


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«МИСиС»

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель Председателя
приемной комиссии


_____/ А.А. Волков
« 30 » _____ 2020 г.



Принято на заседании
Ученого совета ИНМиН
протокол № 06-20 от 24.09.2020 г.
Директор


_____/ С.Д. Калошкин
« 24 » сентября 2020 г.

**ПРОГРАММА
ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ ДЛЯ ПОСТУПАЮЩИХ
НА ОБУЧЕНИЕ ПО ПРОГРАММАМ ПОДГОТОВКИ НАУЧНО-
ПЕДАГОГИЧЕСКИХ КАДРОВ В АСПИРАНТУРЕ
ПО НАПРАВЛЕНИЮ ПОДГОТОВКИ
22.06.01 ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ**

Москва 2020

ПРОГРАММА
вступительного испытания в аспирантуру
по направлению подготовки 22.06.01 «Технологии материалов»

Содержание программы:

I.	Пояснительная записка	2
II.	Содержание разделов	2
III.	Рекомендуемая литература	7

I. Пояснительная записка

Целью вступительного испытания является установление уровня подготовки абитуриентов, поступающих в аспирантуру, к учебной и научной работе и соответствие его подготовки требованиям государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению 22.06.01 «Технологии материалов».

Форма, продолжительность проведения вступительного испытания. **Критерии оценивания**

Минимальное количество баллов по результатам вступительных испытаний по направлению 22.06.01 «Технологии материалов», подтверждающее успешное прохождение вступительного испытания, составляет 40 баллов по всем условиям поступления.

Вступительные испытания по направлению 22.06.01 «Технологии материалов» состоят из двух частей: письменный экзамен и собеседование. Для прохождения собеседования поступающий должен предоставить план-проспект диссертационной работы и мотивационное письмо (1000-1500 слов), отражающее причины выбора НИТУ «МИСиС» и соответствующей программы подготовки.

Вступительные испытания по направлению 22.06.01 «Технологии материалов» оцениваются по 100-балльной шкале.

Продолжительность письменного экзамена - 90 минут.

Собеседование проводится с ведущими учёными направления, которые оценивают мотивированность абитуриента и его план будущей работы. Максимально возможное количество баллов, которое может получить абитуриент на собеседовании - 50.

Перечень принадлежностей, которые поступающий имеет право пронести в аудиторию во время проведения вступительного испытания: ручка, карандаш, ластик, не программируемый калькулятор.

II. Содержание разделов

Раздел 1. Межатомные взаимодействия и электронное строение твердого тела

1.1. Основные типы химической связи в твердых телах. Потенциалы межатомного взаимодействия. Энергия связи металлических, ковалентных, ионных кристаллов. Равновесное межатомное расстояние.

1.2. 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.

Раздел 2. Атомная структура твердых тел

2.1. Кристаллические тела. Трансляционная симметрия. Элементарная ячейка кристаллической решетки. Кристаллические сингонии. Решетки Бравэ. Точечные и пространственные группы симметрии. Координационное число, плотность упаковки. Кристаллографические индексы плоскостей и направлений в решетке. Анизотропия свойств кристаллов. Кристаллографическая текстура поликристаллов.

2.2. Аморфное состояние, металлические стекла. Нанокристаллы. Квазикристаллы.

Раздел 3. Дефекты кристаллического строения

3.1. Точечные дефекты. Вакансии и межузельные атомы. Равновесная концентрация точечных дефектов. Неравновесные точечные дефекты. Рождение, миграция и сток вакансий. Группы вакансий.

3.2. Дислокации. Вектор Бюргерса. Плотность дислокаций. Краевая, винтовая и смешанная дислокации. Скольжение и переползание дислокаций. Пороги на дислокациях. Поле напряжений и энергия дислокаций. Взаимодействие дислокаций. Полные и частичные дислокации. Дефекты упаковки. Образование и размножение дислокаций. Источник Франка-Рида. Взаимодействие дислокаций и примесных атомов. Атмосферы Коттрелла, Снука, Сузуки.

3.3. Границы зерен и субзерен. Угол разориентировки и энергия границ. Границы наклона и кручения. Малоугловые и высокоугловые границы. Миграция границ. Взаимодействие границ зерен с примесными атомами.

Раздел 4. Фазы и фазовые равновесия в материалах

4.1. Твердые растворы замещения, внедрения и вычитания. Упорядоченные твердые растворы (сверхструктуры). Электронные соединения (фазы Юм-Розери), фазы внедрения, фазы Лавеса, σ -фазы.

4.2. Равновесие фаз в многокомпонентных системах. Фазовые переходы I и II рода. 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.

