

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»

УТВЕРЖДАЮ
Первый проректор-проректор
по научной работе
_____ А.В. Коржов
« ____ » _____ 2022 г.

ПРОГРАММА

кандидатского экзамена по специальной дисциплине:

Научная специальность: 2.6.17 Материаловедение

Разработчики:

1. _____ *Винник Денис Александрович, д.х.н, доцент, заведующий кафедрой «Материаловедение и физико-химия материалов»*
2. _____ *Жеребцов Дмитрий Анатольевич, д.х.н, с.н.с. кафедры «Материаловедение и физико-химия материалов»*
3. _____ *Трофимов Евгений Алексеевич, д.х.н, доцент, профессор кафедры «Материаловедение и физико-химия материалов»*

Челябинск 2022 г.

Содержание программы

1. Перечень тем для подготовки к кандидатскому экзамену	3
2. Вопросы для подготовки к сдаче кандидатского экзамена с учетом отрасли науки	3
3. Перечень основной и дополнительной учебной литературы	13
3.1. Основная литература	13
3.2. Дополнительная литература	15
4. Условия допуска к экзамену	16
5. Процедура проведения экзамена	16

1. Перечень тем для подготовки к кандидатскому экзамену

1. Получение и свойства сплавов на основе железа (чугун и сталь).
2. Получение и свойства сплавов цветных и тугоплавких металлов (алюминий, магний, титан, никель, медь, молибден, вольфрам, ниобий, хром).
3. Материалы с особыми физическими свойствами (резистивные сплавы, сверхпроводниковые материалы, магнитные материалы).
4. Классификация, методы получения и области применения композиционных материалов.
5. Классификация, методы получения и области применения углеродных материалов.
6. Термодинамические и кинетические закономерности процесса кристаллизации.
7. Термическая обработка сплавов. Её виды и их назначение.
8. Термомеханическая обработка сплавов. Её виды и их назначение.
9. Химико-термическая обработка сплавов. Её виды и их назначение.
10. Основы порошковой металлургии.
11. Методы обработки поверхности и получения покрытий.
12. Дифракционные методы исследования структуры материалов. Классификация и области применения.
13. Электронная микроскопия. Классификация и области применения.
14. Методы локального анализа химического состава.
15. Теоретические основы и области применения термического анализа.
16. Измерение магнитных свойств материалов. Теория и практика.
17. Разновидности механических испытаний.
18. Типы химической связи в твердых телах. Электронное строение твердых тел.
19. Кристаллические и аморфные тела.
20. Дефекты кристаллического строения.
21. Фазовые равновесия в одно- и многокомпонентных системах. Виды диаграмм состояния.
22. Термодинамические и кинетические закономерности диффузии.
23. Термодинамические и кинетические закономерности коррозии металлов и сплавов. Газовая и электрохимическая коррозия.
24. Теоретические основы магнетизма. Виды и примеры магнитных материалов.
25. Классификация наноматериалов. Особенности структуры и свойств наноматериалов. Методы получения наноматериалов.

2. Вопросы для подготовки к сдаче кандидатского экзамена с учетом отрасли науки

Экзаменационные вопросы к разделу 1 «Технологии материалов»

1. Классификации материалов по химическому составу, способу получения и назначению. Металлические и неметаллические материалы.

2. Сплавы на основе железа. Углеродистые стали.
3. Белые, серые, половинчатые, ковкие и высокопрочные чугуны.
4. Легированные стали, классификации по фазовому равновесию, структуре, области применения, уровню легированности.
5. Конструкционные улучшаемые стали. Пружинные и износостойкие стали. Штамповые стали.
6. Инструментальные стали для режущего и измерительного инструмента. Быстрорежущие стали.
7. Жаропрочные феррито-перлитные, мартенситные и аустенитные стали.
8. Нержавеющие ферритные и аустенитные стали. Жаростойкие стали.
9. Цветные металлы и сплавы, легирование, термическая обработка, структура, свойства, области применения.
10. Алюминий и его сплавы.
11. Магний и его сплавы.
12. Титан и его сплавы.
13. Никель и его сплавы.
14. Медь и ее сплавы.
15. Сплавы на основе тугоплавких металлов (Mo, W, Nb, Cr). Цинк, свинец, олово и их сплавы.
16. Проводниковые и резистивные сплавы.
17. Сверхпроводящие материалы.
18. Магнитно-мягкие и магнитно-твердые материалы.
19. Сплавы с особыми упругими и тепловыми свойствами.
20. Композиционные материалы. Дисперсно-упрочненные композиционные материалы на алюминиевой и никелевой основе, структура и свойства, принципы выбора упрочнителей.
21. Волокнистые композиционные материалы на основе алюминия, титана, никеля, магния; виды и свойства упрочнителей.
22. Слоистые композиционные материалы на основе металлов, неограниченно растворяющихся друг в друге, не растворяющихся или образующих интерметаллиды.
23. Направленно кристаллизованные композиционные материалы эвтектического и неэвтектического типа.
24. Интерметаллические соединения как основа жаропрочных сплавов, получаемых направленной кристаллизацией.
25. Неметаллические материалы. Идеальная и реальная структура графита. Углеграфитовые материалы, структура и свойства. Поликристаллические алмазы, физическая классификация, структура, химический и изотопный состав, дефектность, свойства.

