

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«ЯКУТСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»

ОБОСОБЛЕННОЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ СЕВЕРА ИМ. В.П. ЛАРИОНОВА
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИФТПС СО РАН)



УТВЕРЖДАЮ
Директор ИФТПС СО РАН
Лепов В.В.
«05» _____ 2023 г.

ПРОГРАММА

вступительного экзамена в аспирантуру
по научной специальности
2.6.17- Материаловедение

Якутск 2023

1. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОГРАММЫ

Материаловедение – область науки и техники, занимающаяся разработкой новых материалов с заданным комплексом свойств путем установления фундаментальных закономерностей влияния состава, структуры, технологии, а также эксплуатационных и других факторов на свойства материалов. Междисциплинарный характер науки о материалах обусловлен необходимостью обеспечить научно-технический прогресс и устойчивое развитие разных отраслей промышленности и строительства за счет применения новых высокоэффективных материалов повышенной эксплуатационной надежности, интенсивных и энергосберегающих технологий, расширения и совершенствования сырьевой базы.

Основной целью вступительного экзамена в аспирантуру по специальной дисциплине по научной специальности 2.6.7- Материаловедение (промышленность) является выявление знаний и компетенций в следующих областях:

1. Теоретические и экспериментальные исследования фундаментальных связей состава и структуры материалов с комплексом физико-механических и эксплуатационных свойств с целью обеспечения надежности и долговечности материалов и изделий.
2. Теоретические и экспериментальные исследования, позволяющие выявить влияние микро- и наномасштабов на механические, физические, поверхностные и другие свойства материалов, взаимодействия материалов с окружающей средой, электромагнитным излучением и потоками.
3. Установление закономерностей и критериев оценки разрушения материалов от действия механических нагрузок и внешней среды.
4. Способностью использовать современные методы изучения, анализа и обобщения научно-технической информации по тематике исследования, а также, способностью вести поиск по тематике исследований, анализировать, систематизировать и обобщать информацию из глобальной компьютерной сети.

2. СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ПРОГРАММЫ ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА В АСПИРАНТУРУ

1. МЕТАЛЛИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ. КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МЕТАЛЛОВ

- 1.1. Основные типы химической связи в твердых телах. Особенности металлического состояния вещества; Металлы в периодической системе Д.И. Менделеева. Электронное строение и физические свойства металлов.
- 1.2. Кристаллическое строение металлов. Типичные кристаллические решетки металлов, коэффициент компактности упаковки, координационное число. Кристаллографические индексы плоскостей и направлений в кубической и гексагональной решетках. Анизотропия свойств кристаллов.

2. ФАЗЫ И ФАЗОВЫЕ РАВНОВЕСИЯ В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВАХ

- 2.1. Твердые растворы замещения, внедрения и вычитания. Упорядоченные твердые растворы. Электронные соединения, фазы Лавеса, \square -фазы, фазы внедрения.
- 2.2. Правило фаз. 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. Использование геометрической термодинамики для анализа диаграмм состояния. Отклонения от равновесия при кристаллизации сплавов в системах разного типа.

3. ДЕФЕКТЫ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ

- 3.1. Точечные дефекты. Вакансии и межузельные атомы. Равновесная концентрация точечных дефектов. Образование и миграция вакансий и бивакансий. Комплексы «вакансия - примесный атом». Поведение вакансий при закалке и отжиге металла.
- 3.2. Дислокации. Вектор Бюргера дислокаций. Плотность дислокаций. Краевая, винтовая и смещенная дислокации. Скольжение и переползание дислокаций. Пороги на дислокациях. Поле напряжений и энергия дислокации. Упругое взаимодействие дислокаций. Полные и частичные дислокации. Дислокации реакции. Дефекты упаковки. Дислокации Ломер-Котрелла. Поперечное скольжение растянутых дислокаций. Зарождение дислокаций. Размножение дислокаций, источник Франка-Рида. Сила Пайерлса-На-барро. Взаимодействие дислокаций и примесных атомов. Атмосферы Котрелла, Снука и Сузуки. Движение дислокаций с атмосферами.
- 3.3. Границы зерен и субзерен. Границы наклона и кручения. Малоугловые и высокоугловые границы. Решетка узлов совпадения. Зернограницные дислокации и ступеньки. Миграция границ и зернограницное проскальзывание. Взаимодействие границ зерен с примесными атомами. Подвижность границ разного типа.

