.

##### 4.2. Объем контактной работы на 1 обучающегося

Виды учебных занятий	Очная форма
Лекции	92
Практические занятия	42
Лабораторные занятия	34
Консультации	2
Зачет/зачеты	0,25
Экзамен/экзамены	0,35
Курсовые работы	–
Курсовые проекты	–
Всего	170,6

**5.Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам), с указанием количества часов и видов занятий**

**5.1 Тематический план учебной дисциплины**

№	Название раздела, темы	Всего з.е/час	Аудиторные занятия			Самостоятельная работа
			Лекц.	Практ.	Лаб.	
1	Обзор структурных и физических методов исследования твердых тел.	7	2	2	2	1
2	Кристаллография как наука. Кристаллографические индексы, направления и проекции	15	8	2	4	1
3	Преобразования симметрии	13	8	2	2	1
4	Группы симметрии	15	8	4	2	1
5	Анализ структурных изменений в стали при термической обработке	15	8	4	2	1
6	Рентгенографические методы исследования материалов	17	8	4	4	1
7	Применение дифракции электронов и нейтронов в структурном анализе	15	8	4	2	1
8	Макроскопический анализ	17	10	4	2	1
9	Металлографические методы исследования	17	8	4	4	1
10	Электронная микроскопия	17	8	4	4	1
11	Электромагнитные методы исследования	17	8	4	4	1
12	Акустические методы исследования	15	8	4	2	1
13	Экзамен	36				36
	<b>Итого:</b>	<b>216</b>	<b>92</b>	<b>42</b>	<b>34</b>	<b>48</b>

**5.2. Содержание:**

**Тема 1. Обзор структурных и физических методов исследования твердых тел.**

Основной набор физических методов как единая система, позволяющая измерить или вычислить большинство из известных свойств, характеристик и параметров твердых тел: основные знания и навыки, приобретаемые студентами; физические явления, лежащие в основе методов; принципиальные и реальные возможности различных

методов; особенности методик, требования к исследуемым образцам и используемой аппаратуре (приборам).

**Тема 2. Кристаллография как наука. Кристаллографические индексы, направления и проекции.** Предмет кристаллографии. Кристаллические и аморфные тела. Основные периоды развития кристаллографии. Макроскопические свойства кристаллов. Понятия «однородность», «анизотропия», «симметрия». Способность кристаллов к самоогранке. Индексы плоскостей и направлений. Стереографические и гномостереографические проекции.

**Тема 3. Преобразования симметрии.** Понятие симметрии. Элементы симметрии. Классификация операций симметрии в зависимости от их характера. Элементы симметрии I и II рода. Энантиоморфными и конгруэнтно равные фигуры. Поворотные оси симметрии. Зеркальную плоскость симметрии и центр инверсии. Сложные оси симметрии. Основной закон симметрии кристаллов. Зеркальные оси симметрии. Инверсионные оси симметрии.

**Тема 4. Группы симметрии.** Решётки Браве. Системы обозначений: Браве, Шенфлиса, Германа-Могена. Точечные группы симметрии. Матричное представление симметрических операций и групп симметрии. Индексирование. Закон Гаюи. Симметрия дисконтинуума. Фёдоровские группы.

**Тема 5. Анализ структурных изменений в стали при термической обработке.** Определение содержания углерода в мартенсите и количества остаточного аустенита в закаленной стали. Рентгеноанализ остаточных макронапряжений. Анализ дефектов по уширению линии. Рентгеноанализ возврата и рекристаллизации. Качественный анализ фазового состава стали.

**Тема 6. Рентгенографические методы исследования.**

Физические основы рентгеноструктурного анализа. Теоретические основы рентгеноструктурного метода исследований. Аппаратное обеспечение методов структурного анализа. Качественный фазовый анализ. Выбор условий съемки при фазовом анализе. Установление структуры кристаллов. Рентгеноанализ остаточных макронапряжений. Анализ дефектов по уширению линии. Рентгеноанализ возврата. Рекристаллизация. Анализ зонной структуры. Анализ модулированных структур. Анализ фазового состава стали. Законы погасания дифракционных максимумов. Закон Вульфа-Брэгга. Решение практических задач структурного и фазового анализа при химико-термической обработке металлов и сплавов. Цементация, цианирование; азотирование; нитроцементация; диффузионная металлизация.

