МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»



УТВЕРЖДАЮ: Проректор по образовательной деятельности Е.М. Разинкина 30» сентября 2019 г.

ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА СПЕЦИАЛЬНАЯ ДИСЦИПЛИНА ПО НАПРАВЛЕНИЮ ПОДГОТОВКИ

22.06.01 – ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ

Направленности (профили):

- 1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов
- 2. Металлургия черных, цветных и редких металлов
- 3. Литейное производство
- 4. Обработка металлов давлением
- 5. Порошковая металлургия и композиционные материалы
- 6. Материаловедение по отраслям

Директор Института машиностроения, материалов и транспорта

А.А. Попович

Руководитель основных образовательных программ ИММиТ

О.В. Кочнева

г. Санкт-Петербург 2019

1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

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

Строение металлов и сплавов

Основные типы связи атомов в твердых телах. Металлическая связь. Электронное строение и физические свойства металлов. Поверхность Ферми и зоны Бриллюэна. Твердые растворы замещения, внедрения и вычитания. Упорядоченные твердые растворы. Электронные соединения (фазы Юм-Розери), фазы внедрения, интерметаллидные фазы. Правило фаз. Диаграммы состояния двойных и тройных систем с непрерывным твердым раствором, с эвтектическими, перитектическими и монотектическими равновесиями. Термодинамический анализ диаграмм состояния.

Кристаллическое строение и его дефекты

Основные типы кристаллических решеток. Элементарные ячейки. Индексы направлений и плоскостей в кристаллической решетке. Анизотропия свойств кристаллов.

Типы дефектов кристаллического строения. Точечные дефекты. Дислокации. Дефекты упаковки. Вектор Бюргерса. Плотность дислокаций. Скольжение и переползание дислокаций. Зарождение и размножение дислокаций, источник Франка-Рида. Взаимодействие дислокаций между собой и с примесными атомами. Атмосферы Котрелла, Снука, Сузуки. Дислокационные сетки и малоугловые границы. Высокоугловые границы. Двойники. Механизм деформационного двойникования.

Фазовые и структурные превращения в металлах и сплавах в твердом состоянии

Классификация фазовых и структурных превращений. Фазовые превращения I и II рода. Гомогенный и гетерогенный механизмы зарождения. Строение и механизм движения поверхностей раздела фаз. Сдвиговое (бездиффузионное) и нормальное (диффузионное) превращения. Термодинамический и кристаллографический анализ мартенситного превращения. Механизм и кинетика эвтектоидного превращения.

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

Образование и распад метастабильных фаз. Распад пересыщенного твердого раствора. Спинодальное расслоение. Термодинамика образования промежуточных фаз. Структурные изменения при старении (кластеры, зоны Гинье-Престона, промежуточные метастабильные фазы, модулированные структуры). Когерентные, частично когерентные и некогерентные выделения. Формы выделений. Непрерывный и прерывистый распад.

Металлургические процессы получения полуфабрикатов и изделий

Виды технологии литейного производства. Структура и свойства жидких металлов. Гомогенное и гетерогенное зарождение кристаллов, критический размер зародыша. Концентрационное переохлаждение. Эвтектическая кристаллизация. Влияние скорости кристаллизации на строение сплавов. Строение металлического слитка. Модифицирование структуры литых сплавов. Образование метастабильных фаз при кристаллизации. Бездиффузионная кристаллизация.

Металлические стекла. Методы получения монокристаллов из расплава. Металлургия гранул.

Способы обработки металлов давлением. Влияние температуры, схемы и степени деформации на сопротивление деформации, структуру и свойства металлов и сплавов. Виды сварки металлов и сплавов. Структура и свойства сварных соединений.

Термическая обработка

Классификация видов термической обработки. Гомогенизационный отжиг. Изменение структуры и свойств сплавов при гомогенизационном отжиге. Дорекристаллизационный и рекристаллизационный отжиг. Отдых. Полигонизация. Первичная, собирательная и вторичная рекристаллизация. Механизм и кинетика отдыха, виды полигонизации и рекристаллизации, влияние на них предшествующей пластической деформации, примесей, температуры и продолжительности отжига. Параметры полигонизованной и рекристаллизованной структуры. Критическая степень деформации. Диаграммы рекристаллизации. Закономерности и природа изменения механических и физических свойств при отжиге после холодной деформации. Текстура деформации, первичной, собирательной и вторичной рекристаллизации, механизм ее образования. Анизотропия свойств текстурованных металлов.

Отжиг для уменьшения остаточных напряжений. Механизм снижения остаточных напряжений при нагревании. Фазовые превращения при нагреве. Структурная наследственность.

Закалка без полиморфного превращения. Старение. Природа упрочнения при старении. Влияние температуры и продолжительности старения на механические и физические свойства сплавов. Перестаривание, ступенчатое старение. Влияние температуры нагрева под закалку и скорости охлаждения на формирование структуры и свойств сплавов при старении. Возврат при старении. Прессэффект (структурное упрочнение).

Закалка с полиморфным превращением. Микроструктура и субструктура мартенсита. Изменение структуры и свойств при закалке. Упрочнение и изменение пластичности при закалке на мартенсит. Критическая скорость охлаждения при закалке, прокаливаемость. Бейнитное превращение. Строение бейнита. Изотермическая закалка.

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

Термомеханическая обработка. Химико-термическая обработка

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

Высокотемпературная и низкотемпературная термомеханическая обработка. Термомеханическая обработка дисперсионно-твердеющих сплавов.

Химико-термическая обработка. Элементарные процессы при химико-термической обработке. Структура диффузионных слоев и ее связь с диаграммой состояния.

Азотирование, цементация, нитроцементация, алитирование, хромирование, борирование, сульфидирование, силицирование. Термоводородная обработка.

Технология термической обработки

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

Дефекты термической обработки. Газонасыщение и его влияние на структуру и свойства сплавов. Методы борьбы с поводками и короблением.

Упругая и пластическая деформация. Разрушение

Диаграммы деформирования моно- и поликристаллов, многофазных сплавов. Механизмы упругой и пластической деформации. Деформационное упрочнение, влияние на него температуры и скорости деформации. Понятия предела упругости и предела текучести. Эффект Баушингера. Упрочнение при образовании твердых растворов и при выделении избыточных фаз (когерентных и некогерентных).

Влияние размера зерна на механические свойства. Сверхпластичность. Псевдоупругость. Неупругость.

Хрупкое и вязкое разрушение. Схемы зарождения трещин. Распространение трещин при хрупком и вязком разрушении. Формула Гриффитса. Природа хладноломкости. Схема Иоффе и понятие «порог хладноломкости». Строение изломов.

Ползучесть. Механизмы и стадии ползучести. Релаксация напряжений. Кратковременная и длительная прочность. Влияние состава и структуры сплавов на ползучесть.

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

Методы исследования и контроля структуры и свойств металлов

Методы изучения микроструктуры. Световая микроскопия. Методы количественной металлографии. Электронная микроскопия (метод реплик, дифракционная микроскопия разных видов фольги, сканирующая микроскопия, микродифракция). Рентгеноструктурный и электронно-графической анализ. Микрорентгеноспектральный анализ. Локальный анализ состава по электронным спектрам.

Методы измерения физических свойств (термический анализ, калориметрия, дилатометрия, измерение плотности, магнитный анализ и др.).

Механические свойства металлов и сплавов. Методы измерения механических свойств металлов и сплавов. Статические и динамические испытания. Испытания на ползучесть, длительную прочность и релаксацию напряжений. Усталостные испытания. Методы определения твердости и микротвердости.

Промышленные стали и сплавы (основы легирования и термической обработки, свойства, области применения)

Стали. Классификация сталей по структуре, составу, назначению.

Чугуны и их классификация. Модифицирование чугунов.

Алюминий и его сплавы. Титан и его сплавы. Медь и ее сплавы. Никель и его сплавы. Магний и его сплавы. Цинк и его сплавы. Легкоплавкие сплавы. Сплавы на основе тугоплавких и редких металлов.

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. Сплавы с эффектом запоминания формы и сверхупругости. Сплавы высокого демпфирования. Теплостойкие и жаропрочные стали и сплавы.

Управление качеством металлургической продукции

Показатели качества продукции в металлургическом производстве, а именно: требования к химическому составу сталей и сплавов, включая допустимые отклонения содержания элементов от установленных значений; требования к структуре сталей и сплавов в исходном состоянии и после термической обработки; требования по механическим свойствам при стандартизованных видах испытаний на растяжение, твердость, ударный изгиб и др., взаимосвязь механических свойств Действия в промышленном производстве с продукцией, не соответствующей установленным требованиям.

Работоспособность конструкционных материалов при проектировании, освоении производства и эксплуатации изделий: вязкость разрушения (трещиностойкость), длительная прочность, ползучесть, сопротивление циклическим нагрузкам; натурные (эксплуатационные) испытания; жаропрочность; взаимодействие с окружающей средой (окисление и коррозия); эксплуатационный ресурс и остаточный ресурс изделий.

Управление качеством промышленной продукции. Элементы системы качества в металлургическом производстве. Статистический анализ баз данных показателей качества и работоспособности металлургической продукции: установление технических требований для приемного контроля качества сталей и сплавов (объем испытаний, оборудование, документация); установление регламентов действий с продукцией, не соответствующей установленным требованиям; оценка эксплуатационного ресурса изделий на основе ускоренных и натурных испытаний.