26. Гомогенное зарождение кристаллов в расплаве. Критический размер зародыша. Скорость образования и скорость роста кристаллических зародышей.
27. Непрерывный, ступенчатый и дислокационный механизмы роста. Кинетика кристаллизации. Диаграмма кристаллизации. Критическая скорость охлаждения расплава. Гетерогенное зарождение.
28. Отклонения от равновесия при кристаллизации. Влияние скорости охлаждения и градиента температуры расплава на микроструктуру. Концентрационное переохлаждение. Дендритная ликвация. Образование метастабильных фаз при кристаллизации. Бездиффузионная кристаллизация.
29. Структура слитка. Модифицирование. Направленная кристаллизация. Зонная плавка. Выращивание монокристаллов из расплава. Закалка из жидкого состояния.
30. Эвтектическая кристаллизация. Строение эвтектических колоний. Нормальная, аномальная и вырожденная эвтектики. Перитектическая кристаллизация.
31. Основы термической обработки. Классификация видов термической обработки: отжиги 1 и 2 рода, закалка, отпуск, старение, термомеханическая и химико-термическая обработки.
32. Гомогенизационный отжиг, изменение структуры и свойств при гомогенизационном отжиге.
33. Дорекристаллизационный и рекристаллизационный отжиги. Факторы, влияющие на размер рекристаллизованного зерна. Отжиг для уменьшения остаточных напряжений. Механизм уменьшения остаточных напряжений при отжиге.
34. Разновидности отжига 2 рода: полный, неполный, изотермический, сфероидизирующий отжиги, нормализация, патентирование.
35. Закалка без полиморфного превращения.
36. Закалка с полиморфным превращением (закалка на мартенсит). Изменение свойств при закалке на мартенсит. Критическая скорость охлаждения при закалке, прокаливаемость. Способы закалки: в одной охлаждающей среде, в двух средах, ступенчатая, изотермическая (бейнитная), с обработкой холодом, поверхностная.
37. Старение. Изменение свойств сплавов при старении. Дисперсионное твердение. Естественное и искусственное старение. Перестаривание.
38. Отпуск. Изменение фазового состава, микроструктуры и субструктуры при отпуске сталей. Обратимая и необратимая отпускная хрупкость.
39. Термомеханическая обработка. Низкотемпературная и высокотемпературная термомеханическая обработка сталей и стареющих сплавов.
40. Химико-термическая обработка. Изменения состава и структуры при химико-термической обработке. Однофазная и многофазная диффузионные зоны. Связь строения диффузионного

слоя с диаграммой состояния. Диффузионное насыщение неметаллами и металлами. Диффузионное удаление элементов.

41. Порошковая металлургия, основные технологические этапы.
42. Методы обработки поверхности и получения покрытий. Электронно-лучевая и лазерная обработка. Ионная имплантация. Ионно-плазменное распыление. Термическое напыление. Осаждение из газовой фазы. Электролитическое осаждение.

