

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова  
Сибирского отделения Российской академии наук**

«Утверждаю»

Директор, член-корр. РАН  
М.П. Лебедев

«12» февраля 2015г.

**ПРОГРАММА**

**вступительного экзамена при поступлении в аспирантуру очной  
формы обучения по научному направлению  
22.06.01 «Технология материалов» по профилю «Материаловедение  
(промышленность)»**

Квалификация (степень)

**кандидат наук**

Форма обучения

**очная, заочная**

**Якутск 2015**

Программа вступительного экзамена в аспирантуру по научному направлению 22.06.01 «Технологии материалов» по профилю «Материаловедение (промышленность)» разработана на основании следующих нормативных документов:

- Федеральный Закон «Об образовании в Российской Федерации», № 273-ФЗ от 29.12.2012;
- Приказ Минобрнауки России от 30.07.2014 № 888 об утверждении Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 22.06.01 Технологии материалов (уровень подготовки кадров высшей квалификации);
- Приказ Минобрнауки РФ от 19.11.2013 №1259 "Об утверждении Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по программам высшего образования - программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре)";
- Приказ Минобрнауки РФ от 26.03.2014 № 233 "Об утверждении Порядка приема на обучение по образовательным программам высшего образования - программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре";
- Приказ Минобрнауки РФ от 02.09.2014 №1192 "Об установлении соответствия направлений подготовки высшего образования - подготовки кадров высшей квалификации по программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре";
- Паспорт научной специальности 05.16.09 Материаловедение (промышленность) разработанный экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Министерства в связи с утверждением приказом Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г.

Программа рассмотрена и утверждена на заседании Ученого совета ИФТПС СО РАН протокол № 2 от «12» февраля 2015 г.

## **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 направлению 22.06.01 «Технология материалов» по профилю «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-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. 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. 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 материал, 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.

## **6. СПИСОК ИНФОРМАЦИОННЫХ источников**

### **Основная литература**

1. Гуляев А.П. Металловедение. М.: Металлургия, 2013.
2. Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г. Материаловедение. М.: Металлургия, 1989.
3. Новиков И.И., Теория термической обработки металлов. М.: Металлургия, 1974.
4. Григорович В.К. Электронное строение и термодинамика сплавов железа. М.: Наука, 1970.
5. Золотаревский В.С. Механические испытания и свойства металлов. М.: Металлургия, 1974.
6. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. М.: Металлургия, 1976 г.
7. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. М.: Машиностроение, 1990.

### **Дополнительная литература**

1. Колачев Б.А., Елагин В.И., Ливанов В.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. М.: Изд-во МИСИС, 1981.
2. Гольдштейн Я.Е., Заславский А.Я. Конструкционные стали повышенной обрабатываемости. М.: Металлургия, 1977.
3. Гольдштейн М.И., Фабер В.М. Дисперсионное упрочнение стали. М.: Металлургия, 1979.
4. Кулезнев В.Н., Шершнева В.А. Химия и физика полимеров. М.: Высш. школа, 1988.
5. Лифшиц Б.Г. Металлография, М.: Металлургия, 1971.
6. Иванова В.С., Баланкин А.С., Бунин И.Ж., Оксогоев А.А. Синергетика и фракталы в материаловедении. М.: Наука, 1994.
7. Иванова В.С. Синергетика. Прочность и разрушение металлических материалов. М.: Наука, 1992.