Порошковые и наноматериалы

Химический синтез, исследование структуры и свойств порошковых и нанопорошковых материалов, включая магнитные наночастицы, дихалькогениды переходных металлов, керамические сцинтилляционные материалы и др. Газофазный синтез, исследование структуры и механизмов роста углеродных наноструктур: углеродных нанотрубок и нановолокон, графенов. Получение компактных материалов методами порошковой металлургии, изучение основных закономерностей процессов. Получение и исследование новых металломатричных дисперсно-упрочненных композиционных материалов на основе меди и алюминия, в т.ч. упрочнённых углеродными наноструктурами, и гибридных органо-неорганических композиционных материалов.

Жаропрочные сплавы

Понятие жаропрочность и жаростойкость. Принципы легирования жаропрочных сплавов (диаграммы состояния, структура, тип упрочнения). Длительная прочность и ползучесть. Методы оценки работоспособности жаропрочных сплавов. Механизмы окисления сплавов при высоких температурах. Сплавы на основе никеля. Сплавы на основе системы железохром-никель. Сплавы на основе интерметаллидов. Методы получения жаропрочных сплавов и готовых изделий из них. Технологические свойства жаропрочных сплавов. Области применения и условия эксплуатации жаропрочных жаростойких сплавов.

Вопросы к экзамену

- 1. Кристаллическое состояние металлов. Типичные кристаллические структуры. Основные характеристики кубических и гексагональных решеток.
- 2. Твердые растворы замещения и внедрения. Упорядоченные твердые растворы. Электронные соединения, фазы Лавеса, фазы внедрения.
- 3. Плавление и затвердевание. Гомогенное и гетерогенное зарождение кристаллов. Формы роста кристаллов. Ликвационные явления.
- 4. Термодинамика в металлургии. Диаграммы состояния для бинарных систем. Виды диаграмм состояния, основные типы превращений в твердом состоянии.
- 5. Полная характеристика бинарной диаграммы железо-углерод (стабильная и метастабильная).
- 6. Диффузионные процессы в металлах и сплавах. Роль диффузии в фазовых превращениях. Процессы выделения и растворения фаз.
- 7. Эвтектические и эвтектоидные превращения. Механизм и кинетика.
- 8. Мартенситные превращения. Механизм и кинетика. Особенности превращения в сталях.
- 9. Точечные дефекты. Вакансии и межузельные атомы. Образование и миграции вакансий. Поведение вакансий при закалке и отжиге металлов и сплавов.
- Дислокации. Плотность дислокаций. Частичные и полные дислокации. Дислокационные реакции. Дефекты упаковки. Взаимодействие дислокаций с примесными атомами.
- 11. Границы зерен и субзерен. Малоугловые и высокоугловые границы. Миграция границ. Взаимодействие границ зерен с примесными атомами. Торможение и ускорение миграции границ дисперсными частицами. Рост зерен. Коалесценция субзерен.
- 12. Гомогенизационный отжиг литого металла.
- 13. Процессы возврата и рекристаллизации деформированного металла. Полигонизация, статическая и динамическая рекристаллизация. Диаграммы рекристаллизации.
- 14. Отжиг сталей. Процессы при нагреве сталей. Превращение перлита в аустенит при нагреве, рост зерен. Действительное и наследственное зерно. Структурная наследственность.
- 15. Отжиг сталей. Процессы при охлаждении. Превращение аустенита в перлит при охлаждении. Изотермические и термокинетические диаграммы устойчивости переохлажденного аустенита углеродистых и легированных сталей. Влияние различных факторов на устойчивость аустенита.
- 16. Закалка сталей и сплавов без полиморфного превращения. Процессы старения после закалки. Зоны Гинье-Престона. Когерентные, частично когерентные и некогерентные выделения избыточных фаз.
- 17. Бейнитное превращение. Особенности структурных превращений в сталях.

- 18. Процессы, протекающие при отпуске закаленных на мартенсит сталей. Влияние легирования. Коалесценция карбидной фазы при высоком отпуске.
- 19. Отпускная хрупкость сталей. Обратимая и необратимая хрупкость. Подавление отпускной хрупкости.
- 20. Деформационно-термическая обработка сталей. ВТМО, НТМО и НТМИзО сталей. Особенности структурообразования.
- 21. Контролируемая прокатка. Особенности структуробразования.
- 22. Химико-термическая обработка сталей. Термодинамика взаимодействия газ-металл в процессах диффузионного насыщения поверхности легирующими элементами.
- 23. Кинетика процессов газ-металл на реагирующей поверхности при химико-термической обработке.
- 24. Три типа кинетики при диффузионном насыщении поверхности элементами внедрения и замещения.
- 25. Процессы диффузионного насыщения углеродом и азотом при цементации и нитроцементации сталей. Структура диффузионных слоев.
- 26. Процессы азотирования сталей. Структура диффузионного слоя.
- 27. Процессы хромирования и алитирования сталей. Структура диффузионных слоев.
- 28. Борирование стали. Однофазное и двухфазное борирование. Особенности структуры поверхностного борированного слоя.
- 29. Особенности структурообразования при высокоскоростном нагреве под термическую обработку (закалка ТВЧ, лазерная и плазменная закалка).
- 30. Влияние химического состава на структуру, механические свойства и работоспособность сталей и сплавов основные элементы, легирующие элементы и вредные примеси.
- 31. Стандартизованные механические свойства показатели прочности, пластичности и ударной вязкости, их взаимосвязь.
- 32. Описание структуры сплавов в исходном состоянии и после термической обработки.
- 33. Показатели работоспособности конкретных сплавов: вязкость разрушения, длительная прочность, ползучесть, сопротивление циклическим нагрузкам, жаропрочность.
- 34. Коррозионная стойкость исследуемых сплавов.
- 35. Практическое задание по самостоятельной работе. Статистический анализ базы данных по стандартизованным механическим свойствам сплавов с определением приемочных уровней технических требований и вероятности их выполнения (допустимого уровня брака).
- 36. Что такое эффект Баушингера?
- 37. Сколько стадий пластической деформации существует? Охарактеризуйте каждую из них.
- 38. Объясните и расшифруйте характеристики механических свойств металлов и сплавов: E, G, K, ν ?
- 39. Что такое коэффициент деформационного упрочнения?
- 40. В чем заключаются принципиальные различия между хрупким и вязким разрушением?
- 41. Какие напряжения вызывают скольжение в металлах? Что такое скалывающее напряжение и от чего оно зависит?
- 42. Сколько стадий разрушения существует? Какие?
- 43. Напишите формулу Гриффитса. Объясните ее смысл и практическое значение.
- 44. Опишите атомный механизм упругости металлов.
- 45. Что такое схема Иоффе и как с помощью этой схемы можно объяснить механические причины хладноломкости металлов?
- 46. Каково различие между хрупкими и вязкими трещинами? Что такое критическая длина трещины?

- 47. Кристаллическое строение материалов. Плотнейшие упаковки. Индексы плоскостей и направлений. Анизотропия свойств кристаллических материалов. Аморфные металлические сплавы.
- 48. Дефекты кристаллического строения материалов, классификация дефектов.
- 49. Точечные дефекты: образование, равновесная концентрация. Основные методы определения количества точечных дефектов структуры. Роль точечных дефектов в процессах структурообразования в металлических материалах.
- 50. Дислокации в металлических сплавах. Краевые, винтовые, смешанные дислокации. Частичные и полные дислокации. Скольжение дислокаций. Взаимодействие дислокаций между собой и с точечными дефектами материала.
- 51. Кристаллизация расплавов по механизму зарождения и роста. Изменение термодинамических функций при кристаллизации. Критический размер зародыша. Гомогенное и гетерогенное зародышеобразование при кристаллизации расплавов.
- 52. Особенности фазовых превращений в твердом состоянии. Классификация фазовых превращений (по Кристиану). Межфазные границы и энергия межфазных границ. Типы межфазных границ: когерентная, полукогерентная, некогерентная.
- 53. Гомогенные и гетерогенные превращения. Два типа флуктуаций по классификации Гиббса. Спинодальный распад. Упорядочение.
- 54. Термоактивируемый рост. Диффузионно-контролируемый рост. Рост, контролируемый процессами на межфазной границе. Непрерывные и прерывистые выделения.
- 55. Стадии распада пересыщенного твердого раствора. Причины образования метастабильных фаз. Зоны Гинье-Престона.
- 56. Бездиффузионные фазовые превращения. Нормальные превращения. Атермический рост. Мартенситные превращения. Массивные превращения.

Основная литература

Гуляев А.П. Металловедение: Учебник для вузов. М.: Металлургия, 1986.

Новиков И.И., Розин К.М. Кристаллография и дефекты кристаллической решетки:

Учебник для вузов. М.: Металлургия, 1990.

Новиков И.И. Теория термической обработки металлов. Учебник для вузов. М.: Металлургия, 1992.

Золотаревский В.С. Механические свойства металлов. М.: Изд-во МИСиС, 1998.

Кондратьев С.Ю. Механические свойства металлов: Учебное пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011.

Анастасиади Г.П., Окрепилов В.В., Сильников М.В. Управление качеством промышленной продукции. СПб.: Наука, 2014.

Дополнительная литература

Новиков И.И., Строганов Г.Б., Новиков А.И. Металловедение, термическая обработка и рентгенография. М.: Изд-во МИСиС, 1994.