Раздел 5. Диффузия

5.1. Феноменологические законы диффузии. Самодиффузия и гетеродиффузия. Модель случайных блужданий для описания диффузии. Механизмы диффузии, роль точечных дефектов, диффузия по дислокациям и границам зерен. Температурная зависимость коэффициента диффузии.

5.2. Диффузия в поле градиента концентраций. Концентрационная зависимость коэффициентов диффузии. Эффект Киркендалла. Выравнивающая и разделительная (реактивная) диффузия. Диффузия в силовых полях.

Раздел 6. Кристаллизация

6.1. Гомогенное зарождение кристаллов в расплаве. Критический размер зародыша. Скорость образования и скорость роста кристаллических зародышей. Непрерывный, ступенчатый и дислокационный механизмы роста. Кинетика кристаллизации. С-образная диаграмма кристаллизации. Критическая скорость охлаждения расплава. Гетерогенное зарождение.

6.2. Отклонения от равновесия при кристаллизации. Влияние скорости охлаждения и градиента температуры расплава на микроструктуру. Концентрационное переохлаждение.

Ячеистая и дендритная форма роста кристаллов. Дендритная ликвация. Образование метастабильных фаз при кристаллизации. Бездиффузионная кристаллизация.

6.3. Структура слитка. Модифицирование. Направленная кристаллизация. Зонная плавка. Выращивание монокристаллов из расплава. Закалка из жидкого состояния.

6.4. Эвтектическая кристаллизация. Строение эвтектических колоний. Нормальная, аномальная и вырожденная эвтектики. Перитектическая кристаллизация.

Раздел 7. Фазовые превращения в твердом состоянии

7.1. Полиморфные превращения. Нормальный и сдвиговый механизмы превращения. Принцип структурного и размерного соответствия.

7.2. Эвтектоидное превращение, механизм и кинетика. Эвтектоидное превращение в сталях. Строение перлита. Диаграммы изотермических превращений. Термокинетические диаграммы.

7.3. Мартенситное превращение. Термодинамика, механизм и кинетика мартенситного превращения. Микроструктура и субструктура мартенсита. Обратимость превращения. Эффект памяти формы.

7.4. Бейнитное превращение. Механизм и кинетика бейнитного превращения. Строение бейнита.

7.5. Распад пересыщенного твердого раствора. Спинодальный распад. Модулированные структуры. Термодинамика образования промежуточных фаз. Кластеры, зоны Гинье-Престона. Когерентные, частично когерентные и некогерентные выделения. Непрерывный и прерывистый распад. Роль вакансий, дислокаций и границ зерен в процессах выделения.

7.6. Упорядочение твердого раствора. Дальний и ближний порядок. Антифазные домены. Изменение свойств раствора при упорядочении.

Раздел 8. Структурные превращения в твердом состоянии

8.1. Изменения структуры при холодной пластической деформации. Линии и полосы скольжения. Ячеистая субструктура. Волокнистая микроструктура. Кристаллографическая и металлографическая текстуры деформации, механизмы их образования. Анизотропия свойств текстурованных материалов.

8.2. Изменения структуры при нагреве после холодной деформации. Возврат (отдых, полигонизация). Первичная, собирательная и вторичная рекристаллизация. Движущая сила, механизм и кинетика этих процессов. Природа критической деформации. Диаграмма рекристаллизации. Кристаллографическая текстура рекристаллизованного материала, механизм ее образования.

8.3. Изменения структуры при горячей деформации. Динамический возврат и динамическая рекристаллизация.

8.3. Сфероидизация и коалесценция выделений второй фазы в гетерогенном материале. Растворно-осадительный механизм.

Раздел 9. Способы воздействия на структуру и свойства материалов

9.1. Основы термической обработки. Классификация видов термической обработки: отжиги 1 и 2 рода, закалка, отпуск, старение, термомеханическая и химико-термическая обработки.

9.1.1. Гомогенизационный отжиг, изменение структуры и свойств при гомогенизационном отжиге. Дорекристаллизационный и рекристаллизационный отжиги. Факторы, влияющие на размер рекристаллизованного зерна. Отжиг для уменьшения остаточных напряжений. Механизм уменьшения остаточных напряжений при отжиге.

9.1.2. Разновидности отжига 2 рода: полный, неполный, изотермический, сфероидизирующий отжиги, нормализация, патентирование.

9.1.3. Закалка без полиморфного превращения.

9.1.4. 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.

9.1.5. Старение. Изменение свойств сплавов при старении. Дисперсионное твердение. Естественное и искусственное старение. Перестаривание.

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

9.2. Термомеханическая обработка. Низкотемпературная и высокотемпературная термомеханическая обработка сталей и стареющих сплавов.

9.3. 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.

9.4. Порошковая металлургия, основные технологические этапы.