**Тема 7. Применение дифракции электронов и нейтронов в структурном анализе.**

Устройство и принцип работы электронографа. Основные методы нейтронографии. Материально-техническая база для исследований. Преимущества и недостатки нейтронографии и электронографии при решении практических задач физического материаловедения. Физические основы нейтронографического и электронографического, спектрального, микрорентгеноспектрального методов исследования..

**Тема 8. Макроскопический анализ.**

Общие принципы макроскопического анализа. Химические реактивы для выявления макроскопических дефектов, раковин, пор. Методы определения микротрещин. Возможности люминесцентного метода. Магнитно-порошковый метод.

**Тема 9. Металлографические методы исследования.**

Изготовление металлографических шлифов. Химические реактивы для выявления микроструктур. Метод светлого поля. Метод темного поля. Метод фазового контраста. Метод дифференциально-интерференционного контраста. Увеличение и разрешающая способность оптического анализа. Иммерсионная оптика. Количественный и качественный металлографический анализ. Анализ структуры перлита, мартенсита и

определение величины зерна по стандартным шкалам. Методы количественной металлографии.

#### **Тема 10. Электронная микроскопия.**

Физические основы электронно-микроскопического, спектрального, микрорентгеноспектрального методов исследования. Аппаратное обеспечение методов структурного анализа. Устройство и принцип работы электронного микроскопа. Решение практических задач структурного и фазового анализа при химико-термической обработке металлов и сплавов. Фотоэлектронная спектроскопия (ФЭС); ультрафиолетовая, рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС или ЭСХА); оже-спектроскопия; ядерный магнитный резонанс (ЯМР); электронный парамагнитный резонанс (ЭПР); мессбауэровская спектроскопия.

#### **Тема 11. Акустические и электромагнитные методы исследования.**

Акустические, вихретоковые, коэрцитиметрические и термоэлектрические методы исследования структурных и фазовых превращений при термической обработке металлов. Исследование превращений при отжиге, закалке, отпуске, старении. Отпускная хрупкость стали. Основные технологические схемы термической обработки деталей. Термические напряжения. Выбор и оптимизация режимов термической обработки. Технологии термической обработки с использованием высококонцентрированных источников энергии.

#### **Тема 12. Акустические и электромагнитные методы исследования.**

Акустические, вихретоковые, коэрцитиметрические и термоэлектрические методы исследования структурных и фазовых превращений при термической обработке металлов. Исследование превращений при отжиге, закалке, отпуске, старении. Отпускная хрупкость стали. Основные технологические схемы термической обработки деталей. Термические напряжения. Выбор и оптимизация режимов термической обработки. Технологии термической обработки с использованием высококонцентрированных источников энергии.

## **6. Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины**

Курс «Методы анализа материалов» предназначен для студентов института физико-математических и естественных наук направления подготовки «Физика». Для усвоения излагаемого материала от слушателей требуется знание математического анализа, векторного и тензорного анализа, молекулярной физики, термодинамики, квантовой механики, атомной и ядерной физики.

В данном курсе представлены необходимые сведения по векторному анализу и элементам тензорного анализа, позволяющие в дальнейшем изучать физические величины, имеющие векторную или тензорную природу. Как известно, в физике кроме скалярных величин: температура, масса, плотность вещества встречаются векторные: поле скоростей, ускорений, силовые характеристики полей, а также объекты более сложной природы – тензоры. Операции с такими математическими объектами требуют некоторого особого навыка, который практически не затрагивается в рамках дисциплины «Математический анализ». Частично восполнить этот пробел и призвана дисциплина «Методы анализа материалов».