Технология термической обработки цветных металлов и сплавов: Учебник для вузов / Б.А. Колачев и др. М.: Металлургия, 1992.

Ильин А.А. Механизм и кинетика фазовых и структурных превращений в титановых сплавах. М.: Наука, 1994.

Лившиц Б.Г., Крапошин В.С., Линецкий Я.Л. Физические свойства металлов и сплавов.

М.: Металлургия, 1980.

Материаловедение: Учебник для вузов / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин и др.; Под общей ред. Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001.

Анастасиади Г.П., Сильников М.В. Неоднородность и работоспособность стали. СПб.: OOO «Изд-во «Полигон», 2002.

2. Металлургия черных, цветных и редких металлов

1. Теория и технология производства чугуна

Теоретические основы доменной плавки. Развитие представлений о теплообменных процессах в доменной печи. Теория теплообмена в доменных печах проф. Б.И. Китаева. Термодинамика косвенного восстановления оксидов железа СО и H_2 . Диаграмма нейтральных газовых смесей в системе Fe-O-C и $Fe-O-H_2$. Реакция Белла-Будуара. Кинетика реакции $CO_2+C=2CO$ и начало прямого восстановления вюстита. Сравнение прямого и косвенного восстановления оксидов железа. Дефицит восстановителя для реализации 100% косвенного восстановления железа в печи. Расчет противоточного восстановления оксидов железа в печи. Потоколимитируемый режим восстановления вюстита и магнетита. Восстановление примесей чугуна. Формирование конечных шлаков. Свойства шлака. Процесс десульфурации чугуна в печи. Чугун и его качество. Формирование чугуна по высоте доменной печи. Особенности образования различных чугунов. Виды чугунов, их состав и назначение. Государственные стандарты на чугун.

Технология и оборудование доменного производства. Профили доменных печей. Фундамент и металлоконструкции. Устройство частей профиля доменной печи (горн, заплечики, распар, шахта, колошник). Устройства подвода дутья, фурмы. Устройство леток для чугуна и шлака. Засыпные аппараты. Рудный двор, рудный перегружатель, бункерная эстакада, вагон-весы, колошниковые подъемники. Литейный двор, желоба для чугуна и шлака, разливочные машины, ковши для чугуна и шлака, машины для вскрытия и закрытия леток. Воздуходувные машины. Воздухонагреватели. Водоснабжение, шламовое хозяйство. Задувка доменной печи. Ход доменной печи и его регулировка. Контролируемые и регулируемые параметры доменной плавки. Технические показатели доменной плавки. Функции и особенности горения в доменной печи. Характеристика дутья.

Современные технологии доменной плавки. Альтернативные схемы производства стали. Физико-химическое обоснование технологий. Доменная плавка при повышенных давлениях газов — аэродинамика (интенсивность плавки, вынос пыли, кинетическая энергия дутья), влияние давления на химический состав и температуру чугуна, повышенное давление и расход кокса. Доменная плавка на комбинированном дутье: пределы применимости топливных добавок, резервы технологии. Твердофазные способы производства губчатого железа и жидкофазные.

2. Физико-химические основы сталеплавильных процессов.

Характеристика металлургических фаз в процессах производства стали. Современные схемы производства стали и особенности физико-химического взаимодействия в сосуществующих фазах при различных способах производства стали. Обобщенная схема сталеплавильного процесса и пути его описания для целей управления и интенсификации.

Современные представления о структуре и свойствах металлических расплавов. Современные теории о моделях структуры металлических расплавов, их достоинства и недостатки. Понятия ближнего и дальнего порядка. Влияние легирующих элементов на структуру жидкой стали. Комплексная оценка влияния высокотемпературной обработки расплавов на эффекты рафинирования от примесей. Природа жидкого железа и сплавов на его основе. Особенности расплавов железа с марганцем, никелем, хромом, кобальтом и молибденом. Расплавы железо-углерод, железо-кремний, железо-фосфор, железо-кислород, железо-сера.

Возможности термодинамики для анализа сталеплавильных процессов. Основные термодинамические законы и принципы, используемые для описания сталеплавильных процессов.

Взаимосвязь строения жидкой стали с теориями растворов. Равновесие одиночного химического соединения в стальном расплаве. Стехиометрическое соединение. Соединение переменного состава. Поиск равновесного состава соединения. Расчет диаграмм состояния многокомпонентных многофазных систем. Поверхности растворимости компонентов в металле (ПРКМ). Анализ ПРКМ, как основа разработки технологии сталеплавильного производства. Практические выводы из анализа ПРКМ.

Поверхностные явления в сталеплавильных процессах. Роль поверхностных явлений в сталеплавильных процессах. Поверхностное натяжение. Работа адгезии. Работа когезии. Поверхностно-активные элементы и их роль в массообменных процессах на границах раздела фаз. Смачивание и растекание. Краевой угол смачивания. Роль физического и химического взаимодействия в процессах смачивания. Краевой угол, как мера интенсивности массообменных процессов, протекающих в контактирующих парах.

Водород и азот в сталях и сплавах. Влияние водорода на механические свойства стали. Природа водородного охрупчивания и флокенов в стали. Способы предупреждения и борьбы дефектами. Использование водорода, как легирующего элемента в сплавах Растворимость водорода в жидком и твердом железе. Влияние азота на механические свойства стали. Механизм деформационного старения кипящих марок сталей. Способы устранения деформационного старения. Азот, как легирующий элемент стали. Растворимость азота в железе. Природа температурной зависимости. Дефект рослости слитка и способы борьбы с ним. Влияние легирующих элементов на растворимость азота в жидкой стали, причины такого влияния.

Раскисление стали. Задачи раскисления и требования к элементам-раскислителям. Раскисление кипящей и полуспокойной стали. Раскисление спокойной стали. Раскислительная способность элементов. ПРКМ, как основа анализа раскисления стали. Важнейшие раскислители. Способы раскисления стали, их достоинства, недостатки и место в технологии производства стали. Неметаллические включения в стали. Влияние на свойства стали. Классификация неметаллических включений по составу, происхождению и термовременной природе. Способы управления составом и термовременной природой неметаллических включений в стали. Методы контроля неметаллических включений в стали по ГОСТ 1778-70. Оценка неметаллических включений в стали методами автоматического анализа изображения согласно ASTM E 1245-00.

Дефосфорация стали. Влияние фосфора на свойства стали. Хладноломкость и синеломкость стали. Удаление фосфора из жидкой стали и факторы, влияющие на полноту протекания этого процесса. Основные задачи дефосфорации и способы их решения. Дефосфорация в процессе раскисления, выпуска и разливки стали. Внепечные методы удаления фосфора из жидкой стали.

Десульфурация стали. Влияние серы на свойства стали. Красноломкость и хладноломкость стали. Способы борьбы с дефектами стали, вызванными присутствием серы. Распределение серы между металлом и шлаком. Сульфидная емкость шлака. Условия удаления серы из жидкой стали. Возможности удаления серы при окислительном рафинировании. Внепечные методы удаления серы из жидкой стали.

3. Теория и технология производства стали

Производство стали — переработка углеродистого сырья. Основные задачи: состав (обезуглероживание, легирование, рафинирование) и однородность (перемешивание, усреднение) металла. Теплотехнические процессы. Классификация конвертерных процессов. Общая характеристика мартеновского процесса, варианты ведения плавки. Периоды плавки стали скрап-рудным и скрап процессами, их назначение, особенности проведения. Оценка потребности сталеплавильных ванн в тепле. Интенсивность поступления тепла в ванну. Классификация сталеплавильных агрегатов по взаимному расположению зоны теплогенерации и ванны. Тепловой

КПД агрегатов. Внепечная обработка стали (ВОС) как эффективное средство повышения качества стали. Разнообразие способов ВОС, их классификация.

Теоретическая база описания процессов: кинетика, термодинамика, тепло- и массообмен, гидро- и аэродинамика. Термодинамика взаимодействия фаз и общие закономерности поведения химических элементов в сталеплавильных процессах. Механизмы окисления примесей металла кислородом дутья, газовой фазы агрегата, твердых окислителей. Механизм и скорость растворения извести в шлаке. Механизм и скорость плавления лома в металле. Взаимодействие кислородной струи с жидкой ванной. Развитие представлений о гидродинамическом состоянии конвертерной ванны, понятие о реакционной зоне, особенности протекания окислительных процессов в реакционной зоне и вне ее. Формирование первичной реакционной зоны, факторы, определяющие ее размеры, методы расчета размеров зоны.

Технологические этапы передела: обезуглероживание, регулирование температуры и состава, кристаллизация. Технологические варианты передела: по способу нагрева, по способу рафинирования, по способу внепечной обработки, по способу разливки: в слитки и непрерывная разливка. Источники шлака, динамика растворения извести, изменение состава шлака по ходу продувки, пути ускорения шлакообразования. Дутьевой режим продувки конвертерной ванны. Поведение кремния и марганца при различных вариантах конвертерной плавки. Особенности десульфурации при конвертерной плавке, поведения фосфора. Способы управления конвертерным процессом, позволяющие сократить долю плавок с додувками ванны. Обработка при выпуске металла в ковш собственным и синтетическим шлаком. Формирование покровного и синтетического шлака в ковше. Способы подогрева и перемешивания при внепечной обработке стали (ВОС). Условия глубокой десульфурации и раскисления стали, способы их реализации. Назначение продувки инертными газами, факторы, определяющие ее эффективность. Поведение газов при продувке, режимы продувки. Зависимость конечного содержания газов от степени раскисленности и химического состава металла. Обзор технологических приемов инжекционной металлургии, возможная степень рафинирования стали. Примеры использования инжекционных методов рафинирования стали. Классификация способов рафинирования стали в вакууме. Вакуумирование стали в ковше, влияние раскисленности металла на степень удаления газов. Вакуумирование струи. Порционное и пульсационное вакуумирование. Циркуляционное вакуумирование, организация движения расплава, возможности подогрева и легирования металла при вакуумировании, результаты. Классификация и характеристика установок комплексной обработки стали (УКОС).

