

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)



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, □-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 Бюргерса 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-Коттрелла. Поперечное скольжение растянутых дислокаций. Зарождение дислокаций. Размножение дислокаций, источник Франка-Рида. Сила Пайерлса-На-барро. Взаимодействие дислокаций и примесных атомов. Атмосферы Коттрелла, Снука и Сузуки. Движение дислокаций с атмосферами.
- 3.3. Границы зерен и субзерен. Границы наклона и кручения. Малоугловые и высокоугловые границы. Решетка узлов совпадения. Зернограничные дислокации и ступеньки. Миграция границ и зернограничное 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. Латуни, 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. 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.