

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Приазовский государственный технический университет»

**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ ДЛЯ
ПОСТУПАЮЩИХ В АСПИРАНТУРУ
ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

2.6.1- Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов
(группа научных специальностей 2.6 «Химические технологии,
науки о материалах, металлургия»)

Мариуполь 2024

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

1. Цели и задачи вступительного испытания

Программа вступительного испытания по специальной дисциплине по научной специальности 2.6.1- Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов сформирована на основе программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности 2.6.1- Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов, утвержденной ФГБОУ ВО «ПГТУ».

Целью вступительного испытания является определение уровня подготовки поступающих и оценки их способности для дальнейшего обучения по программе подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре в соответствии с установленными федеральными государственными требованиями к структуре программ аспирантуры, условиям их реализации, срокам освоения этих программ, с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов.

2. Требования к уровню подготовки поступающих

В программу вступительного испытания включены базовые вопросы, которыми должен владеть специалист или магистр для успешного освоения программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности (название специальности).

Поступающий должен знать основные теоретические сведения в области данной научной специальности, знать практическое применение этих сведений, методы решения поставленных задач, владеть терминологией.

3. Контрольно-измерительные материалы

Вступительное испытание для поступающих в ФГБОУ ВО «ПГТУ» состоит из трех заданий.

4. Форма проведения вступительного испытания

Вступительное испытание проводится в письменной форме.

5. Продолжительность вступительного испытания

Продолжительность вступительного испытания составляет 180 мин.

6. Шкала оценивания

Результат вступительного испытания оценивается по 100-балльной шкале. Минимальное количество баллов, подтверждающее успешное

прохождение вступительного испытания, устанавливается Правилами приема в аспирантуру ФГБОУ ВО «ПГТУ».

7. Критерии оценивания

Оценивание вступительного испытания осуществляется посредством начисления баллов за каждое задание в билете. Минимальное количество баллов – 40 баллов.

8. Язык проведения вступительного испытания

Вступительное испытание проводится на русском языке

ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ (ПЕРЕЧЕНЬ ДИДАКТИЧЕСКИХ ЕДИНИЦ)

Тема 1. Кристаллическое строение металлов и их физические свойства

Определение кристалла. Свойства кристаллов. Элементарная ячейка. Кристаллографические индексы плоскостей и направлений. Межплоскостное расстояние. Основные понятия кристаллохимии ионных и металлических кристаллов. Атомные и ионные радиусы, принцип плотной упаковки. Коэффициент компактности. Наиболее плотная упаковка. Поры кристаллической решетки. Число атомов и структура металлических элементов.

Главные характеристики и природа рентгеновского излучения. Явления, сопровождающие прохождение рентгеновского излучения через вещество. Поглощение рентгеновского излучения. Ионизационное действие рентгеновского излучения. Фотоэлектрический эффект. Вторичное характеристическое излучение.

Отражение рентгенограммы от вещества кубической, тетрагональной и гексагональной системы. Прецизионное определение периода кристаллической решетки. Рентгеновская дифрактометрия. Условия фокусировки рентгеновского луча, измерение интенсивности в дифрактометрии. Волновая природа электронов. Длина волны электронов. Взаимодействие электронов с веществом. Движение электрона в однородном электрическом и магнитном полях. Методы исследования объектов в просвечивающем электронном микроскопе: метод отпечатков (реплик) и метод тонкой фольги. Микродифракция.

Атомное устройство металлов и сплавов. Структурный анализ сплавов. Основные положения электронной теории металлов. Зоны Бриллюэна. Поверхность Ферми. Кристаллическое устройство металлических элементов, связь с положением в периодической системе. Полиморфизм. Взаимная растворимость металлов. Твердые растворы замещения, внедрения и вычитания. Определение их структурного типа. Ограниченная растворимость

в твердом состоянии.