Курс снабжен необходимым количеством прикладных задач, в том числе физического характера, способствующих лучшему усвоению понятий и методов векторного и тензорного анализа, более того формализм максимально приближен к нуждам теоретической физики. Тензорный анализ для физика – это математический аппарат, с помощью которого не только сокращаются многосистемные выкладки, но и концентрируется физическая идея, так как использование тензорного анализа позволяет отодвинуть на второй план сложную геометрическую картину физического явления.

Цель данного курса состоит в повышении профессионального уровня подготовки бакалавра, обеспечение необходимыми знаниями и развитие практических навыков работы с основными математическими объектами векторного и тензорного анализа.

Задачами изучения курса являются: закрепить и развить знания, умения и приемы, полученные при усвоении курсов, на которые опирается данная дисциплина; подготовить исходный уровень знаний и навыков, необходимых для успешного освоения курсов теоретической физики, например, теоретическая механика, электродинамика и т.д.

### 6.1. Самостоятельная работа обучающихся по дисциплине (модулю)

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Задание	Часы	Методические рекомендации по выполнению задания	Форма контроля
1	Обзор структурных и физических методов исследования твердых тел.	Конспектирование материалов учебной литературы, ответы на контрольные вопросы	1	Использовать материалы лекций и семинаров по «Методам анализа материалов» и источники [1–3] из списка основной литературы.	Опрос, проверка конспекта, проверка задач
2	Кристаллография как наука. Кристаллографические индексы, направления и проекции	Конспектирование материалов учебной литературы, ответы на контрольные вопросы	1	Использовать материалы лекций и семинаров по «Методам анализа материалов» и источники [1–3] из списка основной литературы.	Опрос, проверка конспекта, проверка задач
3	Преобразования симметрии	Конспектирование материалов учебной литературы, ответы на контрольные вопросы	1	Использовать материалы лекций и семинаров по «Методам анализа материалов» и источники [1–3] из списка основной литературы.	Опрос, проверка конспекта, проверка задач
4	Группы симметрии	Конспектирование материалов учебной литературы, ответы на контрольные вопросы	1	Использовать материалы лекций и семинаров по «Методам анализа материалов» и источники [1–3] из списка основной литературы.	Опрос, проверка конспекта, проверка задач
5	Анализ структурных изменений в стали при термической обработке	Конспектирование материалов учебной литературы, ответы на контрольные вопросы	1	Использовать материалы лекций и семинаров по «Методам анализа материалов» и источники [1–3] из списка основной литературы.	Опрос, проверка конспекта, проверка задач
6	Рентгенографические методы исследования материалов	Конспектирование материалов учебной литературы, ответы на контрольные вопросы	1	Использовать материалы лекций и семинаров по «Методам анализа материалов» и источники [1–3] из списка основной литературы.	Опрос, проверка конспекта, проверка задач

7	Применение дифракции электронов и нейтронов в структурном анализе	Конспектирование материалов учебной литературы, ответы на контрольные вопросы	1	Использовать материалы лекций и семинаров по «Методам анализа материалов» и источники [1–3] из списка основной литературы.	Опрос, проверка конспекта, проверка задач
8	Макроскопический анализ	Решение задания, ответы на вопросы к зачету	1	Использовать материалы лекций и семинаров по «Методам анализа материалов» и источники [1–3] из списка основной литературы.	Опрос, проверка конспекта, проверка задач
9	Металлографические методы исследования	Решение задания, ответы на вопросы к зачету	1	Использовать материалы лекций и семинаров по «Методам анализа материалов» и источники [1–3] из списка основной литературы.	Опрос, проверка конспекта, проверка задач
10	Электронная микроскопия	Конспектирование материалов учебной литературы, ответы на контрольные вопросы	1	Использовать материалы лекций и семинаров по «Методам анализа материалов» и источники [1–3] из списка основной литературы.	Опрос, проверка конспекта, проверка задач
11	Электромагнитные методы исследования	Решение задания, ответы на вопросы к зачету	1	Использовать материалы лекций и семинаров по «Методам анализа материалов» и источники [1–3] из списка основной литературы.	Опрос, проверка конспекта, проверка задач
12	Акустические методы исследования	Решение задания, ответы на вопросы к зачету	1	Использовать материалы лекций и семинаров по «Методам анализа материалов» и источники [1–3] из списка основной литературы.	Опрос, проверка конспекта, проверка задач

## 6.2. Тематика и задания для практических занятий

Ниже приведены примерные планы практических занятий.