9.5. Методы обработки поверхности и получения покрытий. Изменение поверхностного слоя материалов при высокоэнергетических воздействиях. Электронно-лучевая и лазерная обработка. Ионная имплантация. Ионно-плазменное распыление. Термическое напыление. Осаждение из газовой фазы. Электролитическое осаждение.

Раздел 10. Пластическая деформация и разрушение. механические свойства материалов

10.1. Пластическая деформация скольжением и двойникованием. Диаграммы деформации моно- и поликристаллов. Системы скольжения. Деформационное упрочнение; влияние на него температуры и скорости деформации. Теория предела текучести.

10.2. Основные механические характеристики материалов. Пределы пропорциональности, упругости, текучести и прочности, истинное сопротивление разрыву, характеристики пластичности при растяжении, твердость, вязкость разрушения и ударная вязкость.

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

10.3. 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. Природа хладноломкости металлов с ОЦК-решеткой. Способы борьбы с хладноломкостью.

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

10.5. Усталость. Диаграммы усталости. Механизм усталостного разрушения. Факторы, влияющие на усталостную прочность. Термическая усталость. Контактная усталость.

Раздел 11. Взаимодействие материалов с окружающей средой

11.1. Окисление, термодинамика и кинетика процесса. Легирование с целью защиты от окисления. Внутреннее окисление.

11.2. Электрохимическая коррозия. Равномерная, межкристаллитная, точечная коррозия. Коррозия под напряжением. Коррозионное растрескивание. Коррозионная усталость. Коррозия в жидких металлах.

Раздел 12. Физические свойства материалов

12.1. Упругие свойства материалов. Закон Гука для изотропных и анизотропных материалов. Связь модулей упругости с потенциалом межатомного взаимодействия. Модули упругости гетерогенных материалов.

12.2. Термическое расширение. Ангармонизм колебаний атомов в кристаллической решетке. Температурный коэффициент линейного расширения гетерогенных материалов.

12.3. Теплоемкость. Квантовые теории решеточной теплоемкости Эйнштейна и Дебая. Температура Дебая. Спектр нормальных колебаний решетки. Фононы. Ангармоническая составляющая теплоемкости. Вакансионная составляющая теплоемкости. Электронная теплоемкость. Теплоемкость сплавов. Изменение теплоемкости при фазовых и структурных превращениях.

12.4. 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.

12.5. Электропроводность. Электроны проводимости. Время релаксации. Рассеяние электронов на фононах, дефектах решетки, примесях. Правило Маттиссена-Флеминга. Влияние температуры и легирования на электрическое сопротивление металлов и полупроводников. Сопротивление твердых растворов. Связь электро- и теплопроводности металлов. Электрическая проводимость гетерогенных сплавов.

12.6. Магнитные свойства. Диамагнетизм и парамагнетизм атомов. Закон Кюри. Диамагнетизм и парамагнетизм электронного газа. Магнитное упорядочение. Ферромагнетизм. Молекулярное поле Вейсса. Обменное взаимодействие. Ферромагнитные домены. Доменные границы. Энергия магнитной анизотропии. Характеристики петли гистерезиса и кривой намагничивания ферромагнетика. Теория коэрцитивной силы.

Раздел 13. Методы исследования и контроля структуры и свойств материалов

13.1. Дифракционные методы исследования атомной структуры материалов. Особенности распространения волн в периодических структурах. Закон Вульфа-Брэгга. Обратная решетка. Основные методы рентгеноструктурного анализа. Рентгеновская дифрактометрия. Качественный и количественный рентгеновский фазовый анализ. Электронография и нейтронография. Рентгенографический анализ текстур, остаточных напряжений, дефектов кристаллической решетки, типа твердого раствора, химического дальнего порядка.

13.2. Просвечивающая и растровая электронная микроскопия, анализ фазового состава, микроструктуры и дефектов кристаллического строения.

13.3. Методы локального анализа химического состава. Микрорентгеноспектральный анализ. Оже-электронная спектроскопия. Рентгеноэлектронная спектроскопия (электронная спектроскопия для химического анализа). Масс-спектроскопия вторичных ионов.

13.4. Изучение микроструктуры с помощью световой микроскопии. Методы количественной металлографии.

13.5. Методы измерения физических свойств. Термический анализ. Абсолютный и дифференциальный методы измерения. Калориметрия; методы смешения, ввода и протока тепла; сканирующая, модуляционная и импульсная калориметрия. Дилатометрия; оптический, емкостный, индуктивный датчики перемещения. Методы измерения теплопроводности. Резистометрия, мостовые и потенциометрические методы. Измерение магнитных свойств диа-, пара- и ферромагнетиков. Определение параметров кривой намагничивания и петли гистерезиса в статическом и динамическом режимах измерения. Термомагнитный анализ. Применение измерений физических свойств для решения материаловедческих задач (изучения изменений структуры и фазовых превращений).

