**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**



Федеральное государственное автономное образовательное учреждение

высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**

**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

|  |  |
| --- | --- |
|  | **УТВЕРЖДАЮ**  Директор ИФВТ  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Яковлев А.Н.  «\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2014 г. |

# 

# **ПРОГРАММА-МИНИМУМ**

Кандидатского экзамена по специальности

**05.16.01 Металловедение и термическая обработка металлов**

Томск 2014

**ПРОГРАММА-МИНИМУМ**

кандидатского экзамена по специальности **05.16.01 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»** по техническим наукам

**Введение**

В основу настоящей программы положены следующие дисциплины: физика и химия материалов (раздел металлические материалы), кристаллография и дефекты кристаллического строения, теория и технология термической обработки, теория гетерогенных сред, моделирование материалов, физические методы исследования, механические свойства металлов.

Программа разработана экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Министерства образования Российской Федерации по металлургии и металловедению при участии «МАТИ» – Российского государственного технологического университета им. К.Э.Циолковского.

**1. МЕТАЛЛИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ. КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ**

**СТРОЕНИЕ МЕТАЛЛОВ**

Основные типы химической связи в твердых телах. Металлы в периодической системе Д.И. Менделеева. Электронное строение и физические свойства металлов.

Кристаллическое строение металлов. Типичные кристаллические решетки металлов, коэффициент компактности упаковки, координационное число. Кристаллические индексы плоскостей и направлений в кубической и гексагональной решетках. Анизотропия свойств кристаллов.

**2. ФАЗЫ И ФАЗОВЫЕ РАВНОВЕСТИЯ В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВАХ**

## Твердые растворы замещения, внедрения и вычитания. Упорядоченные твердые растворы. Электронные соединения, фазы Лавеса, σ-фазы, фазы внедрения.

Правило фаз. Диаграммы состояния двойных и тройных систем с непрерывным рядом твердых растворов, с эвтектическими, перитектическими и монотектическими равновесиями, с конгруэнтно и инконгуруэннтно плавящимися промежуточными фазами, с полиморфизмом компонентов. Использование неометрической термодинамики для анализа диаграмм состояния. Отклонения от равновесия при кристаллизации сплавов в системах разного типа.

**3. ДЕФЕКТЫ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ**

Точечные дефекты. Вакансии и межузельные атомы. Равновесная концентрация точечных дефектов. Образование и миграция вакансий и дивакансий. Комплексы «вакансия-примесный атом». Поведение вакансий при закалке и отжиге металла.

Дислокации. Вектор Бюргерса дислокации. Скольжение скольжение и переползание дислокаций. Пороги на дислокациях. Поле напряжений и энергия дислокаций. Дислокационные реакции. Дефекты упаковки. Дислокации Ломер-Котрелла. Поперечное скольжение рпастянутых дислокаций. Зарождение дислокаций. Размножение дислокаций, источник Франка-Рида. Сила Пайерлса-Набарро. Взаимодействие дислокаций и примесных атомов. Атмосферы Котрелла, Снука и Сузуки. Движение дислокаций с атмосферами.

Границы зерен и субзерен. Границы наклона и кручения. Малоугловые и высокоугловые границы. Решетка совпадающих узлов. Произвольные и спектральные границы. Зернограничные дислокации и ступеньки. Миграция границ и зернограничное проскальзывание. Взаимодействие границ с примесными атомами. Подвижность границ разного типа.

**4. ДИФФУЗИЯ В МЕТАЛЛАХ И СПЛАВАХ**

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

**5. СТРОЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РАСПЛАВОВ**

**И КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ СПЛАВОВ**

Структура и свойства жидких металлов. Изменение физических свойств при плавлении и кристаллизации, результаты структурных исследований жидких расплавов.

Гомогенное и гетерогенное зарождение кристаллов, критический размер зародыша. Скорость роста кристаллических зародышей.

Коэффициент распределения. Зонная очистка. Концентрационное переохлаждение. Ячеистая и дендритная формы роста кристаллов. Распределение элементов по сечению дендритного кристалла.

Эвтектическая кристаллизация. Строение эвтектических колоний. Влияние скорости кристаллизации на строение сплавов. Образование метастабильных фаз при кристаллизации. Металлургия гранул. Бездиффузионная кристаллизация. Металлические стекла.

Строение металлического слитка. Модифицирование структуры литых сплавов. Зональная и местная ликвация.