Экзаменационные вопросы к разделу 2 «Физические методы исследований»

1. Дифракционные методы исследования атомной структуры материалов. Особенности распространения волн в периодических структурах. Закон Вульфа-Брэгга. Обратная решетка.
2. Основные методы рентгеноструктурного анализа. Рентгеновская дифрактометрия. Качественный и количественный рентгеновский фазовый анализ. Электронография и нейтронография.
3. Рентгенографический анализ текстур, остаточных напряжений, дефектов кристаллической решетки, типа твердого раствора, химического дальнего порядка.
4. Просвечивающая и растровая электронная микроскопия, анализ фазового состава, микроструктуры и дефектов кристаллического строения.
5. Методы локального анализа химического состава. Микрорентгеноспектральный анализ. Оже-электронная спектроскопия. Рентгеноэлектронная спектроскопия (электронная спектроскопия для химического анализа). Масс-спектроскопия вторичных ионов.
6. Изучение микроструктуры с помощью световой микроскопии. Методы количественной металлографии.
7. Методы измерения физических свойств. Термический анализ. Абсолютный и дифференциальный методы измерения.
8. Калориметрия; методы смешения, ввода и протока тепла; сканирующая, модуляционная и импульсная калориметрия.
9. Дилатометрия; оптический, емкостный, индуктивный датчики перемещения.
10. Методы измерения теплопроводности.
11. Измерение магнитных свойств диа-, пара- и ферромагнетиков.
12. Определение параметров кривой намагничивания и петли гистерезиса в статическом и динамическом режимах измерения. Термомагнитный анализ.
13. Применение измерений физических свойств для решения материаловедческих задач (изучения изменений структуры и фазовых превращений).
14. Методы механических испытаний. Испытания на растяжение, сжатие, изгиб, кручение.
15. Измерение микротвердости и твердости по Бринеллю, Роквеллу, Виккерсу.

16. Испытания на ползучесть, длительную прочность, релаксацию напряжений. Усталостные испытания.

Экзаменационные вопросы к разделу 3 «Основы современного материаловедения»

1. Основные типы химической связи в твердых телах. Потенциалы межатомного взаимодействия. Энергия связи металлических, ковалентных, ионных кристаллов. Равновесное межатомное расстояние.
2. Электронное строение твердых тел с различным типом связи. Модель свободных электронов для металлов. Вырожденный электронный газ. Плотность состояний. Поверхность Ферми. Зонная теория твердых тел, энергетический спектр электронов в кристалле, деление тел на проводники, полупроводники и диэлектрики.
3. Кристаллические тела. Трансляционная симметрия. Элементарная ячейка кристаллической решетки. Кристаллические сингонии. Решетки Бравэ.
4. Точечные и пространственные группы симметрии. Координационное число, плотность упаковки. Кристаллографические индексы плоскостей и направлений в решетке. Анизотропия свойств кристаллов.
5. Аморфное состояние, металлические стекла. Нанокристаллы. Квазикристаллы.
6. Эвтектоидное превращение, механизм и кинетика. Эвтектоидное превращение в сталях. Строение перлита. Диаграммы изотермических превращений. Термокинетические диаграммы.
7. Мартенситное превращение. Термодинамика, механизм и кинетика мартенситного превращения. Микроструктура и субструктура мартенсита. Обратимость превращения. Эффект памяти формы.
8. Бейнитное превращение. Механизм и кинетика бейнитного превращения. Строение бейнита.
9. Распад пересыщенного твердого раствора. Кластеры, зоны Гинье-Престона. Когерентные, частично когерентные и некогерентные выделения. Роль вакансий, дислокаций и границ зерен в процессах выделения.
10. Изменения структуры при холодной пластической деформации. Кристаллографическая и металлографическая текстуры деформации, механизмы их образования. Анизотропия свойств текстурованных материалов.
11. Изменения структуры при нагреве после холодной деформации. Возврат (отдых, полигонизация). Первичная, собирательная и вторичная рекристаллизация. Кристаллографическая текстура рекристаллизованного материала, механизм ее образования.
12. Изменения структуры при горячей деформации. Динамический возврат и динамическая рекристаллизация.