13.6. Методы механических испытаний. Испытания на растяжение, сжатие, изгиб, кручение. Измерение микротвердости и твердости по Бринеллю, Роквеллу, Виккерсу. Испытания на ползучесть, длительную прочность, релаксацию напряжений. Усталостные испытания.

Раздел 14. Основные классы материалов в металлургии

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

14.2. Сплавы на основе железа. Углеродистые стали. Белые, серые, половинчатые, ковкие и высокопрочные чугуны. Легированные стали, классификации по фазовому равновесию, структуре, области применения, уровню легированности. Низколегированные стали повышенной прочности. Конструкционные улучшаемые стали. Пружинные и износостойкие стали. Штамповые стали. Инструментальные стали для режущего и измерительного инструмента. Быстрорежущие стали. Жаропрочные феррито-перлитные, мартенситные и аустенитные стали. Нержавеющие ферритные и аустенитные стали. Жаростойкие стали.

14.3. Цветные металлы и сплавы, легирование, термическая обработка, структура, свойства, области применения. Алюминий и его сплавы. Магний и его сплавы. Титан и его сплавы. Никель и его сплавы. Медь и ее сплавы. Сплавы на основе тугоплавких металлов (Mo, W, Nb, Cr). Цинк, свинец, олово и их сплавы.

14.4. Материалы с особыми физическими свойствами (прецизионные сплавы). Проводниковые и резистивные сплавы. Сверхпроводящие материалы. Магнитно-мягкие и магнитно-твердые материалы. Сплавы с особыми упругими и тепловыми свойствами.

14.5. Композиционные материалы. Дисперсно-упрочненные композиционные материалы на алюминиевой и никелевой основе, структура и свойства, принципы выбора упрочнителей. Волокнистые композиционные материалы на основе алюминия, титана, никеля, магния; виды и свойства упрочнителей. Слоистые композиционные материалы на основе металлов, неограниченно растворяющихся друг в друге, не растворяющихся или образующих интерметаллиды. Направленно кристаллизованные композиционные материалы эвтектического и неэвтектического типа. Интерметаллические соединения как основа жаропрочных сплавов, получаемых направленной кристаллизацией.

14.6. Неметаллические материалы. Идеальная и реальная структура графита. Углеродистые материалы, структура и свойства. Поликристаллические алмазы, физическая классификация, структура, химический и изотопный состав, дефектность, свойства.

Рекомендованная литература

1. Лившиц Б.Г. Металлография. – М.: Металлургия, 1990. – 336 с.
2. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. – М.: Наука, 1978. – 792 с.
3. Захаров А.М. Диаграммы состояния двойных и тройных систем. - М.: Металлургия, 1990. – 240 с.
4. Новиков И.И., Розин К.М. Кристаллография и дефекты кристаллической решетки. – М.: Металлургия. 1990. – 336 с.
5. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия. / Уманский Я.С., Скаков Ю.А., Иванов А.Н., Расторгуев Л.Н. – М.: Металлургия, 1982. – 632 с.
6. Жуховицкий А.А., Шварцман Л.А. Физическая химия. – М.: Металлургия, 1976. – 350 с.
7. Лившиц Б.Г., Крапошин В.С., Линецкий Я.Л. Физические свойства металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1980. – 320 с.
8. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов. – М.: Металлургия, 1986. – 480 с.
9. Уманский Я.С, Скаков Ю.А. Физика металлов. – М.: Атомиздат, 1978. – 352 с.
10. Штремель М.А. Прочность сплавов. – М.: МИСиС, ч.1 Дефекты решетки, 1999. – 384 с. ч.2 Деформация, 1997. – 527 с.
11. Бокштейн С.З. Строение и свойства металлических сплавов.– М.:Металлургия, 1971.–496 с.

12. Золотаревский В.С. Механические свойства металлов. – М.: МИСиС. 1998, 400 с.
13. Бернштейн М.Л., Займовский В.А. Механические свойства металлов. – М.: Металлургия. 1979. – 496 с.
14. Физическое металловедение. / Ред. Р.У.Кан и П. Хаазен. - в 3-х томах. – М.: Металлургия. 1987.
15. Орлов А.В., Перевезенцева А.И., Рыбин В.П. Границы зерен в металлах. – М.: Металлургия, 1980. – 310 с.
17. Кривоглаз М.А. Теория рассеяния рентгеновских лучей и тепловых нейтронов реальными кристаллами. – Киев: Наукова Думка, 1953. – 408 с.