Неметаллические включения и газы в слитке. Источники неметалических включений, формирование их при кристаллизации слитков. Поведение неметаллических включений при горячей и холодной деформации металла. Влияние неметаллических включений на механические и физические свойства сплавов.

Методы получения монокристаллов из расплава.

**6. ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В ТВЕРДОМ СОСТОЯНИИ.**

**ОСНОВЫ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

Классификация видов термической обработки: отжиг, закалка, отпуск, старение, термомеханическая и химико-термическая обработка.

Гомогенизационный отжиг. Изменение структуры и свойств сплавов при гомогенизационном отжиге.

Дорекристаллизационный и рекристаллизационный отжиги. Отдых. Полигонизация; первичная и собирательная, вторичная рекристаллизация. Механизм и кинетика этих процессов, влияние их на протекание степени предшествующей пластической деформации, примесей, температуры и продолжительности отжига. Размер рекристаллизационного зерна в отожженном металле, влияние на него температуры и времени отжига, растворимых примесей и неметаллических включений. Природа критической деформации. Диаграммы рекристаллизации. Закономерности и природа изменения механических и физических свойств при отжиге после холодной деформации. Явление упрочнения в температурной области возврата. Текстура деформации, первичной, собирательной и вторичной рекристаллизации, механизм ее образования. Анизотропия свойств текстурованных металлов.

Отжиг для уменьшения остаточных напряжений. Механизм уменьшения остаточных напряжений при нагревании.

Фазовые переходы. Полиморфные превращения. Принцип структурного и размерного соответствия. Строение и механизм движения поверхностей раздела фаз. Сдвиговое и нормальное превращения.

Фазовые превращения при нагреве. Рост зерна. Структурная наследственность. Роль скорости нагрева.

Эвтектоидное превращение. Механизм и кинетика эвтектоидного превращения. Строение перлита. Диаграммы изотермических превращений. Термокинетические диаграммы.

Упорядочение твердого раствора. Дальний и ближний порядок. Изменение свойств сплавов при упорядочении.

Закалка без полиморфного превращения. Изменение структуры и свойств при закалке. Критическая скорость охлаждения.

Закалка на мартенсит. Термодинамика, механизм и кинетика мартенситного превращения. Обратимость превращения. Эффект памяти формы. Стабилизация аустенита. Микроструктура и субструктура мартенсита. Упрочнение и изменение пластичности при закалке на мартенсит.

Критическая скорость охлаждения при закалке, прокаливаемость.

Бейнитное превращение. Механизм и кинетика бейнитного превращения. Строение бейнита. Изотермическая закалка.

Старение. Распад перенасыщенного твердого раствора. Спинодальний распад. Термодинамика образования промежуточных фаз. Структурные изменения при старении (кластеры, зоны Гинье-Престона, промежуточные метастабильные фазы, модулирование структуры). Когерентые, частично когерентые и некогерентые выделения. Формы выделений. Непрерывный и прерывистый распад. Роль вакансий, дислокационной структуры и границ зерен в процессах выделения. Кинетика образования выделений при старении. Коагуляция выделений. Природа приграничных зон, свободных от выделений). Влияние температуры и продолжительности старения на механические и физические свойства сплавов. Перестаривание, ступенчатое старение. Влияние температуры нагрева под закалку и скорости закалочного охлаждения на старение.

Отпуск. Изменение микроструктуры, субструктуры и фазового состава при отпуске сталей. Обратимая и необратимая отпускная хрупкость.

**7. ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА**

Структурные изменения при горячей деформации. Динамическая полигонизация и динамическая рекристаллизация. Возврат и рекристаллизация после горячей деформации.

Высокотемпературная (ВТМО) и низкотемпературная (НТМО) термомеханическая обработка. Термомеханическая обработка с деформацией во время перлитного превращения. Термомеханическая обработка дисперсионно-твердеющих сплавов.

**8. ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА**

Элементарные процессы при химико-термической обработке, образованиеактивных атомов диффундирующего элемента, адсорбция, диффузия. Насыщающие среды.

Зависимость концентрации диффундирующего элемента и глубины слоя от активности газовой фазы, температуры и продолжительности процесса. Структура диффузионных слоев. Связь старения диффузионных слоев с диаграммой состояния.

Азотирование, цементация интроцементация, алитирование, хромирование, борирование, сульфидирование, силицирование. Принципы выбора термической обработки после химико-термической обработки.

1. **ТЕХНОЛОГИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

Современное оборудование для закалки, отжига, отпуска, химико-термической и других видов термической обработки сталей и цветных сплавов.