Энергозатраты и сбережение материалов при производстве стали различными способами. Экологические особенности передела. Энергоемкость производства стали в агрегатах различных типов. Суточная и годовая производительность сталеплавильных печей, связь между производительностью и вместимостью агрегатов. Оценка эффективности использования ВОС по характеристике служебных свойств готовых изделий, примеры. Рекомендации использования ВОС для отдельных групп марок стали. Краткая характеристика методов и средств защиты обслуживающего персонала от опасных выделений и тепловых воздействий. Системы дистанционного управления ходом процесса.

4. Электрометаллургия стали и ферросплавов

Электроплавильные печи: связь между параметрами и технико-экономическими параметрами электроплавки, электрический режим. Этапы развития конструкций дуговых электропечей. Варианты устройства современной дуговой печи, элементы механизации и автоматизации. Теория электрической дуги, характеристика процессов ионизации и рекомбинации в дуге, теплофизические и электродинамические процессы в дугах постоянного и переменного тока. Возможности управления мощностью дуги. Электрическая дуга переменного тока как

источник информации об этапах плавления и рафинирования стали. Схема электропитания дуговой печи переменного и постоянного тока. Теоретические электрические характеристики дуговой печи. Рабочие характеристики печи. Тепловая работа дуговой печи в периоды плавления и рафинировки. Интенсификация тепловой работы печи, использование топливо-кислородных горелок. Оценка эффективности использования кислорода, повышенной мощности трансформатора, подогрева шихты, вспенивания шлака на тепловую работу печи. Технико-экономические показатели работы дуговых печей.

Физико-химические особенности электросталеплавильных процессов. Влияние электродугового нагрева на поведение компонентов и структуру металлического и шлакового расплавов. Жидкие шлаки электросталеплавильного производства, их состав, свойства и назначение. Футеровка электросталеплавильных печей. Взаимодействие материала футеровки с металлическими и шлаковыми расплавами. Характеристика газовой фазы электродуговых печей. Влияние электрической дуги на физико-химические свойства газовой фазы. Особенности окислительно-восстановительных процессов в ванне дуговой сталеплавильной печи. Окисление фосфора, поведение водорода и азота в процессе плавления и рафинирования стали в электропечи. Особенности условий десульфурации стали в дуговых печах. Диффузионное раскисление.

Технология, автоматизация, основы проектирования цехов. Варианты технологических схем выплавки стали в дуговых печах. Технологическая схема выплавки стали при наличии комплексной внепечной обработки жидкого металла с электродуговым подогревом ванны. Одношлаковый процесс на печах средней мощности. Двухшлаковый процесс. Переплав шихты без окисления и с частичным окислением. Выплавка конструкционных сталей. Особенности выплавки электротехнических сталей. Выплавка нержавеющих сталей в дуговых печах. Производство хромоникелевых сталей дуплекс-процессами: дуговая печь — конвертер АОД, дуговая печь — установка VOD. Плавка стали в кислой дуговой печи. Выплавка стали и сплавов в открытых и вакуумных индукционных печах. Организация плавочного и сдаточного контроля легированных сталей. Дефекты легированных сталей.

Процессы и оборудование специальной электрометаллургии: вакуумная, электрошлаковая, плазменная плавка, переплав металла в кристаллизаторах.

Электрошлаковый переплав (ЭШП), электрошлаковое литье, электрошлаковая разливка стали. Флюсы ЭШП. Теплофизические процессы при ЭШП. Особенности вакуумных процессов рафинирования металла. Вакуумно-дуговой переплав, электронно-лучевой переплав. Плазменные печи: дуговая и индукционная плазма, способы сжатия плазменной дуги, физические параметры сжатой дуги, характеристики плазмообразующего газа и смеси газов, использование дуговой плазмы, особенности теплообмена в плазменных печах, устройство печей – переплавных и с керамическим тиглем. Дуговые вакуумные печи: особенности горения электрической дуги в вакууме, источники питания печей, устройство переплавных и гарнисажных дуговых печей, технико-экономические показатели работы печей. Индукционные вакуумные печи: объемный электрический разряд в вакууме и меры его предотвращения, особенности устройства корпуса печи, изоляции индуктора, устройства огнеупорной футеровки, примеры конструктивного оформления печей. Печи электрошлакового переплава. Классификация индукционных печей. Канальные печи, устройство, область применения. Тигельные индукционные печи, параметры рабочего пространства, футеровка, элементы механизации. Технико-экономические показатели работы индукционных печей, сравнение их с показателями дуговых печей.

Электрометаллургия ферросплавов: классификация процессов и печей; производство сплавов кремния, марганца, хрома и других.

Существующие методы производства ферросплавов; электротермические, рафинирующие, металлотермические процессы. Основы технологии производства кремнистых сплавов,

углеродистых и малоуглеродистых ферросплавов. Особенности устройства и работы дуговых рудотермических печей.

5. Разливка и кристаллизация стали

Гидродинамические процессы при разливке. Свойства жидкой стали и их влияние на гидродинамику разливки. Истечение стали из ковша. Показатели расхода. Переменный напор и потери напора. Свободная затопленная струя. Потоки в ограниченном пространстве. Влияние профиля сталеплавильного стакана на струю.

Теплофизические процессы и усадочные явления при кристаллизации. Теплообмен в системе слиток-кристаллизатор. Металлические и водоохлаждаемые кристаллизаторы. Зазор между слитком и кристаллизатором. Изменение теплопередачи в зазоре. Температурное состояние слитка и изложницы. Схема процесса затвердевания. Продолжительность затвердевания. Усадка и усадочные пустоты в слитке. Усадочная раковина и влияние на ее расположение направлений теплоотвода.

Газовыделение при затвердевании стали. Динамика газовыделения при затвердевании стали. Состав выделяющих газов в зависимости от содержания кислорода в стали. Образование газовых пузырей. Факторы, влияющие на формирование пузырей. Динамика образования пузырей при кристаллизации и ее влияние на формирование структуры слитка.

Типы стальных слитков. Слиток спокойной стали. Дендритная кристаллизация. Образование основных структурных зон. Определение основных параметров слитка. Зависимость основных параметров от технологии разливки. Слиток кипящей стали. Зоны сотовых пузырей, вторичных пузырей, центральная. Влияние степени раскисления на структуру. Химическое и механическое закупоривание. Слиток полуспокойной стали. Отсутствие зоны вторичных пузырей – характерный признак полуспокойного слитка.

Основные технологические параметры разливки. Скорость разливки и ее регулирование. Температура разливки. Изменение температуры во время выпуска и разливки. Взаимодействие жидкой стали с огнеупорами. Способы разливки стали: сверху, сифоном, непрерывная разливка. Технология разливки спокойной стали в слитки. Разливка под шлаком. Технология разливки кипящей и полуспокойной стали в слитки. Получение закупоренных слитков. Особенности получения и разливки полуспокойной стали. Технологические основы непрерывной разливки стали (НРС). Типы машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) и их устройство. Основные параметры НРС. Особенности непрерывной разливки кипящей стали. Защита металла от вторичного окисления. Скорость непрерывной разливки. Выбор параметров кристаллизации. Выбор параметров зоны вторичного охлаждения. Разливка методом «плавка на плавку». Особенности формирования непрерывного слитка. Теплопередача и затвердевание в кристаллизаторе.

Качество стальных слитков и непрерывнолитых заготовок. Химическая неоднородность и факторы, влияние на ее развитие. Неметаллические включения в стали: эндогенные и экзогенные. Газы в стали. Поверхностные дефекты. Холодные и горячие трещины. Дефекты макроструктуры. Контроль качества слитков и НЛЗ. Вакуумирование при разливке. Разливка под шлаком. Разливка в нейтральной и защитной атмосфере. Применение внешних физических воздействий.

6. Пирометаллургия тяжёлых цветных металлов

Принципиальная технологическая схема производства меди.

Окислительный обжиг сульфидных материалов. Термодинамика и кинетика окисления сульфидов. Классификация процессов обжига.

Теоретические основы переработки руд и концентратов на штейн. Строение и свойства медных штейнов на основе анализа тройной системы медь-железо-сера. Характеристика промышленных штейнов. Строение и свойства шлаков на основе системы FeO- SiO₂- CaO и FeO -Fe₂O₃- SiO₂. Характеристика промышленных шлаков. Влияние оксидов магния, алюминия, цинка и натрия на свойства шлаков. Виды потерь цветных металлов со шлаками и их связь с составами шлаков, штейнов и газовой фазой.