Тема 2. Металлические сплавы и диаграммы равновесного состояния

Металлы простые и переходные. Характеристика металлической и ковалентной связи. Физические свойства металлов и неметаллов (электрические, магнитные, ионизационный потенциал, температура плавления и др.); в связи с положением их в периодической таблице. Основные типы упаковки атомов в металлических кристаллах.

Устройство жидкого металла. Зародыш новой фазы; изменение свободной энергии при образовании зародыша критического размера; механизм образования зародышей; связь скорости образования зародышей со степенью переохлаждения; роль включений и стен формы при зарождении кристаллов.

Твердые растворы (типы твердых растворов, факторы влияющие на растворимость в твердом состоянии). Упорядочение твердых растворов. Промежуточные фазы – электронные соединения, фазы внедрения, сигма-фазы, фазы Лавеса. Соединение стехиометрического состава.

Термодинамическое описание фазового равновесия посредством диаграмм. Методы построения диаграмм фазового равновесия. Применение правила фаз изучения двойных систем. Системы двух компонентов полностью растворяются в жидком и твердом состояниях, кристаллизация твердых растворов в таких системах. Внутрикристаллическая ликвация. Системы двух компонентов, полностью растворяющихся в жидком и ограниченном твердом состоянии, диаграммы фазового равновесия таких систем. Системы эвтектические и перитектические. Системы двух компонентов, создающих промежуточные фазы, диаграммы фазового равновесия таких систем. Системы двух компонентов, обладающих ограниченной растворимостью в жидком состоянии, в особенности кристаллизации сплавов такого типа.

Системы трех компонентов, имеющие полную растворимость в жидком и жестком состояниях. Системы трех компонентов, имеющих полную растворимость в жидком состоянии и ограниченную растворимость в твердом состоянии: нерастворимость в твердом состоянии, как предельный случай ограниченной растворимости. Система трех компонентов, создающих промежуточные фазы. Двойная и тройная перитектика в трехкомпонентной системе.

Технически чистое железо, полиморфное превращение в железе. Свойства железа и значение его для индустрии. Критические точки в стали. Устройство и свойства графита и цементита. Диаграмма фазового равновесия железо-углерод и железо-цементит.

Влияние химической неоднородности на макро- и микроструктуру литой стали: макро- и микроструктура при холодной и горячей деформации стали. Неметаллические включения в стали.

Тема 3. Дефекты кристаллического строения

Точечные дефекты: вакансии и межузловые атомы. Равновесная концентрация точечных дефектов. Образование и миграция вакансий и девакансий. Комплексы «вакансия – примесный атом». Поведение точечных дефектов при закаливании и отжиге металлов.

Дислокации: краевые, винтовые и смешанные. Полные и частичные дислокации. Векторные дислокации Бюргерса. Скольжение и переползание дислокаций. Пороги в дислокациях. Поле напряжений и энергия дислокаций. Упругое взаимодействие дислокаций. Дислокационные реакции. Дефекты упаковки. Дислокация Ломер-Коттрелла. Зарождение и размножение дислокаций. Источник Франка-Рида. Сила Пайерлса-Набарро. Атмосферы Коттрелла, Снука и Сузуки. Движение дислокаций с атмосферой. Дислокационное строение границ зерен и субзерен. Малоугловые и большеугловые границы. Миграция границ и скольжение по границам зерен. Взаимодействие границ зерен с примесными атомами.

Тема 4. Фазовые и структурные превращения в металлах и сплавах

Фазовые переходы первого и второго рода. Полиморфные превращения. Принцип структурного и размерного соответствия. Сдвиговые и нормальные превращения. Фазовые превращения при нагреве. Рост зерна. Роль скорости нагрева. Структурная преемственность. Эвтектоидное превращение. Механизм и кинетика эвтектоидного превращения. Морфология продуктов распада переохлажденной высокотемпературной фазы. Диаграммы изотермических превращений. Термокинетические диаграммы. Бездиффузное мартенситное превращение. Термодинамика, механизм и кинетика мартенситного превращения. Возможность обращения мартенситного превращения. Стабилизация высокотемпературной фазы. Микроструктура и субструктура мартенсита. Деформационное мартенситное превращение. Воздействие энергии дефектов упаковки на образование мартенситных фаз. Эффект памяти формы. Эффект сверхпластичности при мартенситных превращениях.