### Семинар 1.

**Тема: Обзор структурных и физических методов исследования твердых тел.**

#### **Задания:**

1. Повторение раздела «Фазовые превращения» из курса «Молекулярная физика» из учебного плана подготовки бакалавров по направлению 011200.62 «Физика».
2. Решение задач. Примеры задач:

2.1. Рассчитать соотношение структурных и фазовых составляющих в сталях 15, 45, У8, У12. Выбрать возможные и оптимальные методы исследования.

2.2. Определить диапазон длин мартенситных игл и среднего расстояния между ними по микрофотографии. Будет ли достаточно разрешения оптического микроскопа для оценки этих параметров?

3. Конспектирование соответствующих параграфов из списка основной литературы [1–3] и из списка дополнительной литературы [1].

Обсуждаемые вопросы: Типы структур и их основные характеристики. Объекты стереологического исследования, способы их подготовки к анализу. Принципы, методы и точность стереологической реконструкции. Принцип Кавальери-Акера-Глаголева. Методы получения первичной информации и расчетные характеристики. Понятие представительной выборки в стереологии. Методы определения объемной доли фаз, среднего размера зерна или частицы, среднего расстояния между частицами, распределения зерен или частиц по размерам, коэффициента вытянутости формы, связанности структуры. Распределение элементов структуры в пространстве.

### **Семинар 2.**

**Тема: Кристаллография как наука. Кристаллографические индексы, направления и проекции.** Предмет кристаллографии. Кристаллические и аморфные тела. Основные периоды развития кристаллографии. Макроскопические свойства кристаллов. Понятия «однородность», «анизотропия», «симметрия». Способность кристаллов к самоогранке. Индексы плоскостей и направлений. Стереографические и гномостереографические проекции.

### **Семинар 3.**

**Тема: Преобразования симметрии.** Понятие симметрии. Элементы симметрии. Классификация операций симметрии в зависимости от их характера. Элементы симметрии I и II рода. Энантиоморфными и конгруэнтно равные фигуры. Поворотные оси симметрии. Зеркальную плоскость симметрии и центр инверсии. Сложные оси симметрии. Основной закон симметрии кристаллов. Зеркальные оси симметрии. Инверсионные оси симметрии.

### **Семинар 4.**

**Тема: Группы симметрии.** Решётки Браве. Системы обозначений: Браве, Шенфлиса, Германа-Могена. Точечные группы симметрии. Матричное представление симметрических операций и групп симметрии. Индицирование. Закон Гаюи. Симметрия дисконтинуума. Фёдоровские группы.

### **Семинар 5.**

**Тема: Анализ структурных изменений в стали при термической обработке.**

#### **Задания:**

1. Конспекты соответствующих параграфов учебной литературы [1],[2] и [3].
2. Решение задач, разбор вопросов теста..

**Примерное задание.** Расшифровка электронограммы стали после термической обработки.

3. Подготовка презентации доклада с необходимыми иллюстрациями.

#### **Темы для докладов (рефератов)**

- Экспериментальные методы определения содержания углерода в мартенсите закаленной стали;
- Аппаратура для проведения структурных исследований;
- Разрешающая способность альтернативных методов структурного анализа;

– Комплексные исследования, проводимые с помощью современных физических методов анализа структуры материалов.

Обсуждаемые вопросы: Определение содержания углерода в мартенсите и количества остаточного аустенита в закаленной стали. Рентгеноанализ остаточных макронапряжений. Анализ дефектов по уширению линии. Рентгеноанализ возврата и рекристаллизации. Качественный анализ фазового состава стали.

### **Семинар 6.**

**Тема: Рентгенографические методы исследования материалов.**

**Задания:**

1. Конспекты соответствующих параграфов учебной литературы [1],[2] и [3].
2. Решение задач.