13. Точечные дефекты. Вакансии и межузельные атомы. Равновесная концентрация точечных дефектов. Неравновесные точечные дефекты. Рождение, миграция и сток вакансий. Группы вакансий.
14. Дислокации. Вектор Бюргерса. Плотность дислокаций. Краевая, винтовая и смешанная дислокации. Скольжение и переползание дислокаций. Поле напряжений и энергия дислокаций. Взаимодействие дислокаций. Образование и размножение дислокаций. Взаимодействие дислокаций и примесных атомов.
15. Твердые растворы замещения, внедрения и вычитания. Упорядоченные твердые растворы. Электронные соединения (фазы Юм-Розери), фазы внедрения, фазы Лавеса, σ -фазы.
16. Равновесие фаз в многокомпонентных системах. Фазовые переходы I и II рода. Правило фаз.
17. Диаграммы состояния двойных и тройных систем с непрерывным рядом твердых растворов, с эвтектическими, перитектическими и монотектическими равновесиями, с конгруэнтно и инконгруэнтно плавящимися промежуточными фазами, с полиморфизмом компонентов.
18. Феноменологические законы диффузии. Самодиффузия и гетеродиффузия. Механизмы диффузии, роль точечных дефектов, диффузия по дислокациям и границам зерен. Температурная зависимость коэффициента диффузии.
19. Диффузия в поле градиента концентраций. Концентрационная зависимость коэффициентов диффузии. Диффузия в силовых полях.
20. Пластическая деформация скольжением и двойникованием. Диаграммы деформации моно- и поликристаллов. Деформационное упрочнение; влияние на него температуры и скорости деформации. Теория предела текучести.
21. Основные механические характеристики материалов. Пределы пропорциональности, упругости, текучести и прочности, истинное сопротивление разрыву, характеристики пластичности при растяжении, твердость, вязкость разрушения и ударная вязкость.
22. Упрочнение при образовании твердых растворов и при выделении избыточных фаз. Влияние размера зерна на механические свойства.
23. Хрупкое и вязкое разрушение. Механизмы зарождения трещин. Распространение трещин при хрупком и вязком разрушении. Критерии вязкости разрушения. Строение изломов. Переход от хрупкого разрушения к вязкому. Порог хладноломкости.
24. Жаропрочность. Стадии ползучести. Релаксация напряжений. Длительная прочность. Влияние состава и структуры материала на жаропрочность.
25. Усталость. Диаграммы усталости. Механизм усталостного разрушения. Факторы, влияющие на усталостную прочность.
26. Окисление, термодинамика и кинетика процесса. Легирование с целью защиты от окисления. Внутреннее окисление.

27. Электрохимическая коррозия. Равномерная, межкристаллитная, точечная коррозия. Коррозия под напряжением. Коррозионное растрескивание. Коррозионная усталость. Коррозия в жидких металлах.
28. Термическое расширение. Температурный коэффициент линейного расширения гетерогенных материалов.
29. Теплоемкость. Квантовые теории решеточной теплоемкости Эйнштейна и Дебая. Температура Дебая. Спектр нормальных колебаний решетки. Фононы. Изменение теплоемкости при фазовых и структурных превращениях.
30. Теплопроводность материалов. Кинетическая теория теплопроводности. Время и длина свободного пробега. Решеточная (фононная) теплопроводность; фонон-фононное рассеяние, рассеяние фононов на дефектах кристаллической решетки и примесях, изотопическое рассеяние. Электронная теплопроводность; рассеяние электронов проводимости на фононах, примесях и дефектах.
31. Электропроводность. Электроны проводимости. Время релаксации. Рассеяние электронов на фононах, дефектах решетки, примесях. Влияние температуры и легирования на электрическое сопротивление металлов и полупроводников. Сопротивление твердых растворов. Связь электро- и теплопроводности металлов. Электрическая проводимость гетерогенных сплавов.
32. Магнитные свойства. Диамагнетизм и парамагнетизм атомов. Закон Кюри.
33. Диамагнетизм и парамагнетизм электронного газа. Магнитное упорядочение.
34. Ферромагнетизм. Обменное взаимодействие.
35. Ферромагнитные домены. Доменные границы.
36. Энергия магнитной анизотропии.
37. Характеристики петли гистерезиса и кривой намагничивания ферромагнетика.
38. Теория коэрцитивной силы.

Экзаменационные вопросы к разделу 4 «Магнитные материалы»

1. Теория кривой намагничивания. Особенности процессов намагничивания и размагничивания.
2. Теория магнитной кристаллической анизотропии. Константы магнитной анизотропии и их температурная зависимость.
3. Доменная структура ферромагнетиков. Типы доменной структуры.
4. Однодоменное состояние. Анизотропия формы однодоменных частиц. Процессы перемагничивания однодоменных частиц.
5. Магнитные свойства кристаллических магнитно-мягких сплавов. Структура и кристаллографическая текстура магнитно-мягких сплавов и их влияние на магнитные свойства.
6. Аморфные магнитно-мягкие сплавы. Основные виды магнитной анизотропии в них. Влияние

структуры сплавов на их магнитную анизотропию. Факторы, определяющие магнитные свойства аморфных магнитно-мягких сплавов.