4. ДИФФУЗИЯ В МЕТАЛЛАХ И СПЛАВАХ

4.1. Законы диффузии. Самодиффузия. Механизмы диффузии. Температурная зависимость коэффициента диффузии. Решение уравнений диффузии. Эффект Киркендалла. Диффузия во внешних силовых полях. Диффузия по дислокациям и границам зерен.

5. СТРОЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РАСПЛАВОВ И КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ СПЛАВОВ

- 5.1. Структура и свойства жидких металлов. Изменение физических свойств при плавлении и кристаллизации, результаты структурных исследований жидких расплавов.
- 5.2. Гомогенное и гетерогенное зарождение кристаллов, критический размер зародыша. Скорость роста кристаллических зародышей.
- 5.3. Коэффициент распределения. Зонная очистка. Концентрационное переохлаждение. Ячеистая и дендритная формы роста кристаллов. Распределение элементов по сечению дендритного кристалла.
- 5.4. Эвтектическая кристаллизация. Строение эвтектических колоний.
- 5.5. Влияние скорости кристаллизации на строение сплавов. Образование метастабильных фаз при кристаллизации. Металлургия гранул, бездиффузионная кристаллизация. Металлические стекла.
- 5.6. Строение металлического слитка. Модифицирование структуры литых сплавов. Зональная и местная ликвация.
- 5.7. Неметаллические включения и газы в слитке. Источники неметаллических включений, формирование их при кристаллизации слитков. Поведение неметаллических включений при горячей и холодной деформации металла. Влияние неметаллических включений на механические и физические свойства сплавов.
- 5.8. Методы получения монокристаллов из расплава.

6. ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

- 6.1. Структурные изменения при горячей деформации. Динамическая полигонизация и динамическая рекристаллизация. Возврат и рекристаллизация после горячей деформации.
- 6.2. Высокотемпературная (ВТМО) и низкотемпературная (НТМО) термомеханическая обработка. Термомеханическая обработка с деформацией во время перлитного превращения. Термомеханическая обработка дисперсионно-твердеющих сплавов

7. ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

- 7.1. Современное оборудование для закалки, отжига, отпуска, химико-термической и других видов термической обработки сталей и цветных сплавов.
- 7.2. Агрегаты непрерывного отжига и закалки. Автоматизация полного цикла термической обработки.
- 7.3. Способы достижения высоких скоростей нагрева, Охлаждения изделий при термической обработке. Внутренние напряжения и деформация изделий при термической обработке.
- 7.4. Нагрев при термической обработке изделий в защитных средах и

вакууме.

8. УПРУГАЯ И ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ. РАЗРУШЕНИЕ.

- 8.1. Диаграммы деформации моно- и поликристаллов. Системы скольжения. Деформационное упрочнение; влияние на него температуры и скорости деформации. Теория предела текучести. Эффект Баушингера.
- 8.2. Физический и технический смысл основных механических характеристик металла.
- 8.3. Упрочнение при образовании твердых растворов и при выделении избыточных фаз (когерентных и некогерентных). Влияние размера зерна на механические свойства. Сверхпластичность. Неупругость. Внутреннее трение.
- 8.4. Хрупкое и вязкое разрушение. Схемы зарождения трещин. Распространение трещин при хрупком и вязком разрушении. Порог хладноломкости. Природа хладноломкости металлов с ОЦК-решеткой. Строение изломов.
- 8.5. Жаропрочность. Стадии ползучести. Релаксация напряжений. Длительная прочность. Влияние состава и структуры сплавов на жаропрочность.
- 8.6. Усталостная прочность. Диаграммы усталости. Механизм усталости. Факторы, влияющие на усталостную ползучесть. Контактная усталость.