**Примерное задание.** Расшифровка рентгенограммы стали после термической обработки.

3. Подготовка презентации доклада с необходимыми иллюстрациями.

**Темы для докладов (рефератов)**

- Определение остаточного аустенита в углеродистой стали;
- Выбор характеристического рентгеновского излучения под конкретную задачу;
- Оптимизация режимов получения рентгеновской дифрактограммы;
- Определения концентрации углерода в мартенсите стали при отпуске.

Обсуждаемые вопросы: Качественный фазовый анализ. Выбор условий съемки при фазовом анализе. Установление структуры кристаллов. Рентгеноанализ остаточных макронапряжений. Анализ дефектов по уширению линии. Рентгеноанализ возврата. Рекристаллизация. Анализ зонной структуры. Анализ модулированных структур. Анализ фазового состава стали. Структурные и фазовые превращения при термической обработке. Превращения при отжиге, закалке, отпуске, старении. Исследование отпускной хрупкости стали. Основные технологические схемы термической обработки деталей и методов контроля качества термообработки. Термические напряжения и их количественная оценка. Выбор и оптимизация режимов термической обработки. Рентгенографические исследования качества термической обработки сталей и сплавов.

### **Семинар 7.**

**Тема: Применение дифракции электронов и нейтронов в структурном анализе.**

**Задания:**

1. Конспекты соответствующих параграфов учебной литературы [1],[2] и [3].
2. Решение задач.

**Примерное задание.** Расшифровка электронограммы стали после термической обработки.

3. Подготовка презентации доклада с необходимыми иллюстрациями.

**Темы для докладов (рефератов)**

- Задачи, которые невозможно решить без методов нейтронографии;
- Аппаратура для проведения нейтронографических исследований;
- Разрешающая способность нейтронографии и электронографии;
- Комплексные исследования, проводимые с помощью просвечиваемого электронного микроскопа.

Обсуждаемые вопросы: Устройство и принцип работы электронографа. Основные методы нейтронографии. Материально-техническая база для исследований. Преимущества и недостатки нейтронографии и электронографии при решении практических задач физического материаловедения. Физические основы нейтронографического и электронографического, спектрального, микрорентгеноспектрального методов исследования.

## **Семинар 8.**

### **Тема: Макроскопический анализ.**

#### **Задания:**

1. Конспекты соответствующих параграфов учебной литературы [1],[2] и [3].
2. Решение задач.

**Примерное задание.** Оценить наличие микротрещин в заготовке поршневого пальца по результатам макроскопического анализа..

3. Подготовка презентации доклада с необходимыми иллюстрациями.

#### **Темы для докладов (рефератов)**

- Теоретические основы стереологии
- Типы структур и их основные характеристики.
- Объекты стереологического исследования, способы их подготовки к анализу.
- Принципы, методы и точность стереологической реконструкции.
- Принцип Кавальери-Акера-Глаголева.
- Методы получения первичной информации и расчетные характеристики.
- Понятие представительной выборки в стереологии.

Обсуждаемые вопросы: Методы определения объемной доли фаз, среднего размера зерна или частицы, среднего расстояния между частицами, распределения зерен или частиц по размерам, коэффициента вытянутости формы, связанности структуры. Распределение элементов структуры в пространстве. Методы количественного анализа микроструктуры. Содержание и порядок выполнения работ по ГОСТ 5639-82 «Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна» и ГОСТ 1778-70 «Сталь. Металлографические методы определения неметаллических включений». Устройство и принцип работы автоматических анализаторов изображений. Порядок работы на анализаторе EPIQUANT.

## **Семинар 9.**

### **Тема: Металлографические методы исследования.**

#### **Задания:**

1. Конспекты соответствующих параграфов учебной литературы [1],[2] и [3].
2. Решение задач.

**Примерное задание.** Рассчитайте удельное электрическое сопротивление графена.

3. Подготовка презентации доклада с необходимыми иллюстрациями.