Процессы отражательной плавки. Составы штейнов, шлаков и отходящих газов. Пути совершенствования технологии. Способы плавки в шахтных печах. Процессы, протекающие в печи. Электроплавка руд и концентратов. Устройство электропечи. Влияние состава шихты и шлака на режим электроплавки. Процессы в печи. Характеристика продуктов плавки. Сравнение технико-экономических показателей отражательной, шахтной и электроплавки.

Автогенные способы плавки в пирометаллургии меди. Сущность автогенных процессов. Разновидности автогенных плавок. Сравнение технико-экономических показателей способов автогенных плавок.

Конвертирование штейнов. Устройство конверторов. Физико-химические основы процесса конвертирования. Характеристика шлаков и газов. Состав черновой меди.

Термодинамика и химизм процессов огневого рафинирования. Аппаратурное оформление, технология, технико-экономические показатели. Получение бескислородной меди.

Переработка сульфидных медно-никелевых руд и концентратов. Технологическая схема. Подготовка сырья к рудно-термической плавке. Устройство печей РТП и ПВП. Строение медноникелевых штейнов, их свойства. Технико-экономические показатели плавок. Конвертирование медно-никелевых штейнов. Строение и свойства медно-никелевых файнштейнов. Поведение кобальта при конвертировании. Распределение металлов платиновой группы между фазовыми составляющими файнштейнов. Подготовка файнштейна к разделительной флотации. Продукты флотации, их состав и выход. Схема переработки продуктов разделительной флотации. Окислительный обжиг никелевого концентрата, восстановительный обжиг огарка, анодная плавка; теория и практика процессов.

Способы переработки свинцовых руд и концентратов. Агломерирующий обжиг свинцовых концентратов; восстановительная шахтная плавка; переработка промежуточных продуктов плавки; автогенные процессы; рафинирование чернового свинца. Характеристики электротермического способа переработки свинцовых концентратов. Автогенные процессы в металлургии свинца. Схема пирометаллургического рафинирования свинца. Удаление железа и меди ликвацией. Удаление меди сульфидированием. Щелочное рафинирование свинца от сурьмы, мышьяка и олова. Удаление серебра цинком. Схема переработки серебряной пены. Дистилляция цинка из пены. Купеляция серебристого свинца. Рафинирование свинца от висмута кальцием и магнием. Второе щелочное рафинирование. Теория и технология процессов. Аппаратурное оформление. Продукты переработки висмутовой пены.

Способы переработки цинковых концентратов. Характеристики пирометаллургических способов. Окислительный обжиг цинковых концентратов. Теоретические основы обжига. Показатели обжига в печах кипящего слоя. Технологии восстановления и конденсации цинка. Восстановление цинка в горизонтальных и вертикальных ретортах. Переработка полиметаллических цинковых концентратов в шахтных и руднотермических печах. Сравнение показателей пирометаллургических способов производства цинка. Рафинирование цинка ликвацией и дистилляцией. Аппаратурное оформление.

7. Гидрометаллургия тяжелых цветных металлов

Подготовительные операции, операции выщелачивания, очистка растворов от примесей, выделение металлов и их соединений из растворов, разделение твердой и жидкой фаз. Методы концентрирования металлов. Принципы компоновки технологических схем. Принципы подбора реагентов

Способы сернокислотного выщелачивания окисленных медных руд: подземное выщелачивание, кучное выщелачивание, перколяция, выщелачивание в реакторах.

Переработка растворов после выщелачивания. Цементация меди на железной стружке. Выделение меди методом электроэкстрации. Жидкостная экстракция меди с последующей электроэкстракцией меди из чистых растворов.

Гидрометаллургические технологии переработки сульфидных медных концентратов. Аммиачное выщелачивание меди из концентратов. Хлоридное выщелачивание меди. Сернокислотное выщелачивание в автоклавах.

Переработка окисленных никелевых руд:

- автоклавное сернокислотное выщелачивание. Методы выделения никеля и кобальта из сернокислых растворов. Схема с осаждением сульфидов. Схема с методом жидкостной экстракции. Схема с осаждением гидроксидов;
- аммиачно-карбонатное выщелачивание. Восстановительный обжиг окисленной руды. Выделение кобальта из аммиачно-карбонатных растворов в виде сульфидов. Дистилляция раствора с получением основного карбоната никеля. Жидкостная экстракция никеля из аммиачно-карбонатных растворов. Сравнительный анализ аммиачного и сульфатного методов переработки окисленных руд.

Выщелачивание цинковых огарков. Очистка растворов от примесей. Электроэкстракция цинка из растворов. Автоклавное выщелачивание цинковых концентратов. Основные реакции выщелачивания. Оборудование для выщелачивания, режимы проведения выщелачивания. Поведение серы при выщелачивании.

8. Электролиз в гидрометаллургии

Диаграмма электрохимической устойчивости воды и равновесные потенциалы тяжелых цветных металлов. Основные положения электрохимической кинетики применительно к реакциям разряда-ионизации тяжелых цветных металлов. Основные положения теории электрокристаллизации, связь макроструктуры катодных осадков с параметрами электролиза. Условия получения электролитических порошков металлов и сплавов.

Роль совместного разряда ионов водорода и ионов металлов в электрометаллургии. Совместный разряд ионов водорода и целевого металла. Зависимость выхода по току реакции выделения металла от плотности тока, состава электролита, температуры процесса.

Совместный разряд ионов нескольких металлов на катоде. Особенности совместного разряда ионов целевого металла и примесей. Механизмы загрязнения катодных осадков неметаллическими примесями. Связь между морфологией катодных осадков и содержанием неметаллических примесей в нем. Способы снижения содержания неметаллических примесей в металле.

Особенности анодных процессов рафинирования. Поведение компонентов сплавов при растворении анодов. Шламы анодного растоврения. Анодные процессы при электроэкстракции. Нерастворимые аноды для процессов электроэкстракции.

Схема химических превращений веществ, участвующих в процессе. Материальный баланс нестационарного режима. Материальный баланс стационарного режима. Особенности материального баланса электролизера с диафрагмой.

Баланс напряжения на электролизере. Статьи баланса и их связь с параметрами электролиза. Удельный расход электроэнергии, зависимость удельного расхода электроэнергии от режимов электролиза. Тепловой баланс электролизера. Способы поддержания постоянной температуры процесса.

Теория процесса электролитического рафинирования меди: электрохимические свойства меди, электролиты рафинирования, поведение примесей. Режимы электролитического рафинирования. Выбор оптимальных условий рафинирования. Практика рафинирования.

Назначение и параметры отдельных операций. Технико-экономические показатели процесса, задачи по совершенствованию технологии и ее аппаратурного оформления.

Теория процесса рафинирования никеля: электрохимические свойства никеля, особенности строения осадков никеля, влияние параметров электролиза на строение осадков. Роль диафрагмы при рафинировании никеля. Параметры передела электролиза и их связь с технико-экономическими показателями. Аппаратурное оформление электролиза. Основное технологическое оборудование электролизного передела. Принципы расположения ванн в цехе. Очистка электролита от примесей. Технология переделов очистки и доработки продуктов очистных операций. Аппаратурное оформление переделов очистки электролита. Способы восполнения дефицита никеля. Технико-экономические показатели рафинирования. Основные направления усовершенствования процесса.

Электроэкстракция цинка. Теория процесса. Влияние параметров электролиза на выход по току цинка. Влияние примесей и добавок ПАВ. Технология электролиза. Режимы процесса, принципы оптимизации технологических режимов. Материальный и тепловой балансы электролизеров. Аппаратурное оформление электролиза. Особенности устройства электролизеров, принципы компоновки ванн в цехе. Технико-экономические показатели электроэкстракции.

9. Металлургия легких металлов и производство глинозема

Способ Байера. Физико-химические основы производства глинозема по способу Байера. Система $Na_2O-Al_2O_3-H_2O$. Современная теория строения алюминатных растворов. Цикл Байера в системе $Na_2O-Al_2O_3-H_2O$. Физико-химические основы производства глинозема и сопутствующих продуктов по способу спекания. Технология подготовки сырья, выщелачивания, промывки шламов, разбавления (обескремнивания растворов). Технология выделения гидроксида алюминия, выпарки маточных растворов, каустификации соды, кальцинации гидроксида.

Комплексная переработка алюминийсодержащего сырья по способу спекания. Параллельная и последовательная схемы получения глинозема из бокситов. Технико-экономические показатели. Современная аппаратурно-технологическая схема производства глинозема по способу спекания. Себестоимость глинозема и пути ее снижения. Сравнительный анализ технико-экономических показателей производства глинозема различными способами.

Взаимодействие расплавленных солей с металлами и газами: величины растворимости, температурные зависимости, природа растворов. Катодный выход по току при электролизе расплавленных солей: связь с потерями металла, механизм потерь металла.

Теория электролиза криолитоглиноземных расплавов. Свойства и строение электролитов и термодинамика основных реакций. Поведение примесей и добавок в процессе электролиза.

Кинетика катодного процесса – взаимодействие алюминия с электролитом, роль и поведение натрия, катодный выход по току. Кинетика анодного процесса — теория горения углерода, механизм анодного разряда. Анодный эффект — сущность явления и механизм возникновения. Расход углерода: состав первичного газа, расход углерода теоретический и практический. Влияние различных факторов на расход углерода.