Промежуточное (бейнитное) превращение. Механизм и кинетика промежуточного превращения. Морфология и характеристики промежуточных структур. Роль остаточного аустенита при формировании свойств. Формирование структур и свойств продуктов распада переохлажденного аустенита при непрерывном охлаждении.

Превращение при отпуске мартенсита, распад мартенсита, распад остаточного аустенита, карбидное превращение и формирование структур отпуска, влияние легирования на распад мартенсита при отпуске. Отпуск под напряжением. Отпускная хрупкость первого и второго рода. Вторичная жесткость. Дисперсионное упрочнение и твердение. Процессы обезвреживания при отпуске.

Старение. Распад перенасыщенного жесткого раствора. Спинодальный распад. Структурные изменения при старении (кластеры, зоны Гинье-

Престона, промежуточные метастабильные фазы, модулируемые структуры). Когерентные, отчасти когерентные, некогерентные выделения. Непрерывный и прерывный распад перенасыщенного твердого раствора. Воздействие вакансий, дислокационной субструктуры и границ зерен на процессы выделения, их кинетика образования. Коагулирование выделений, природа пограничных зон, свободных от выделений. Воздействие температуры и продолжительности старения на механические и физические свойства сплавов. Воздействие температуры нагрева под закалку и скорости охлаждения на последующее старение.

Тема 5. Механические свойства металлических сплавов и их связь со структурой

Понятие об упругой и пластической деформации. Нормальные и касательные напряжения. Условные и истинные напряжения. Пластическая деформация монокристалла.

Системы скольжения в кубических и гексагональных сплавах. Приведенное напряжение смещения. Диаграммы деформации моно- и поликристаллов.

Испытание на растяжение. Образцы и испытательные машины; их основные характеристики. Определение твердости. Физическое значение твердости. Твердость по Бринелю, Викерсу, Роквеллу: схемы и методика испытания, расчет чисел прочности. Динамические испытания. Схемы и эталоны. Назначение ударных испытаний. Методика определения ударной вязкости. Оценка склонности к хрупкому разрушению и хладноломкости по результатам ударных испытаний. Макро- и микроструктура изломов.

Механизмы упрочнения чистых металлов и твердых растворов. Термически активированные процессы в кристаллах. Скольжение. Двойникование. Твердорастворное упрочнение, упрочнение границами зерен, дислокациями. Сверхпластичность. Влияние границ зерен на прочностные свойства металлов и сплавов. Механизмы упрочнения многофазных сплавов. Напряжение пластического течения в двухфазных сплавах, содержащих частицы вторых фаз, перерезаемых и неперерезаемых дислокациями. Комбинация различных механизмов упрочнения. Разрушение идеально упругого тела (теория Гриффитца).

Виды разрушения металлов и сплавов: разрушение сколом, разрушение путём зарождения и роста пор, межзеренное разрушение. Факторы, влияющие на значение параметров трещиностойкости.

Тема 6. Промышленные стали и сплавы

Конструкционные стали, их классификация. Влияние углерода и постоянных примесей на свойства сталей. Углеродистые стали обычного качества, качественные, высококачественные, особо высококачественные. Стали для глубокой, сложной и особо сложной вытяжки. Требования, предъявляемые к этим сталям, структура и свойства. Двухфазные стали,

области их применения. Высокопрочные конструкционные стали. Принципы легирования и направления в создании современных высокопрочных сталей. Средства повышения их свойств. Арматурные стали, их классификация по степени прочности. Стали, подлежащие цементации и нитроцементации. Требования к ним. Система легирования. термообработка сталей после цементации и нитроцементации. Повышение сопротивления хрупкому разрушению. Азотируемые стали. Пружинные стали и сплавы. Система легирования, термическая и термомеханическая обработка сталей для пружин и рессор. Шарикоподшипниковые стали. Стали особого назначения для железнодорожных подшипников, для подшипников, работающих в коррозионной среде и при повышенных температурах. Вид и закономерности износа. Классификация износостойких сплавов. Принципы их легирования.