#### **Темы для докладов (рефератов)**

- Порядок проведения количественного анализа на современных программных комплексах;
  - Точность автоматического анализа, инструментальные погрешности, погрешности, связанные с препарированием.
  - Методы получения первичной информации для количественного анализа структуры сплавов на оптическом микроскопе;
  - Методы получения первичной информации для количественного анализа изломов на растровом электронном микроскопе
  - Определение размера неметаллических включений в сталях и сплавах по ГОСТ 1778-70 «Сталь. Металлографические методы определения неметаллических включений»
  - Определение размера зерна по ГОСТ 5639-82 «Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна»

Обсуждаемые вопросы: Правила определения представительной выборки в стереологии. Порядок определения объемной доли фаз в сплаве методом Глаголева и методом секущих. Порядок определения среднего размера частиц методом секущих. Количественный анализ структуры легированной латуни. Определение плотности дислокаций в алюминиевом

сплаве.

### **Семинар 10.**

**Тема: Электронная микроскопия.**

**Задания:**

1. Конспекты соответствующих параграфов учебной литературы [1],[2] и [3].
2. Решение задач.

**Примерное задание.** Расшифровка электронно-микроскопического изображения стали после термической обработки.

3. Подготовка презентации доклада с необходимыми иллюстрациями.

**Темы для докладов (рефератов)**

- Задачи, решаемые методом электронной микроскопии.
- Методы приготовления образцов для просвечивающего электронного микроскопа
- Растровая электронная микроскопия;
- Анализ современной электронно-микроскопической техники;
- Методы повышения разрешающей способности при электронно-микроскопических исследованиях.

Обсуждаемые вопросы: Физические основы рентгеноструктурного, электронно-микроскопического, спектрального, микрорентгеноспектрального, магнитного, акустического анализа. Теоретические основы рентгеноструктурного метода исследований. Аппаратное обеспечение методов структурного анализа. Законы погасания дифракционных максимумов. Закон Вульфа-Брэгга. Решение практических задач структурного и фазового анализа при химико-термической обработке металлов и сплавов.

### **Семинар 11.**

**Тема: Электромагнитные методы исследования.**

**Задания:**

1. Конспекты соответствующих параграфов учебной литературы [1],[2] и [3].
2. Решение задач.

**Примерное задание.** Построение и анализ зависимости коэрцитивной силы от концентрации углерода в отожженной углеродистой стали.

3. Подготовка презентации доклада с необходимыми иллюстрациями.

**Темы для докладов (рефератов)**

- Методы прецизионного измерения удельного электросопротивления металла;
- Методы определения коэрцитивной силы ферромагнитного материала;
- Методы измерения скорости ультразвука в материале;
- Вихретоковые методы исследования материалов;
- Термоэлектрические методы исследования металлов.

Обсуждаемые вопросы: Акустические, вихретоковые, коэрцитиметрические и термоэлектрические методы исследования структурных и фазовых превращений при термической обработке металлов. Исследование превращений при отжиге, закалке, отпуске, старении. Отпускная хрупкость стали. Основные технологические схемы термической обработки деталей. Термические напряжения. Выбор и оптимизация режимов термической обработки.

### **Семинар 12.**

**Тема: Акустические методы исследования.**

**Задания:**

1. Конспекты соответствующих параграфов учебной литературы [1],[2] и [3].
2. Решение задач.

**Примерное задание.** Построение и анализ зависимости скорости ультразвука от

концентрации углерода в отожженной углеродистой стали.

3. Подготовка презентации доклада с необходимыми иллюстрациями.

#### **Темы для докладов (рефератов)**

- Методы измерения скорости ультразвука в материале;
- Вихретоковые методы исследования материалов;
- Термоэлектрические методы исследования металлов.

Обсуждаемые вопросы: Акустические, вихретоковые, коэрцитиметрические и термоэлектрические методы исследования структурных и фазовых превращений при термической обработке металлов. Исследование превращений при отжиге, закалке, отпуске, старении. Отпускная хрупкость стали. Основные технологические схемы термической обработки деталей. Термические напряжения. Выбор и оптимизация режимов термической обработки.