7. Основные характеристики магнитно-твердых сплавов. Природа магнитного гистерезиса и магнитной анизотропии в этих сплавах.
8. Высококоэрцитивные сплавы с анизотропией полей рассеяния. Факторы, влияющие на величину анизотропии.
9. Сплавы с высокой магнитной кристаллографической анизотропией. Особенности перемагничивания высокоанизотропных ферромагнетиков. Микроструктура и магнитная структура магнитно-твердых сплавов с высокой анизотропией.

Экзаменационные вопросы к разделу 4 «Современные методы исследования структуры материалов»

1. Рентгеновский фазовый анализ с использованием пакетов компьютерных программ. Определение периодов кристаллической решетки.
2. Определение кристаллической структуры по дифракционным спектрам поликристаллов с использованием программных пакетов.
3. Определение размеров и формы малых частиц по малоугловому рассеянию рентгеновских лучей.
4. Специальные методы создания контраста в просвечивающей электронной микроскопии. Анализ включений с помощью ПЭМ (виды контраста). Виды контраста в растровой электронной микроскопии.
5. Аморфные металлические сплавы. Критерии склонности к аморфизации. Объемные аморфные сплавы. Принципы подбора составов для объемной аморфизации. Устойчивость аморфного состояния.
6. Получение аморфных, нанокристаллических сплавов и сплавов на основе интерметаллидов путем механического синтеза и последующей обработки порошков.

Экзаменационные вопросы к разделу 5 «Физико-химия наносистем»

1. Классификация и терминология в области наноматериалов. Особенности структуры и свойств наноматериалов.
2. Поверхностные свойства твердых тел при переходе к наноструктурному состоянию.
3. Различия термодинамических свойств вещества на поверхности и в объеме. Поверхностная энергия. Анизотропия поверхностной энергии.
4. Химический потенциал как функция кривизны поверхности. Процессы на поверхности и в приповерхностных слоях.
5. Механизмы, приводящие к уменьшению поверхностной энергии: электростатическая стабиль-

лизация; стерическая (или пространственная) стабилизация; смешанные стерические и электрические взаимодействия.

6. Нульмерные структуры: наночастицы, квантовые точки. Образование нульмерных наноструктурных материалов. Гомогенное зародышеобразование. Механизмы роста зародышей. Стадии роста кристаллов.
7. Гетерогенное зародышеобразование наночастиц. Различия при гомогенном и гетерогенном зародышеобразовании. Кинетические ограничения при синтезе наночастиц.
8. Одномерные наноструктуры. Физико-химические основы процессов формирования одномерных наноматериалов (нанотрубок, нановолокон, наностержней и т.д.). Самопроизвольный рост одномерных структур. Методы испарения (растворения) и конденсации, выращивание из пара, жидкости или твердой фазы. Синтез на подложке.
9. Двумерные наноструктуры – тонкие пленки. Механизмы роста пленок.
10. Закономерности образования монокристаллических, аморфных и поликристаллических пленок.
11. Связь между аморфным, кристаллическим, квазикристаллическим и нанокристаллическим состояниями вещества.
12. Механизмы зародышеобразования и роста наноразмерных частиц.
13. Основные размерные характеристики наночастиц, гранулометрический состав порошка, морфология нанопорошков, удельная поверхность.
14. Классификация методов формирования наноматериалов. Требования к методам получения наноразмерных систем.
15. Физические методы получения наноматериалов. Методы получения наноразмерных систем.
16. Методы получения наноматериалов испарением с последующей конденсацией. Методы распыления. Вакуум-сублимационная технология. Закалка из жидкого состояния.
17. Способы получения наноматериалов, основанные на твердофазных превращениях (кристаллизация из аморфного состояния, облучение, механоактивация).
18. Химические методы получения наноматериалов. Получение нанодисперсных порошков с использованием химических реакций (методы осаждения, восстановления, пиролиза, пропитки, гетерофазное взаимодействие, золь-гель метод).
19. Электрохимические методы получения металлических нанопорошков.
20. Комбинирование химических и физических методов в ходе получения нанопорошков, механохимические реакции. Биологические подходы к получению наноматериалов.
21. Получение нанотрубок в ходе химических реакций.
22. Методы получения тонких пленок.
23. Физическое осаждение из пара (PVD) (методы испарения-осаждения: электронно-лучевое