Агрегаты непрерывного отжига и закалки. Автоматизация полного цикла термической обработки. Способы достижения высоких скоростей нагрева и охлаждения изделий при термической обработке. Внутренние напряжения и деформация изделий при термической обработке.

Нагрев при термической обработке изделий в защитных средах и вакууме.

1. **УПРУГАЯ И ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ. РАЗРУШЕНИЕ.**

Диаграммы моно- и поликристаллов. Системы скольжения. Деформационное упрочнение, влияние на него температуры и скорости деформации. Теория предела текучести. Эффект Баушингера.

Физический и технический смысл механических характеристик металла.

Упрочнение при образовании твердых растворов и при выделении избыточных фаз (когерентных и некогерентных). Влияние зерна на механические свойства. Сверхпластичность. Неупругость.

Хрупкое и вязкое разрушение. Схемы зарождения трещин. Распространение трещин при хрупком и вязком разрушении. Порог хладноломкости. Природа хладноломкости металлов с ОЦК-решеткой. Строение изломов.

Жаропрочность. Стадии ползучести. Релаксация напряжений. Длительная прочность. Влияние состава и структуры сплавов на жаропрочность.

Усталостная прочность. Диаграммы усталости. Механизм усталости. Факторы, влияющие на усталостную прочность. Контактная усталость. Износ.

1. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И  
   КОНТРОЛЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ

Методы изучения микроструктуры. Световая микроскопия. Методы количественной металлографии. Электронная микроскопия (метод реплик, дифрационная микроскопия фольг, сканирующая микроскопия, микродифракция). Рентгеноструктурный и электронографический анализ. Микрорентгеноспектральный анализ. Локальный анализ составаа по электронным спекторам.

Методы измерения физических свойств. Термический анализ. Калориметрия, дилактометрия, измерение плотности, резистометрия, магнитный анализ.

Методы измерения механических свойств. Статические и динамические испытания. Критерии вязкости разрушения. Измерение твердости. Испытания на ползучесть, длительную прочность и релаксацию напряжений. Усталостные испытания.

1. ПРОМЫШЛЕННЫЕ СПЛАВЫ (ОСНОВЫ ЛЕГИРОВАНИЯ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ. СВОЙСТВА, ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ)

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 жаропрочные стали. Нержавеющие стали. Окалиностойкие стали. Чугуны. Модифицирование чугунов.

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.

Сплавы с особыми физическими свойствами: высоким и низким электросопротивлением, магнитно-твердые и магнитно-мягкие стали и сплавы, с особыми упругими и тепловыми свойствами. Сверхпроводящие сплавы.

Композиционные материалы: армирование волокнами, дисперсноупрочненные стали и сплавы, полученные кристаллизацией расплава.

**Основная литература**

1. Физическое металловедение: В 3 т.: Пер. с англ. под ред. О. В. Абрамова, Ч. В. Копецкого, А. В. Серебрякова / Под ред. Р. У. Кана; П. Хаазена - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Металлургия, 1987- 624 с. : ил.
2. Гуляев, А. П.Металловедение : учебник для вузов / А. П. Гуляев, А. А. Гуляев. — 7-е изд., перераб. и доп.. — Москва: Альянс, 2012. — 644 с.:
3. Лахтин, Юрий Михайлович Материаловедение: учебник / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. — 4-е изд., перераб. — Москва: Альянс, 2009. — 528 с.: ил.
4. Лахтин, Юрий Михайлович Металловедение и термическая обработка металлов : учебник / Ю. М. Лахтин. — 5-е изд., доп. — Москва: Аз-book, 2009.
5. Бланк, Владимир Давыдович Фазовые превращения в твердых телах при высоком давлении / В. Д. Бланк, Э. И. Эстрин - М. : Физматлит, 2011 - 410 с. : ил.
6. Гиттерман, Моше Фазовые превращения. Краткое изложение и современные приложения: пер. с англ. / М. Гиттерман, В. Хелперн; под ред. С. С. Савинского - М. : Институт компьютерных исследований ; Ижевск : Регулярная и хаотическая динамика, 2006 - 128 с. : ил.
7. Колбасников, Николай Георгиевич Структура. Энтропия. Фазовые превращения и свойства металлов / Н. Г. Колбасников, С. Ю. Кондратьев; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет - СПб. : Наука, 2006 - 363 с. : ил.
8. Зуев, Виктор Максимович Термическая обработка металлов: учебник / В. М. Зуев - 5-е изд., стер. - М. : Высшая школа : Академия, 2001 - 288 с. : ил.
9. Колачев, Борис Александрович Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов: учебник для вузов / Б. А. Колачев, В. И. Елагин, В. А. Ливанов - 4-е изд., перераб. и доп. - М. : МИСиС, 2005 - 432 с. : ил
10. Фетисов Г.П. Материаловедение и технология металлов. – М., Высшая школа, 2002.
11. Егоров Ю.П Материаловедение: Учебное пособие /.Егоров Ю.П., Лозинский Ю.М., Роот Р.В., Хворова И.А.– Томск, Изд-во ТПУ, 2008 --.188 с.
12. Ливанов Дмитрий Викторович, Физика металлов: учебник для вузов / Д. В. Ливанов. — М.: Изд-во МИСИС, 2006. — 280 с.
13. Ржевская С.В. Материаловедение. - Учебник для вузов. М.: ЛОГОС. 2004. - 424 с.
14. Колесов С.Н., Колесов И.С. Металловедение и технология конструкционных материалов. - М.: Высшая школа. 2004. - 519 с.
15. Горелик С. С. Рекристаллизация металлов и сплавов / С. С. Горелик, С. В. Добаткин, Л. М. Капуткина. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во МИСИС, 2005. — 432 с.
16. .Батаев В. А Методы структурного анализа материалов и контроля качества деталей: учебное пособие / В. А. Батаев, А. А. Батаев, А. П. Алхимов. — 2-е изд. — М.: Флинта: Наука, 2008. — 220 с.

**ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА**

**Региональные и вузовские компоненты**

1. **Физическая мезомеханика материалов**

**Национально-региональный (вузовский) компонент**

Локализация деформации. Природа и иерархия коцентраторов напряжений. Механизмы и закономерности пластической деформации и разрушения на мезомасштабном уровне. Физическая мезомеханика - методологическая основа компьютерного конструирования материалов.

1. **Современные методы диагностики нагруженных материалов и конструкций**

**Национально-региональный (вузовский) компонент**

Дефекты и уровень дефектности; контроль технологических факторов; разрушающие и неразрушающие методы контроля; технологические возможности и особенности применения различных методов.

Статистические методы контроля качества; методы оценки механических свойств при статических и динамических нагрузках.

1. **Теория покрытий и модифицирование поверхности**

**Национально-региональный (вузовский) компонент**

Особенности использования металлов в качестве конструкционных материалов. Проблема срока службы деталей машин и механизмов. Классификация методов упрочнения поверхности. Схема структуры упрочненного поверхностного слоя. Методы упрочнения. Упрочнения поверхности за счет ее модифицирования. Методы поверхностного пластического деформирования. ХТО, ионное азотирование, ионная имплантация и др. методы упрочнения. Поверхностная обработка высокоэнергетическими источниками. Плазменная, электроннолучевая, лазерная обработка поверхности. Поверхностное легирование. Комбинированные методы обработки поверхности. Газотермическое напыление композиционных порошков.

Основы построения компьютерных моделей процессов поверхностного упрочнения и нанесения покрытий.

1. **Технология нанесения покрытий**

**Национально-региональный (вузовский) компонент**

Технологические параметры процесса напыления и их влияние на эффективность процесса и свойства формирующегося покрытия. Установки для нанесения покрытий. Распылительные головки. Системы газо- и энергопитания установок. Порошки для газотермическогонапыления. Подготовка поверхности перед напылением. Последующая обработка покрытий.

**Дополнительная литература:**

Отечественные научные и научно-технические журналы : «Успехи физических наук», «Физика твердого тела», «Известия вузов», «Металловедение и термическая обработка металлов», «Физика металлов и металловедение», «Защита металлов», «Кузнечно-штамповое производство», «Литейное производство», «Порошковая металлургия», «Сварочное производство», «Физика и химия обработки материалов», «Надежность и контроль качества».

Иностранные научные и научно-технические журналы: Physical Review, Journal of Material Science, Journal of Composite Materials, Metallurgical and Materials Transactions, Journal of Materials Strategy, Carbon, International Ceramic Review, Journal of Electronics Materials, Journal of Applied Physics,

**\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

Программа подготовки научно-педагогических и научных кадров составлена на основе программы кандидатского экзамена по специальности 05.16.01, утвержденной приказом Минобразования России от 17 февраля 2004 года.

Дополнительная программа утверждена Ученым советом ИФВТ протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_\_\_\_ 2014 г.

Составитель:

Руководитель ООП \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Б.Б. Овечкин