9. ПРОМЫШЛЕННЫЕ СПЛАВЫ. ОСНОВЫ ЛЕГИРОВАНИЯ, ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ: СВОЙСТВА, ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

- 9.1. Углеродистая сталь. «Кипящие», «полуспокойные» и спокойные стали. Низколегированные стали повышенной прочности. Конструкционные поверхностно-упрочняемые стали. Конструкционные улучшаемые стали. Пружинные и износостойкие стали. Штамповые стали для горячей и холодной штамповки. Инструментальные стали для режущего и измерительного инструмента. Быстрорежущие стали. Твердые сплавы. Жаропрочные феррито-перлитные, мартенситные и аустенитные стали. Нержавеющие ферритные и аустенитные стали. Окалиностойкие стали. Чугуны, Модифицирование чугунов.
- 9.2. Алюминий и его сплавы. Титан и его сплавы. Медь и ее сплавы. Никель и его сплавы. Магний и его сплавы. Сплавы на основе тугоплавких металлов (Mo, W, Nb, Cr). Цинк, свинец, олово и их сплавы. Сплавы на основе благородных металлов. Уран и его сплавы. Сплавы редких металлов.
- 9.3. Сплавы с особыми физическими свойствами: высоким и низким электросопротивлением, магнитно-твердые и магнитно-мягкие стали и сплавы, сплавы с особыми упругими и тепловыми свойствами, Сверхпроводящие сплавы. Криогенные стали и сплавы.
- 9.4. Композиционные материалы: армированные, волокнами, дисперсноупрочненные сплавы и сплавы, полученные кристаллизацией расплава.

3. ВОПРОСЫ ДЛЯ ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ В АСПИРАНТУРУ

1. Задачи по повышению качества, надёжности и долговечности деталей машин и инструментов.
2. Сплавы железа с углеродом. Железо. Диаграмма состояния сплавов железа с углеродом. Влияние углерода, постоянных примесей и легирующих элементов на свойства стали. Классификация и маркировка стали. Стали общего назначения. Чугуны.
3. Титан и его сплавы.
4. Атомно-кристаллическое строение металлов. Металлы и неметаллы. Кристаллическое строение металлов. Кристаллизация. Дефекты кристаллической решётки в реальных кристаллах. Превращения в твёрдом состоянии. Полиморфизм. Магнетизм.
5. Методы исследования металлов. Световая микроскопия. Электронная микроскопия. Рентгеноструктурный анализ. Локальный анализ состава по электронным спектрам. Методы измерения механических свойств. Статические и динамические испытания. Измерение твёрдости.
6. Конструкционные стали (цементируемые, улучшаемые, пружинные, шарикоподшипниковые, автоматные).
7. Строение сплавов. Фазы в сплавах. Диаграмма состояния. Основные типы диаграмм состояния. Основные типы диаграмм состояния двухкомпонентных сплавов. Связь между свойствами сплавов и типом диаграммы состояния.
8. Термомеханическая обработка. Структурные изменения при горячей деформации. Высокотемпературная (ВТМО) и низкотемпературная (НТМО) термомеханическая обработка.
9. Инструментальные стали (для режущих инструментов, быстрорежущие, для штампов холодного деформирования, для литейных прессформ, для измерительных инструментов).