Техника электролитического получения алюминия. Описание конструкций электролизеров и сравнение их технических данных. Пуск электролизеров, обслуживание: методы обработки и питание глиноземом – системы АПГ. Автоматическое регулирование и управление процессом электролиза. Нарушение нормальной работы, меры по устранению и предупреждению.

Энергетические балансы электролизеров, связь между плотностью тока и удельными потерями тепла. Удельный расход электроэнергии и производительность электролизеров. Тепло- и массообмен в электролизерах, особенности теплопередачи через стенку с гарнисажем. Поле скоростей электролита. Электромагнитные силы в электролизерах, влияние их на работу ванн.

Способы рафинирования алюминия. Электролитическое рафинирование алюминия: свойства и применение АВЧ, теория и технология трехслойного рафинирования, технико-экономические показатели. Зонная плавка.

Получение магния электролизом. Состав и физико-химические свойства электролитов для получения магния. Термодинамика и кинетика электродных процессов. Газогидродинамика электролита в различных типах электролизеров. Влияние примесей и добавок. Образование шлама. Техника электролитического получения магния: конструкции электролизеров, технология электролиза, основные технико-экономические показатели. Цеха электролиза: схемы отсоса и очистки анодного газа, удаление и обезвреживание газов катодного отсоса. Мероприятия по защите окружающей среды.

10. Металлургия редких и благородных металлов.

Физические и химические свойства металлического вольфрама и молибдена и их соединений. Минералы, руды и рудные концентраты вольфрама и молибдена. Методы вскрытия вольфрамитовых и шеелитовых концентратов. Спекание с содой. Автоклавное выщелачивание шеелитовых концентратов содовыми растворами. Переработка содовых растворов, получение искусственного шеелита и паравольфрамата аммония. Вскрытие соляной кислотой. Методы вскрытия молибденитовых концентратов. Обжиг в многоподовых печах и печах КС. Методы переработки огарков после обжига (получение ферромолибдена, выщелачивание аммиачными растворами, возгонка трехокиси молибдена). Переработка аммиачных растворов, получение искусственного шеелита и паравольфрамата аммония. Вскрытие азотной кислотой молибденитовых концентратов.

Получение металлических вольфрама и молибдена. Режимы водородного восстановления оксидов. Методы порошковой металлургии для получения компактных вольфрама и молибдена. Электродуговая и электроннолучевая переплавка вольфрама и молибдена.

Физические и химические свойства металлических ниобия и тантала и их соединений. Минералы, руды и рудные концентраты ниобия и тантала. Методы вскрытия танталит-колумбитовых концентратов. Получение металлических тантала и ниобия. Натриетермическое восстановление из комплексных фторидов. Восстановление углеродом из оксидов. Алюмотермическое получение ниобия.

Получение титановых концентратов и их переработка. Способы получения металлического титана. Технологическая схема магниетермического способа восстановления. Теория и практика процессов электроплавки и хлорирования. Получение высокочистого тетрахлорида титана. Теоретические основы способа Кролля. Устройство реактора и показатели процесса. Очистка титановой губки. Методы вакуумной сепарации, электролитического рафинирования и иодидного рафинирования.

Минералы, руды и рудные концентраты циркония и гафния. Производство двуокиси циркония. Производство фторцирконата калия. Разделение циркония и гафния фракционной кристаллизацией фтористых комплексных солей. Производство губчатого циркония магниетермическим восстановлением хлорида циркония. Производство компактного циркония и гафния.

Извлечение рения из различных отходов переработки молибденитовых концентратов. Извлечение рения из пыли электрофильтров. Сорбция рения из бедных растворов. Получение металлического рения. Получение порошкообразного рения электролизом. Термическая диссоциация галогенидов.

Физические и химические свойства редкоземельных металлов (РЗМ) и их соединений. Применение РЗМ. Минералы, руды и рудные концентраты РЗМ. Технология переработки монацитовых концентратов. Методы разделения РЗМ. Технология получения РЗМ. Физические и химические свойства радиоактивных металлов. Технология получения радиоактивных металлов.

Сырьевые источники германия. Извлечение германия из исходного сырья и получение германиевых концентратов. Переработка концентратов и получение металлического германия. Получение тетрахлорида германия и его очистка. Технологическая схема и оборудование. Экстракция и ректификация. Гидролиз тетрахлорида германия с получением диоксида.

Восстановление диоксида германия и получение металла. Аппаратура и показатели процесса. Очистка металлического германия методами направленной кристаллизации и зонной плавки.

Добыча золота и серебра из рудного сырья. Физические и химические свойства золота и серебра и их соединений. Минералы, руды и рудные концентраты. Общие принципы извлечения золота и серебра из рудного сырья. Гравитационные методы извлечения золота из руд. Амальгамация золотых руд и концентратов. Поведение платиновых металлов в обогатительных операциях. Получение платиновых металлов из россыпей. Извлечение платиновых металлов при обогащении сульфидных платинусодержащих руд.

Цианирование руд и концентратов. Сорбционно-экстракционные процессы извлечения золота и серебра из растворов и пульп. Физико-химические основы и практика цианистого процесса. Сорбционно-экстракционные процессы извлечения золота и серебра из растворов и пульп.

Схемы и практика работы золотоизвлекательных фабрик. Попутное извлечение золота и серебра из медеэлектролитных шламов. Химический и вещественный состав шламов. Характеристика методов переработки шламов. Плавка на золотосеребряный сплав. Производство вторичных золота и серебра.

Аффинаж золота, серебра и ПМ. Сырье и подготовка его к аффинажу. Электролитическое рафинирование золота и серебра. Переработка шлиховой платины. Переработка концентратов платиновых металлов, получаемых из анодных шламов медно-никелевого производства Безвозвратные потери благородных металлов при аффинаже. Оборудование аффинажных цехов. Контроль технологического процесса и баланс драгоценных металлов.

Извлечение платиновых металлов из сульфидных руд и концентратов. Поведение платиновых металлов при металлургической переработке сульфидных платиносодержащих руд и концентратов. Физико-химические основы поведения платиновых металлов при переработке сульфидного сырья. Переработка платиносодержащих шламов.

Вопросы к экзамену

- 1. Классификация процессов восстановления оксидов железа прямое и косвенное.
- 2. Расчет теоретической температуры неполного (до CO) окисления углерода древесного угля в кислороде дутья, расчет расхода дутья, выхода и состава фурменных газов.
- 3. Составление материального баланса сыродутного процесса. Расчет тепловых балансов по схемам Окермана, Грюнера и Бунзена.
- 4. Термодинамика косвенного восстановления оксидов железа СО и H_2 . Диаграмма нейтральных газовых смесей в системе Fe-O-C и Fe-O- H_2 . Реакция Белла-Будуара. Кинетика реакции $CO_2 + C = 2CO$ и начало прямого восстановления вюстита.
- 5. Сравнение прямого и косвенного восстановления оксидов железа. Дефицит восстановителя для реализации 100 % косвенного восстановления железа в доменной печи.
- 6. Формирование конечных шлаков. Свойства шлака. Процесс десульфурации чугуна в печи.
- 7. Преимущества зональных тепловых балансов. Методы расчета плавки. Методы ПДК (Расчет $r_{d_{min}}$ и k_{min}).
- 8. Влияние различных факторов на расход кокса.
- 9. Доменная плавка при повышенных давлениях газов. Аэродинамика. Кинетическая энергия дутья.
- 10. Доменная плавка на комбинированном дутье. Пределы применимости топливных добавок, резервы технологии.

- 11. Современные теории о моделях структуры металлических расплавов, их достоинства и недостатки. Экспериментальные исследования структуры жидкой стапи.
- 12. Расчеты равновесия с участием металлических растворов. Взаимосвязь строения жидкой стали с теориями растворов.
- 13. Расчет диаграмм состояния многокомпонентных многофазных систем. Поверхности растворимости компонентов в металле (ПРКМ). Анализ сложных систем с помощью правила фаз Гиббса.
- 14. Основные понятия поверхностных свойств в приложении к сталеплавильным процессам. Поверхностное натяжение. Работа адгезии. Работа когезии. Уравнение адсорбции Гиббса. Поверхностно-активные элементы и их роль в массообменных процессах на границах раздела фаз.
- 15. Влияние водорода на механические свойства стали. Природа водородного охрупчивания и флокенов в стали. Способы предупреждения и борьбы дефектами. Использование водорода, как легирующего элемента в сплавах.
- 16. Влияние азота на механические свойства стали. Механизм деформационного старения кипящих марок сталей. Способы устранения деформационного старения.
- 17. Устройство и особенности работы руднотермических печей.
- 18. Устройство и работа индукционной печи с открытым каналом. Центробежный и сжимающий эффекты.
- 19. Устройство тигельных индукционных печей.
- 20. Особенности устройства и эксплуатации вакуумных индукционных печей.
- 21. Дуговые гарнисажные печи. Принципы устройства, область применения.
- 22. Плазменные печи, классификация, устройство плазматрона, область использования.
- 23. Электроннолучевые печи, примеры конструкций, область применения.
- 24. Методы улучшения качества слитков.
- 25. Гидродинамика затопленной струи.
- 26. Дефекты непрерывной заготовки.
- 27. Особенности структуры непрерывной заготовки.
- 28. Пузыри в слитках спокойной и кипящей стали.
- 29. Температура непрерывной разливки.
- 30. Типы МНЛЗ.
- 31. Теплофизические процессы при формировании слитков.
- 32. Защита металла от вторичного окисления.
- 33. Основные задачи и методы внепечной обработки.
- 34. Основные методы внепечной обработки.
- 35. Технология продувки стали инертным газом.
- 36. Физико-химические процессы вакуумирования.
- 37. Вакуумирование в ковше.
- 38. Порционное вакуумирование.
- 39. Циркуляционное вакуумирование.
- 40. Вакуумирование в струе.
- 41. Цели продувки металла порошками.
- 42. Комбинированные способы внепечной обработки.
- 43. Окисление углерода под вакуумом.
- 44. Десульфурирующая способность шлака в зависимости от основности и окисленности.
- 45. Механизм и кинетика раскисления и дегазации стали при вакуумировании.
- 46. Удаление неметаллических включений при вакуумировании.
- 47. Влияние вакуумирования на качество стали.
- 48. Аргонно-кислородная обработка стали.