- испарение, ионно-плазменный метод, лазерная абляция молекулярно-лучевая эпитаксия).
24. Химическое осаждение из пара (CVD).
 25. Типичные химические реакции при напылении нанопленок (пиролиз; водородное восстановление; окисление; диспропорционирование, окисление и др.).
 26. Электрохимическое осаждение. Золь-гель пленки. Формирование органо-неорганических пленок.
 27. Объемные наноматериалы. Методы получения объемных наноматериалов. Методы интенсивной пластической деформации (равноканальное угловое прессование; кручение под высоким давлением, метод всестороннейковки и др.).
 28. Получение нанопорошков и объемных наноматериалов механическим воздействием. Термомеханические методы. Механохимический метод.
 29. Методы консолидации нанопорошков (прессование, спекание; прокатка). Модифицирование материалов добавками наночастиц.
 30. Особенности структуры наноматериалов (искажения и изменения периодов кристаллической решетки). Особенности фазовых превращений в наноматериалах.
 31. Особенности свойств наноматериалов (электрические, оптические, магнитные).
 32. Особенности механических свойств наноматериалов. Влияние морфологии и размеров частиц на прочность и пластичность. Микротвердость наноматериалов. Упругие свойства и модули упругости. Демпфирующие свойства. Износостойкость.
 33. Тепловые характеристики наноматериалов. Особенности фононного спектра наноматериалов. Размерная зависимость температуры Дебая. Теплоемкость наноматериалов. Тепловое расширение и теплопроводность.
 34. Диффузионные свойства наноматериалов. Особенности механизмов диффузии в наноматериалах. Диффузия в наноматериалах, полученных компактированием порошков. Диффузия в объемных наноструктурных средах.
 35. Химические свойства наноматериалов. Проявление размерного эффекта в химических процессах. Особенности окислительных процессов в наноматериалах. Каталитические свойства наноматериалов.
 36. Размерные эффекты в наноматериалах.
 37. Кристаллизация аморфных сплавов. Аморфные металлические сплавы. Критерии склонности к аморфизации. Устойчивость аморфного состояния. Свойства аморфных материалов. Методы получения аморфных материалов. Объемные аморфные сплавы. Принципы подбора составов для объемной аморфизации.

Экзаменационные вопросы к разделу 6 «Высокотемпературные материалы и покрытия»

1. Физико-химические и термомеханические проблемы совместимости компонентов композиционного материала. Оптимальная объемная доля дисперсной фазы в композиционном материале. Основные характеристики функциональных поверхностей.
2. Принципы создания наноструктурных покрытий. Механизмы повышения твердости наноструктурных покрытий. Твердые и изностойкие покрытия. Влияние наноструктурирования на свойства покрытий.
3. Классификация методов формирования напыленных покрытий на поверхности изделий. Основы технологии плазменных, газопламенных и газофазных покрытий. Покрытия на изделиях инструментального и конструкционного назначения.
4. Подготовка порошкообразных и проволоочных материалов к напылению. Подготовка изделий к нанесению на их поверхность покрытий.
5. Основы плазмотехники. Газы и их смеси, используемые при плазменном и газоплазменном напылении.
6. Адгезия. Влияние физических свойств контактирующих материалов и технологических условий на величину адгезии и пути ее увеличения.
7. Общая характеристика свойств порошковых изделий. Зависимость их физических и механических свойств от пористости и особенностей структуры. Технологические испытания. Методы обработки порошковых материалов.
8. Общая характеристика свойств материалов с напыленными покрытиями. Зависимость их физических и механических свойств от пористости и структуры основы, покрытия и переходной зоны между ними. Сплошность и газонасыщенность и пути управления этими свойствами. Методы обработки покрытий.

3. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

3.1. Основная литература

1. Лахтин, Ю. М. Материаловедение Текст учеб. для втузов Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. - 5-е изд., стер. - М.: Издательский дом Альянс, 2009. - 527 с.
2. Никулин С.А., Турилина В.Ю. Материаловедение и термическая обработка металлов. Специальные стали. – М.: МИСиС «Учеба», 2007.
3. Нарва В.К. Технология получения порошковых материалов и изделий. Курс лекций. – М.: МИСиС, 2012.
4. Новиков И.И., Золоторевский В.С., В.К. Портной и др. Металловедение. Учебник. В 2-х томах. – М.: МИСиС, 2014.
5. Материаловедение и технология конструкционных материалов: учеб, для студентов вузов / В.Б. Арзамасов, А.Н. Волчков и др.; ред.: В.Б. Арзамасов, А.А. Черепяхин. – 3-е изд., стер. – Москва: Академия, 2011. – 447 с.