10. Механические свойства металлов. Упругая и пластическая деформация. Хрупкое и вязкое разрушение. Порог хладноломкости. Наклеп и рекристаллизация.
11. Медь и её сплавы. Латунни, бронзы.
12. Теория термической обработки и диаграмма состояния. Основные виды термической обработки стали. Образование аустенита из перлита и рост аустенитного зерна при нагреве. Рост аустенита и влияние его на ферритто-цементитную смесь при охлаждении. Перлит. Сорбит. Тростит. Бейнит. Мартенситное превращение аустенита. Превращение при отпуске закаленной стали.
13. Химико-термическая обработка. Закономерности изменения состава и структуры поверхностных слоёв при химико-термической обработке. Цементация. Нитроцементация. Азотирование. Диффузионная металлизация.
14. Алюминий и его сплавы. Дуралюмины. Силумины.
15. Технология термической обработки стали. Отжиг первого рода: гомогенизационный отжиг, рекристаллизационный отжиг и отжиг для снятия напряжений. Отжиг второго рода (перекристаллизационный) полный отжиг, неполный отжиг, сфероидальный отжиг, изотермический отжиг. Нормализация. Закалка (выбор температуры нагрева под закалку, время нагрева, окисление и обезуглероживание стали при нагреве, охлаждающие среды для закалки, прокаливаемость стали, внутреннее напряжения, способы закалки). Отпуск закаленной стали (низкий, средний, высокий). Поверхностная закалка с высокочастотным нагревом и с газопламенным нагревом.
16. Термическое оборудование. Печи. Материалы для постройки печей. Топливо и электрический источник тепла для термических печей. Установки для скоростного нагрева ТВЧ. Закалочные банки и ванны, холодильные машины. Оборудование для правки и очистки деталей, приборы для теплового контроля и регулирования.
17. Стали и сплавы с особыми физическими свойствами.

18. Сплавы железа с углеродом. Железо. Диаграмма состояния сплавов железа с углеродом. Влияние углерода, постоянных примесей и легирующих элементов на свойства стали. Классификация и маркировка стали. Стали общего назначения.

19. Термомеханическая обработка. Структурные изменения при горячей деформации. Высокотемпературная (ВТМО) и низкотемпературная (НТМО) термомеханическая обработка.

20. Специальные сплавы и стали. Конструкционные стали (цементируемые, улучшаемые, пружинные, шарикоподшипниковые, автоматные.) Стали и сплавы с особыми физическими свойствами (магнитотвёрдые, магнитомягкие с высоким электросопротивлением, с особыми тепловыми и упругими свойствами).

21. Цветные металлы и сплавы. Медь и её сплавы. Латунь, бронзы, алюминий и его сплавы. Дуралюмины. Силумины. Титан и его сплавы.

4. ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ РЕФЕРАТА

В том случае, если у кандидата в аспиранты нет публикаций по теме будущей диссертационной работы, ему необходимо составить вступительный реферат. Тема реферата определяется будущим руководителем диссертационной работы. Вступительный реферат по специальности должен носить исследовательский характер. Он оформляется в виде очерка объемом 20-25 страниц машинописного текста. В нем должны содержаться развернутое обоснование темы, обзор литературы по предмету с соответствующим обобщением и постановкой исследовательской задачи, исследовательская часть - анализ фактического материала, заключение, суммирующее результаты анализа, правильно оформленный научный аппарат.

В реферате автор должен обнаружить четкое понимание проблемы, знание дискуссионных вопросов, связанных с ней, умение подбирать и проанализировать фактический материал, умение сделать из него обоснованные выводы, наметить перспективу дальнейшего исследования.

Работа должна иметь поля (сверху, слева — 2,5; справа, внизу — 2,0). Ориентация: книжная, выравнивание по ширине. Шрифт: размер (кегель) – 14, тип - Times New Roman. Интервал текста: одинарный. Абзацный отступ: 1,25. Страницы нумеруются. Переносы не допускаются. Рисунки, графики и таблицы должны быть выполнены в программе MS Word или MS Excel и не выходить за параметры страницы. Название и номера рисунков указываются под рисунками, названия и номера таблиц – над таблицами. Формулы выполняются в MS Equation. Реферат обязательно должен содержать список литературы и сноски на цитируемый материал, расположенные по тексту. Содержание должно иметь введение, несколько разделов или глав, заключение.

5. КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКЗАМЕНА

Отметка «отлично» выставляется при глубоком и прочном усвоении программного материала, исчерпывающем изложении. В ответе увязывается теория с практикой, показывается знакомство с монографической литературой.

Отметка «хорошо» выставляется при твердом знании программного материала, экзаменуемый не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос.