- 49. Кинетика окислительного обжига сульфидов. Влияние аппаратурного оформления на технико-экономические показатели переделов.
- 50. Характеристика видов потерь цветных металлов со шлаками и методы их снижения при плавках и обеднении шлаков.
- 51. Автогенные плавки. Понятие об автогенности. Харатеристики и сравнение плавок во взвешенном состоянии и плавок с погруженным факелом.
- 52. Строение и свойства медных, никелевых и медно-никелевых штейнов. Теория и технология конвертирования штейнов.
- 53. Пирометаллургическое рафинирование. Теория, технология и оборудование огневого рафинирования меди.
- 54. Теоретические основы рафинирования металлов дистилляцией и ректификацией. Технология и аппаратурное оформление рафинирования цинка от свинца и кадмия ректификацией.
- 55. Принципиальная технологическая схема способа Байера. Тех-нологические параметры основных переделов и характеристика оборудования.
- 56. Получение глинозема способом спекания. Основные химические реакции при спекании и выщелачивании спеков. Принципиальная технологическая схема способа спекания.
- 57. Металлургический глинозем. Свойства глинозема и их влияние на технологию электролитического получения алюминия.
- 58. Механизм анодного процесса при электролизе алюминия. Роль и поведение углерода при электролизе: механизм перерасхода анода, мероприятия по снижению расхода углерода.
- 59. Термодинамика ионных расплавов. Экспериментальные методы определения парциальных и интегральных термодинамических свойств расплавленных солевых смесей.
- 60. Равновесие в системе металл расплавленная соль. Природа растворов металлов в ионных расплавах. Влияние различных факторов на растворимость металлов в ионных расплавах.
- 61. Строение и свойства криолито-глиноземных расплавов. Требования к промышленным электролитам при производстве алюминия.
- 62. Конструкции алюминиевых электролизеров. Сравнение технико-экономических показателей. Применение новых материалов в конструкции электролизеров.
- 63. Энергетический баланс алюминиевого электролизера, связь между плотностью тока и удельными потерями тепла.
- 64. Константа равновесия реакций выщелачивания, методы расчета и экспериментального определения, связь с расходом реагентов.
- 65. Влияние комплексообразования на процессы выщелачивания. Цианирование золота и серебра.
- 66. Кинетика процессов выщелачивания. Аналитические закономерности и признаки протекания процесса во внешней диффузионной, внутренней диффузионной и кинетической областях. Пути интенсификации процесса в зависимости от лимитирующей стадии.
- 67. Влияние комплексообразования на растворимость труднорастворимых соединений.
- 68. Особенности реакций гидратообразования. Влияние рН на осаждение гидроокисей.
- 69. Общие принципы промывки осадков и пульп. Материальный баланс при прямоточной промывке осадков и пульп. Уравнение степени отмывки в прямоточном процессе.
- 70. Материальный баланс при противоточной промывке осадков и пульп. Уравнение степени отмывки в противоточном процессе.
- 71. Изоморфное соосаждение примесей. Уравнение Хлопина. Разделение циркония и гафния дробной кристаллизацией.

72. Основные характеристики ионообменных смол. Равновесие ионного обмена. Сорбционное извлечение золота из пульп.

73. Общие сведения о жидкостной экстракции. Катионообменная, анионообменная

экстракция, экстракция нейтральными экстрагентами.

74. Совместный разряд ионов водорода и целевого металла. Зависимость выхода по току реакции выделения металла от плотности тока, состава электролита, температуры процесса.

75. Зависимость содержания примесей в катодном осадке от плотности тока и содержания примесных ионов в растворе для различных видов кинетики

восстановления примеси.

- 76. Теория электролитического рафинирования меди: электролиты рафинирования, поведение примесей.
- 77. Поведение примесей при электролитическом рафинировании, роль диафрагмы при рафинировании никеля.
- 78. Электроэкстракция цинка. Влияние параметров электролиза на выход по току цинка. Влияние примесей и добавок ПАВ.
- 79. Баланс напряжения на электролизе. Статьи баланса и их связь с параметрами электролиза. Удельный расход электроэнергии, зависимость удельного расхода электроэнергии от режимов электролиза.
- 80. Основные положения теории электрокристаллизации, связь макроструктуры катодных осадков с параметрами электролиза. Макро и микроструктура электролитических осадков.
- 81. Механизмы загрязнения катодных осадков неметаллическими примесями. Связь между морфологией катодных осадков и содержанием неметаллических примесей в нем. Способы снижения содержания неметаллических примесей в металле.

Основная литература

- 1. Производство стали. Том 1. Процессы выплавки, внепечной обработки и непрерывной разливки / Дюдкин Д.А., Кисиленко В.В. / М: «Теплотехник», 2008. 528 с
- 2. Производство стали. Том 2. Внепечная обработка жидкого чугуна / Дюдкин Д.А., Кисиленко В.В. М: Теплотехник, 2008. 400 с.
- 3. Производство стали. Том 3. Внепечная металлургия стали / Дюдкин Д.А., Кисиленко В.В. М: «Теплотехник», 2008. 544 с.
- 4. Производство стали. Том 4. Непрерывная разливка металла / Дюдкин Д.А., Кисиленко В.В., Смирнов А.Н. М: Теплотехник, 2009. 528 с.
- 5. Физико-химические основы доменного процесса: учеб. пособие / А.В. Лычёв, В.Н. Андронов. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2011. 57 с.
- 6. Экстракция черных металлов из природного и техногенного сырья: Прямое и косвенное восстановление: учеб. пособие / В.Н. Андронов; СПбГПУ.— СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2007.— 72 с.
- 7. Теория и технология производства стали. Расчет тепло- и массообменных процессов при переработке углеродистого сырья в сталь. Методические указания к курсовой работе. / Карасев В.П., Рябошук С.В. / СПб: Изд-во Политехн. университета, 2009. 58 с.
- 8. Михайловский В.Н., Ковалев П.В. Электрометаллургия и производство ферросплавов. Определение технических показателей плавки в дуговой электросталеплавильной печи. Учебное пособие. СПб: Изд-во Политехнического университета, 2008. 62 с.
- 9. Физико-химические основы сталеплавильного производства. Растворимость азота в жидкой стали. Методические указания к лабораторной работе / Казаков А.А., Рябошук С.В.; СПбГПУ, 2011 5 с.

- 10. Физико-химические основы сталеплавильного производства. Растворимость водорода в жидкой стали. Методические указания к лабораторной работе / Казаков А.А., Рябошук С.В.; СПбГПУ, 2011-7 с.
- 11. Физико-химические основы сталеплавильного производства. Раскисление жидкого железа марганцем, кремнием и алюминием. Методические указания к лабораторной работе / Казаков А.А., Рябошук С.В.; СПбГПУ, 2011 7с.
- 12. Набойченко С. С. Автоклавная гидрометаллургия в процессах производства тяжелых цветных металлов. Екатеринбург: ГОУ УГТУ–УПИ, 2002. 940 с.
- 13. Вольдман Г. М., Зеликман А. Н. Теория гидрометаллургических процессов. Изд. 4-е, перераб. и доп. М.: Интермет Инжиниринг, 2003. 464 с.
- 14. Производство глинозема: учебное пособие / И.В. Логинова, А.В. Кырчиков. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2010. 186 с.
- 15. Ибрагимов А.Т., Будон С.В. Развитие технологии производства глинозема из бокситов Казахстана. Павлодар, ТОО «Дом печати», 2010. 304 с.
- 16. Термодинамика жидких сплавов системы никель-медь-железо / А.Г. Морачевский, А.Г. Рябко, Л.Ш. Цемехман Санкт-Петербург : Изд-во СПбГПУ, 2002
- 17. Термодинамика системы никель-сера / А.Г. Морачевский, А.Г. Рябко, Л.Ш. Цемехман Санкт-Петербург: Изд-во СПбГПУ, 2003.
- 18. Металлургия благородных металлов: Учебник. В 2-х кн. /Ю.А. Котляр, М.А. Меретуков, Л.С. Стрижко М.: МИСИС, Издательский дом «Руда и Металлы», 2005. 432/392 с.
- 19. И. Н. Масленицкий, Л. В. Чугаев, В. Ф. Борбат, М. В. Никитин, Л. С. Стрижко Металлургия благородных металлов. Учебник для вузов М.: Металлургия, 1987. 432 с.
- 20. Стрижко Л. С. Металлургия золота и серебра. М.: МИСИС, 2001. 336 с.
- 21. Абрамов А.А. Флотационные методы обогащения. М. "Горная книга", 2008. 711 с.