Инструментальные стали и сплавы. Углеродистые и низколегированные стали, быстрорежущие стали. Принципы их легирования и термообработки. Стали для инструмента обработки металла давлением. Мерительный инструмент. Коррозионностойкие стали и сплавы различных структурных классов и назначения. Кавитационные стали. Жаростойкие и жаропрочные стали и сплавы. Принципы их легирования и термообработка. Стали и сплавы с особыми магнитными свойствами. Магнитомягкие стали. Сплавы с высокой начальной магнитной проницаемостью. Аморфные сплавы. Магнитотвердые стали и сплавы. Немагнитные стали. Электротехнические стали сплавы.

Тема 7. Технология термической обработки металлов

Виды процессов термической обработки стали и их характеристики. Отжиг, нормализация, закалка, отпуск, старение. Закалочные среды. Выбор вида термической обработки в зависимости от назначения и состава материала изделия. Влияние режимов термической обработки на свойства конструкционных материалов.

Прокаливаемость, влияющие на нее факторы. Закаливаемость. Дефекты, связанные с термической обработкой. Окисление стали, защитные среды. Перегрев стали. Закалочные трещины. Влияние водорода на механические свойства. Водородная хрупкость. Флокены. Особенности термической обработки крупных поковок. Коробка и деформация при термической обработке.

Тема 8. Способы упрочнения металлов и сплавов

Химико-термическая обработка (ХТО). Диссоциация молекул и образование активных атомов диффундирующего элемента. Адсорбция и диффузия. Насыщающие среды. Зависимость концентрации диффундирующего элемента и глубины слоя от активности газовой фазы, температуры и длительности процесса. Структура диффузионных слоев. Связь структуры диффузионных слоев с диаграммой состояния. Технологические процессы цементации, азотирования, нитроцементации,

алитирования, хромирования, цианирования, сульфидирования, силицирования, борирования, многокомпонентного легирования. Использование концентрированных источников энергии для ХТО.

Закалка токами высокой частоты. Термообработка прямым пропусканием электрического тока. Дробетструйная обработка. Обкатка поверхности роликом. Термомеханическая обработка. Структурные конфигурации при теплой и горячей деформации. Динамическая полигонизация. Динамическая рекристаллизация. Виды термомеханической обработки. Высокотемпературная (ВТМО) и низкотемпературная (НТМО) термомеханические обработки. Предварительная термомеханическая обработка. Эффект наследования дислокационной структуры. Термомеханическая обработка дисперсионнотвердеющих сплавов. Контролируемая прокатка. Механотермическая обработка, средства ее проведения. Электротермомеханическая обработка. Термоциклическая обработка. Терромагнитная обработка. Лазерная, электроннолучевая, плазменная обработка.

ПРИМЕРНЫЕ ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ К БИЛЕТАМ ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ

1. Основные типы диаграмм двухкомпонентных систем.
2. Рост аустенитного зерна при нагреве. Структурная наследственность. Методы предотвращения перегрева в стали.
3. Типы закалочных сред, их физические и технологические особенности. Принципы выбора закалочной среды.
4. Изменение структурного состояния и физико-механических свойств холоднодеформированной стали при нагреве.
5. Изотермические и термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита. Принципы построения и их применение при выборе технологии термической обработки.
6. Отпускная хрупкость. Методы ее предотвращения.
7. Гомогенное и гетерогенное зарождение кристаллов. Понятие критического размера зародышей.
8. Классификация сталей. Основные понятия о механических свойствах и сферы их применения.
9. Разновидности и области применения химико-термической обработки.
10. Изменение структурного состояния и физико-механических свойств стали при холодной пластической деформации.
11. Термодинамика, механизм и кинетика мартенситного превращения.
12. Низкотемпературная термомеханическая обработка, ее влияние на формирование физико-механических свойств стали.