Отметка «удовлетворительно» выставляется при знаниях только основного материала, не усвоении его деталей, допущении в ответе неточностей, недостаточно правильных формулировках основных законов и правил.

Отметка «неудовлетворительно» выставляется при отсутствии знаний значительной части программного материала и допущении существенных ошибок.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

1. Лахтин, Ю. М. Материаловедение: учеб. / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. - М.: Альянс, 2009 - 527 с.
2. Фетисов, Г. П. Материаловедение и технология металлов: Учебник / Г.П. Фетисов, Ф.А. Гарифуллин. - М.: Оникс, 2014. - 397 с.
3. Фетисов, Г. П. Материаловедение и технология материалов. В 2 ч. Часть 1 : учебник для академического бакалавриата / под ред. Г. П. Фетисова. — 8-е изд., перераб. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2022 — 406 с.
4. Фетисов, Г. П. Материаловедение и технология материалов. В 2 ч. Часть 2 : учебник для академического бакалавриата / под ред. Г. П. Фетисова. — 8-е изд., перераб. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2021 — 410 с.
5. Арзамасов, Б. Н. Материаловедение : учебник для вузов / Б. Н. Арзамасов, В. И. Макарова, Г. Г. Мухин и др. ; Под общ. ред. Б. Н. Арзамасова, Г. Г. Мухина - Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. - 648 с.
6. Материаловедение : учебное пособие для вузов / Л.В. Тарасенко, С.А. Пахомова, М.В. Унчикова, С.А. Герасимов / под ред. Л.В. Тарасенко — М. :ИНФРА-М, 2018. — 475 с.
7. Сироткин, О. С. Основы современного материаловедения: Учебник/О.С. Сироткин - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2019. - 364 с.
8. Гуляев, А. П. Металловедение: учебник для вузов / А. П. Гуляев. - 7-е изд., перераб. И доп. - М.: Альянс, 2011 - 643 с.
9. Колачев Б.А., Елагин В.И., Ливанов В.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. Учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. - М.: «МИСИС», 1999. -416 с.
10. Золоторевский В.С. Механические свойства металлов Учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. - М.: «МИСИС», 1998. -400 с.

Дополнительная литература

1. Сталь на рубеже веков / Под ред. Ю.С. Карабасова. - М.: Изд-во МИСИС, 2001. - 664 с.
2. Гольдштейн М.И., Грачев С.В., Векслер Ю.Г. Специальные стали. Специальные стали : учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МИСиС, 1999. 408 с.
3. Гаршин А. П., Зайцев Г. П. Композиционные материалы в машиностроении. Керамические материалы: учебное пособие для вузов – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2023. – 412 с.
4. Зорин, Н. Е. Материаловедение сварки. Сварка плавлением / Н. Е. Зорин, Е. Е. Зорин. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 164 с.
5. Галимов, Э. Р. Современные конструкционные материалы для машиностроения : учебное пособие для спо / Э. Р. Галимов, А. Л. Абдуллин. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 268 с.
6. Солнцев, Ю. П. Специальные материалы в машиностроении : учебник / Ю. П. Солнцев, Е. И. Пряхин, В. Ю. Пиирайнен. — 2-е изд., испр. и доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 664 с.

7. Гуляев, В. П. Специальный раздел механики. Деформации и разрушение стальных изделий : учебное пособие / В. П. Гуляев. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 232 с.
8. Захаров, А. Ю. Теоретические основы физического материаловедения. Статистическая термодинамика модельных систем : учебное пособие / А. Ю. Захаров. — 2-е изд., испр. и доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2016. — 256 с.
9. Готтштайн Г. Физико-химические основы материаловедения [Электронный ресурс] / Г. Готтштайн ; пер. с англ. К. Н. Золотовой, Д. О. Чаркина под ред. В. П. Зломанова. — 2-е изд. (эл.). — Электрон. текстовые дан. (1 файл pdf : 403 с.). — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. 400 с.
10. Малинина, Р.И. Материаловедение: сплавы Fe-C: Сборник задач / Р.И. Малинина. - М.: МИСиС, 2013. - 68 с.