6. Тарасов А.В. Общая металлургия / А.В.Тарасов, Н.И. Уткин. – М.: Металлургия, 1997. – 592 с.
7. Педос С.И., Шугаев В.А. Теория формирования покрытий. Методы получения покрытий. Учебное пособие. – М.: МИСиС "Учёба", 2007.
8. Кузнецов Г.Д., Кушхов А.Р. Ионно-плазменная обработка материалов: Курс лекций. – М.: МИСиС, 2008.
9. Лившиц Б.Г., Крапошин В.С., Линецкий Я.Л. Физические свойства металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1980. – 320 с.
10. Кекало И.Б. Самарин Б.А. Физическое металловедение прецизионных сплавов. Сплавы с особыми магнитными свойствами. – М.: Металлургия, 1989. – 496 с.
11. Процессы получения и обработки материалов: Получение тугоплавких металлов из соединений / Челноков В.С., Блинков И.В., Аникин В.Н. и др. – М.: Изд.Дом МИСиС, 2017.
12. Островский В.С. Основы материаловедения искусственных графитов. – М.: Metallurgizdat, 2011.
13. Высокотемпературные материалы / Елютин В.П., Костиков В.И., Лысов Б.С. и др. – М.: Металлургия, 1973.
14. Витязь, П. А. Наноматериаловедение: учебное пособие / П. А. Витязь, Н. А. Свидунов, Д. В. Куис // Изд-во: Высшая школа, Минск, 2015 г. – 512 с.
15. Наноструктуры и наноматериалы. Синтез, свойства и применение / Цао Гочжун, Ин Ван, Пер. с англ. А.И. Ефимова, С.И. Каргов. - 2-е изд., англ. - ил. – Изд-во: Научный мир, Москва, 2012 г. – 520 с.
16. Борман В.Д. Физика, технологии и применение наносистем и наноматериалов // Изд-во: МИФИ, Москва, 2012 г. – 652 с.
17. Суздаев И. П. Нанотехнология. Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов // Изд-во: Либроком, Москва, 2013 г. – 592 с.
18. Свойства и применение наноматериалов Учебное пособие / В.К. Воронов, Д. Ким, А.С. Янюшкин // Изд-во: ТНТ, Москва, 2012 г. – 220 с.
19. Наноструктурные покрытия и наноматериалы: Основы получения. Свойства. Области применения: Особенности современного наноструктурного направления в нанотехнологии / Азаренков Н.А., Береснев В.М., Погребняк А.Д.// Изд-во: Книжный дом «Либроком», Москва, 2012 г. – 168 с.
20. Елисеев А. А., Лукашин А. В. Функциональные наноматериалы. Под ред. Ю.Д. Третьякова. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 456 с.
21. Вознесенский, Э.Ф. Методы структурных исследований материалов. Методы микроскопии / Э.Ф. Вознесенский, Ф.С. Шарифуллин, И.Ш. Абдуллин; Министерство образования и науки