13. Фазовые и структурные составляющие в сплавах системы «железо-углерод».
14. Разновидности отжига, их влияние на формирование структурного состояния и механических свойств. Технологические особенности, области применения.
15. Принципы выбора тепловой обработки после химико-термической обработки.
16. Классификация чугунов. Основные данные по механическим свойствам и сфере их применения.
17. Сравнительное сопоставление механических свойств формирующихся в стали структур при распаде переохлажденного аустенита.
18. Основные типы связи атомов в твердых телах. Металлическая связь. Электронное строение и свойства металлов.
19. Превращение в стали при нагреве.
20. Высокотемпературная термомеханическая обработка, ее влияние на формирование физико-механических свойств стали.
21. Основные типы кристаллических решеток. Элементарные ячейки. Индексы направлений и плоскостей в кристаллической решетке.
22. Термодинамика, механизм и кинетика бейнитного превращения.
23. Структурные превращения в закаленной стали при нагреве.
24. Типы дефектов кристаллического строения. Дислокации. Вектор Бюргерса. Плотность дислокаций. Скольжение и размножение дислокаций.
25. Термодинамика, механизм и кинетика перлитного превращения.
26. Виды закалки, их влияние на структуру и механические свойства сталей. Технологические особенности закалки, область применения.
27. Структурные превращения в твердом металле. Полиморфизм.
28. Современные виды термического упрочнения металлических изделий высококонцентрированными источниками энергии.
29. Основные понятия кристаллохимии ионных и металлических кристаллов.
30. Явления, сопровождающие прохождение рентгеновского излучения через вещество. Ионизационное действие рентгеновского излучения. Способы структурного анализа с помощью рентгеновского излучения.
31. Принципы легирования и направления в создании современных высокопрочных сталей. Средства повышения их свойств.
32. Понятие об устойчивом зародыше кристаллизации. Рост зародышевых центров, понятие о двухмерном зародыше. Дислокационный механизм роста.
33. Особенности мартенситного превращения в стали. Природа мартенсита. Механизм мартенситного превращения. Когерентный рост кристаллов мартенсита. Структура мартенсита. Остаточный аустенит в сталях.

34. Морфология продуктов кристаллизации. Строение слитка. Дендритная, зональная и ликвация по удельному весу.

35. Химико-термическая обработка. Насыщающие среды. Структура диффузионных слоев. Технологические процессы ХТО.

36. Дислокационный механизм пластической деформации, зарождение трещины и разрушение металлов. Хрупкое и вязкое разрушение. Связь между прочностью и количеством дефектов кристаллического строения.

37. Превращения при отпуске. Механизм распада мартенсита. Распад остаточного аустенита, карбидное превращение, коагуляция карбидов. Структуры отпуска. Влияние отпуска на свойства стали.

38. Механические свойства, определяемые при статическом нагружении. Испытания на растяжение, сжатие, изгиб, кручение, трещиностойкость. Влияние легирования, структуры концентраторов напряжений и масштабного фактора на характеристики механических свойств.

39. Термомеханическая обработка. Структурные конфигурации при теплой и горячей деформации. Динамическая полигонизация. Динамическая рекристаллизация. Виды термомеханической обработки.

40. Механические свойства, определяемые при динамическом нагружении. Влияние скорости деформирования на характеристики прочности и пластичности. Динамические испытания на изгиб образцов. Ударная вязкость. Методы определения ударной вязкости и ее составляющих.

41. Виды процессов термической обработки стали и их характеристики. Прокаливаемость, влияющие на нее факторы. Закаливаемость. Дефекты, связанные с термической обработкой.

42. Механические свойства, определяемые при циклическом нагружении. Усталость, диаграммы усталости, предел выносливости. Малоцикловая и многоцикловая усталость. Природа усталостного разрушения. Влияние различных факторов на сопротивление усталости.