### **7. Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

#### **а) основная**

1. Каныгина О.Н. , Четверикова А.Г., Бердинский В.Л. Физические методы исследования веществ: Оренбург: ОГУ, 2014 - 141 с.

[https://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_red&id=330539](https://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=330539)

2. Абрикосов А.А. Основы теории металлов: Учеб. пособие / Под ред. Л.А. Фальковского - 2-е изд., доп. и испр. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. - 600 с. ISBN 978-5-9221-1097-6. [https://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view\\_red&book\\_id=67590](https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=67590)

3. Власов В.С. Металловедение: Учебное пособие для студентов / В.С. Власов. - М.: Альфа-М: ИНФРА-М, 2009. - 336 с.: ил. ISBN 978-5-98281-167-7

<http://znanium.com/bookread2.php?book=165545>

#### **б) дополнительная**

1. Грызунов В.И. Физические свойства материалов [Электронный ресурс]: учеб. пособие / В.И. Грызунов, Т.И. Грызунова, О.А. Клецова, С.Е. Крылова, Е.Ю. Приймак, Н.В. Фирсова. – 2-е изд., стер. – М.:ФЛИНТА, 2015. – 248 с.

[https://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view\\_red&book\\_id=461082](https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=461082)

2. Зуев А.Ю., Цветков Д.С. Термодинамика и структура твёрдого тела : практикум : Учебное пособие. - Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2013. - 128 с. / [https://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view\\_red&book\\_id=239717](https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=239717)

3. Овечкин М. В., Шерстобитова В. Н. Автоматизация контроля изделий на основе рентгенографии: монография. Оренбург: ОГУ, 2017 - 136 с. ISBN: 978-5-7410-1990-0

[https://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_red&id=485637](https://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=485637)

4. Комаров О. С., Керженцева Л. Ф., Макаева Г. Г. Материаловедение в машиностроении: учебник / Минск: Вышэйшая школа, 2009 – 304 с.

[https://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_red&id=144216&sr=1](https://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=144216&sr=1)

### **8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

Информационно-образовательные ресурсы:

1. Общероссийский математический портал Math-Net.Ru.

Электронные библиотечные системы:

1. Университетская библиотека онлайн <http://biblioclub.ru>

2. «Лань» <http://e.lanbook.com/>

3. ЭБС «Znanium» <http://znanium.com>

4. Научно-образовательный центр по нанотехнологиям МГУ «Фундаментальные основы нанотехнологий» <http://nano.msu.ru/education/courses/basics> [Общеобразовательные курсы лекций](#)

5. Металлографическая база данных

<http://www.modificator.ru/terms/metallography.html>

## **9. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

### **Аудитория для лекций**

Лекционные занятия проводятся в аудиториях с требуемым числом посадочных мест, оборудованные мультимедиа (например, корпус Е, № 226, количество посадочных мест – 60, мультимедийный комплекс, включающий экран, компьютер и проектор)

### **Аудитория для практических занятий:**

Корпус Е, № 304, количество посадочных мест – 24.

### **Аудитории для самостоятельной работы:**

Читальный зал корпуса «Е», количество посадочных мест – 22, 9 компьютеров (6 для читателей, 3 для сотрудников); 1 сканер.

Читальный зал корпуса «Б1», количество посадочных мест – 200. 3 компьютера для сотрудников; 1 принтер; 1 копир/принтер; 1 проектор; 2 экрана для проектора; 1 ворота «Антивор»; 1 WIFI-точка доступа. Лицензионное ПО: АИБС МаркSQL.

Компьютерный класс, корпус "Е", ауд.227, количество посадочных мест – 16, Блок системный КМ Office ТЗ-4170, монитор Philips. Лицензионное ПО: Windows 8.1 Pro договор № 50155/ЯР4393 от 12.12.2014 с ООО Софт-лайн Проекты, MathCAD Education договор № 208/13 от 10.06.2013 с ООО ЮнитАльфаСофт.