- России, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет». – Казань : Издательство КНИТУ, 2014. – 184 с.
22. Наноматериалы и нанотехнологии : учебник для вузов / Е. И. Пряхин, С. А. Вологжанина, А. П. Петкова, О. Ю. Ганзуленко. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 372 с.
 23. Введение в нанотехнологию : учебное пособие / В. И. Марголин, В. А. Жабров, Г. Н. Лукьянов, В. А. Тупик. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 464 с.
 24. Нанотехнологии и электроника : учебное пособие / составитель М. А. Нефёдова. — Курск : КГУ, 2022. — 123 с.
 25. Рыжонков, Д. И. Наноматериалы : учебное пособие / Д. И. Рыжонков, В. В. Лёвина, Э. Л. Дзидзигури ; художник С. Инфантэ. — 6-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2021. — 368 с.
 26. Илюшин, В. А. Наноматериалы : учебное пособие / В. А. Илюшин. — Новосибирск : НГТУ, 2019. — 114 с.
 27. Поленов, Ю. В. Наноматериалы и нанотехнологии : учебник для спо / Ю. В. Поленов, Е. В. Егорова. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 180 с.
 28. Привалов, Е.Е. Основы электроматериаловедения / Е.Е. Привалов. — 2-е изд., стер. — Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2017. — 301 с.
 29. Успехи наноинженерии: электроника, материалы, структуры / под ред. Д. Дэвис, М. Томпсон. — Москва : Техносфера, 2011. — 512 с.
 30. Раков, Э. Г. Неорганические наноматериалы : учебное пособие / Э. Г. Раков. — 3-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2020. — 480 с.
 31. Сергеева, Е. А. Композиционные наноматериалы : учебное пособие / Е. А. Сергеева, Ю. А. Тимошина. — Казань : КНИТУ, 2017. — 152 с.
 32. Авдин В. В. Физические методы исследования : методы магнитного резонанса, масс-спектрометрии, зондовой и электронной микроскопии : учеб. пособие по направлению 04.03.01 "Химия" и др. / В. В. Авдин ; Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Экология и химич. технология ; ЮУрГУ. - Челябинск : Издательский Центр ЮУрГУ, 2020. - 93, [2] с.
 33. Авдин В. В. Физические методы исследования, использующие электромагнитное излучение : учеб. пособие по направлению 04.03.01 "Химия" и др. / В. В. Авдин ; Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Экология и химич. технология ; ЮУрГУ. - Челябинск : Издательский Центр ЮУрГУ, 2019. - 79, [1] с.: ил.

3.2. Дополнительная литература

1. Нанотехнологии в электронике / под редакцией Чаплыгина Ю. А. // Изд-во Техносфера, Москва, 2013 г. — 688 с.

2. Дробот, П.Н. Нанoeлектроника / П.Н. Дробот ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Томский Государственный Университет Систем Управления и Радиоэлектроники (ТУСУР). – Томск : ТУСУР, 2016. – 286 с.
3. Марков, В. Ф. Материалы современной электроники: учебное пособие / В. Ф. Марков, Х. Н. Мухамедзянов, Л. Н. Маскаева // Издательство Уральского университета, Екатеринбург, 2014 г. – 272 с.
4. Неволин, В. К. Зондовые технологии в электронике: монография / В. К. Неволин // Изд-во Техносфера, Москва, 2014 г. – 174 с.
5. Щука, А. А. Электроника : учеб. пособие для вузов / А.А. Щука. – 2-е изд. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2012. – 739 с.
6. Иванов, И.Г. Основы квантовой электроники / И.Г. Иванов ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет», Физический факультет. – Ростов-на-Дону : Издательство Южного федерального университета, 2011. – 174 с.
7. Шангина, Л.И. Квантовая и оптическая электроника / Л.И. Шангина. – Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. – 303 с.
8. Сергеев, А.Г. Нанометрология / А.Г. Сергеев. – Москва : Логос, 2011. – 415 с.
9. Корабельников, Д.В. Физика наноструктур : / Д.В. Корабельников, Н.Г. Кравченко, А.С. Поплавной ; Министерство образования и науки РФ, Кемеровский государственный университет. – Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2016. – 161 с.

4. Условия допуска к экзамену

К сдаче кандидатских экзаменов допускаются аспиранты, а также лица, имеющие высшее образование, подтвержденное дипломом специалиста или магистра, прикрепленные для подготовки диссертации на соискание ученой степени кандидата наук, сдачи кандидатских экзаменов без освоения программ подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре.

5. Процедура проведения экзамена

Экзамен проводится в устной форме с обязательным составлением развернутых ответов на специально подготовленных для этого бланках. В каждом билете содержится по три вопроса. Для ответа на билеты аспиранту/прикреплённому лицу предоставляется возможность подготовки в течение 1 часа. На экзамене аспиранту/прикреплённому лицу предоставляется право пользоваться необходимыми справочными материалами, учебной и научной литературой. Продолжительность устного ответа на экзамене, как правило, не должна превышать 30 минут. После ответа на основные вопросы билета аспиранту/прикреплённому лицу задаются дополнительные вопросы в рамках тематики программы экзамена. Результаты кандидатского экзамена объявляются

аспиранту/прикреплённому лицу в тот же день после оформления протоколов заседания комиссии. Оценка ответа проводится по пятибалльной системе.