43. Технология закалки стали. Выбор параметров термообработки. Способы нагрева под закалку. Защита стали от окисления и обезуглероживания при нагреве. Охлаждающие (закалочные) среды.

44. Атомное строение металлов и сплавов. Структурный анализ сплавов. Основные положения электронной теории металлов.

45. Рекристаллизация металлов, термодинамика. Стадии процесса рекристаллизации, изменение свойств наклепанного металла в процессе рекристаллизационного отжига. Порог рекристаллизации.

46. Система железо-цементит. Компоненты системы. Растворимость углерода в α - и γ -железе. Фазы системы, фазовые области диаграммы, характерные фазовые реакции (нонвариантные). Координаты точек диаграммы.

47. Классификация методов механических испытаний. Значение механических характеристик в материаловедении.

48. Чугун. Стабильная диаграмма состояний железо-графит. Структура и свойства чугуна, форма графита. Влияние примесей и скорости охлаждения на условия графитизации, структуру и свойства чугуна.

49. Свойства стали, закаленной на мартенсит. Причины упрочнения при закалке. Выбор температуры закалки. Время нагрева и выдержки. Способы нагрева под закалку. Охлаждающие (закалочные) среды.

50. Лазерная, электроннолучевая, плазменная обработка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

1. Новиков И.И. и др. Металловедение. Учебник. В 2-х томах./ Т.1.: Основы металловедения. – М.: Издательский Дом МИСиС, 2008. – 496 с.
2. Материаловедение и технология конструкционных материалов: учебник для вузов / В. Б. Арзамасов, [и др.]. – М. : АКАДЕМИЯ, 2007. – 448 с. – (Высшее профессиональное образование).
3. Лахтин Ю. М. Материаловедение: учебник для вузов / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – М. : Альянс, 2009. – 528 с.
4. Третьяков А.Ф. Материаловедение и технологии обработки материалов: учебное пособие для вузов / А.Ф. Третьяков, Л.В. Тарасенко. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 541 с.
5. Золотаревский В.С. Механические свойства металлов / В.С. Золотаревский, – М.: Металлургия, 1983.- 350 с.
6. Гольдштейн М.И. Специальные стали / М.И. Гольдштейн, С.В. Грачев, Ю.Г. Векслер.- М.: Металлургия, 1986.- 406 с.
7. Колачев Б.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов / Б.А. Колачев, В.А. Ливанов, В.И. Елатин.- М.: Металлургия, 1981.- 415 с.
8. Металловедение и термическая обработка стали: Справочник / Под ред. М.Л. Бернштейна, А.Г. Рахштадта.- М.: Металлургия, 1983. т. 2,- 356 с.
9. Коваленко В.С. Упрочнение и легирование деталей машин лучом лазера / В.С. Коваленко, Л.Ф. Головкин, В.С. Черненко.- Киев: Техника, 1990.-191 с.
10. Григорьянц А.Г. Основы лазерной обработки материалов / А.Г. Григорьянц.- М.: Машиностроение, 1989.- 304 с.

Дополнительная литература

11. Материаловедение в машиностроении и промышленных технологиях: учебно-справочное руководство / В. А. Струк, и др. – Долгопрудный: Интеллект, 2010 . – 536 с.
12. Машиностроительные стали: Справочник / Под ред. В.Н. Журавлева - М.: Машиностроение, 1981.-391 с.
13. Филиппов М.А. Стали с метастабильным аустенитом / М.А. Филиппов, В.С. Литвинов, Ю.Р. Немировский.- М.: Металлургия, 1988.-256 с.

14. Методы испытания, контроля и исследования машиностроительных материалов: Справочник в 3-х т. / Под общ. ред. А.Т. Туманова, Т. 1. Физические методы исследования материалов / Под ред. Кишкина, Н.М. Склярова.- М.: Машиностроение, 1974.- 320 с.
15. Геллер Ю.А. Инструментальные стали / Ю.А. Геллер.- М.:Металлургия, 1978,- 568 с.