Дополнительная литература

- 1. Современные способы выплавки стали в дуговых печах: Учеб. пособие / А.В. Рябов, И.В. Чуманов, М.В. Шишимиров М: Теплотехник, 2007. 188 с.
- 2. Теория и технология производства стали. Учебник для вузов. / В.А. Кудрин. М.: Мир, 2003. 528 с.
- 3. Процессы непрерывной разливки / А.Н. Смирнов, В.Л. Пилюшенко, А.А. Минаев и др. Донецк : ДонНТУ, 2002 .— 535 с.
- 4. Физико-химические основы материаловедения : учебное пособие / Г. Готтштайн ; пер. с англ. К. Н. Золотовой, Д. О. Чаркина; под ред. В. П. Зломанова .— М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009 .— 400 с.
- 5. Подготовка рудного сырья. Том 2. / В.Г. Лишенко, Я.М. Щелоков, М.Г. Ладыгичев М: Теплотехник, 2010 192 с.
- 6. Калмыков В.А., Казаков А.А. Введение в спецэлектрометаллургию. Учебное пособие. СПб: Изд-во Нестор, 2005. 319 с.
- 7. Борисоглебский Ю.В., Галевский Г.В., Кулагин Н.М., Минцис М.Я., Сиразутдинов Г.А. Металлургия алюминия. Новосибирск: Наука, 1999. 437 с.
- 8. Борисоглебский Ю.В., Ветюков М.М., Москвитин В.И., Школьников С.Н. Теория и технология электрометаллургических процессов. М.: Металлургия, 1994. 237 с.
- 9. Галевский Г.В., Жураковский В.М., Кулагин Н.М., Минцис М.Я., Сиразутдинов Г.А. Технология производства электродных масс для алюминиевых электролизеров. Новосибирск: наука, 1999. 294 с.
- 10. Янко Э.А. Аноды алюминиевых электролизеров. М.: Руда и металлы, 2001. 672 с.
- 11. Меретуков М. А. Золото: химия, минералогия, металлургия М.: Издательский дом «Руда и Металлы», 2008 г.

- 12. Меретуков М. А. Золото: зарождение горного дела, металлургии и технологии М.: Издательский дом «Руда и Металлы», 2008 г.
- 13. Авдохин В.М. Основы обогащения полезных ископаемых: Учебник: в 2-х томах. Т.1.Обогатительные процессы. М. "Горная книга", 2008 г., 414 с.
- 14. Авдохин В.М. Основы обогащения полезных ископаемых: Учебник: в 2-х томах. Т.2. Технологии обогащения полезных ископаемых., М. "Горная книга", 2008 г., 312 с.

3. Литейное производство

Введение

В основу настоящей программы положены следующие дисциплины: теоретические основы литейного производства (теоретические основы процессов плавки, теория формирования отливки); технологические основы литейного производства (теория и технология литья в песчаные формы, технология специальных видов литья); технология производства отливок (чугунное литье, стальное литье, литье из цветных металлов и сплавов).

1. Теоретические основы литейного производства

Теоретические основы процессов плавки. Свойства металлов и сплавов в твердом и жидком состоянии. Структура металлических расплавов. Взаимодействие металлов и сплавов с газами. Взаимодействие металлических расплавов с футеровкой плавильных и раздаточных печей. Применение шлаков, флюсов, защитных покровов. Рафинирование расплавов от растворенных примесей и газов. Модифицирование 1-го и 2-го рода.

Теория формирования отливки. Теплообмен между отливкой и формой. Тепловые свойства литейных сплавов и материала форм и стержней. Математические модели теплового взаимодействия отливки и формы. Расчет затвердевания и охлаждения литейных сплавов в форме. Моделирование тепловых процессов на ЭВМ в целях отработки технологии. Гидравлические процессы при заполнении формы. Способы заполнения литейных форм Проектирование и расчет литниковых систем. Жидкотекучесть сплавов, влияние металлургических и технологических факторов на жидкотекучесть литейных сплавов и формозаполняемость. Физико-химические процессы на границе отливки с формой. Способы повышения качества поверхности отливок. Поверхностное легирование. Равновесная и неравновесная кристаллизация сплавов. Усадочные процессы. Прибыли и их классификация. Основы расчета прибылей. Способы предохранения отливок от трещин. Остаточные напряжения в отливках.

2. Технологические основы литейного производства

Теория и технология литья в песчаные формы.

предъявляемые формовочным материалам. Физико-химические, К механические и технологические свойства формовочных и стержневых смесей. Кварцевые формовочные пески, их минералогический состав. Классификация формовочных песков по содержанию глины, примесям и зерновому составу. Методы испытания. Формовочные глины, минералогический состав и их строение. Выбор глин в зависимости от назначения смеси. Связующие материалы. Требования, предъявляемые к ним. Классификация связующих материалов. Органические и неорганические связующие. Синтетические смолы. Выбор связующих материалов И методы испытаний свойств. Противопригарные и другие вспомогательные материалы. Классификация формовочных и стержневых смесей. Формовочные смеси для сырых и упрочненных форм. Формовочные и стержневые смеси с тепловым и химическим упрочнением. Физико-химические и

технологические особенности упрочнения смесей с неорганическими и органическими связующими. Теоретические основы процессов холодного отверждения смесей с синтетическими смолами. Теория формирования прочности смесей с синтетическими смолами. Теория формирования прочности смесей с жидким стеклом. Физико-химические процессы при отверждении смесей с цементами и фосфатами. Физико-химические принципы получения жидких самотвердеющих смесей (ЖСС). Смеси для изготовления форм с тепловой сушкой и поверхностной подсушкой. Технология приготовления формовочных и стержневых смесей. Регенерация формовочных и стержневых смесей. Требования к модельно-литейной оснастке. Ее элементы, конструкция и назначение. Модели, стержневые ящики, подмодельные плиты, стержневые плиты, драйеры, опоки. Классификация способов изготовления литейных форм основные приемы ручной формовки. Машинная формовка. Виды машинной формовки. Формовка в парных опоках, стопочная формовка, безопочная формовка с вертикальной плоскостью разъема. Импульсная и вакуумная формовка. Изготовление стержней. Изготовление стержней пескодувным, пескострельным методами по холодной и нагреваемой оснастке. Изготовление стержней из ЖСС и ПСС. Сборка и заливка литейных форм. Литейные ковши. Возможности механизации и автоматизации операций сборки и заливки. Термическая обработка отливок.

Технология специальных видов литья.

<u>Кокильное литье.</u> Области применения. Особенности формирования структуры и свойств отливок при литье в кокиль черных и цветных сплавов.

<u>Литье под давлением.</u> Область применения. Особенности формирования структуры и свойств отливок при литье под давлением.

<u>Центробежное литье.</u> Гидродинамические особенности центробежного литья. Особенности процесса затвердевания отливки в поле центробежных сил. Особенности формирования моно- и биметаллических заготовок. Ликвационные явления при центробежном литье.

<u>Непрерывное литье.</u> Теоретические основы непрерывного литья. Его преимущества и недостатки. Электрошлаковое литье. Сущность метода электрошлакового литья.

<u>Литье по выплавляемым моделям.</u> Области применения. Технологический процесс изготовления моделей и форм. Литниковые системы. Литье по выжигаемым моделям, литье в оболочковые формы, литье в вакуумированные и магнитные формы. Литье выжиманием. Особенности каждого процесса.

3. Технология производства отливок.

Чугунное литье.

Характеристика чугуна как конструкционного и литейного материала. Номенклатура чугунов, используемых для изготовления отливок: серый чугун с пластинчатым графитом, ковкий чугун, высокопрочный чугун, легированные чугуны со специальными свойствами. Связь механических свойств чугуна с химическим составом и скоростью охлаждения. Кристаллизация и структурообразование чугунов. Современные представления о кристаллизации и формообразовании графита. Влияние состава, физических и физико-химических факторов на структурообразование и графитизацию чугуна. Влияние основных компонентов чугуна. Влияние степени перегрева, выдержки и скорости охлаждения. Влияние инокулирующих присадок. Механические свойства и

конструкционная прочность чугуна с графитом различной формы. Влияние состава, структуры, размера зерна, количества, характера распределения неметаллических включений и содержания газов. Серый, ковкий, высокопрочный чугуны, чугун с вермикулярным графитом, синтетические чугуны. Легированные чугуны с высокими параметрами специальных свойств. Классификация по составу, назначению, структуре. Жаростойкие чугуны, теоретические основы процесса окисления металлов. Коррозионностойкие чугуны. Износостойкие и антифрикционные чугуны. Жаропрочные, немагнитные и другие виды чугунов со специальными свойствами. Методы оценки специальных свойств. Особенности технологии плавки и модифицирования легированных чугунов. Технологические свойства чугуна. Плавка чугуна. Современные тенденции в развитии методов плавки чугуна. Принцип выбора плавильных агрегатов. Влияние технологии плавки на свойства жидкого чугуна и качество металла в отливках. Плавка чугуна в вагранке. Плавка чугуна в электропечах. Особенности плавки синтетического чугуна на стальных отходах, металлизированных окатышах и др. Технологические особенности дуплекс-процессов. Модифицирование чугуна. Теоретические основы модифицирования. Модифицирование чугуна для получения различных форм графита. Модифицирование чугунов с пластинчатым графитом. Модифицирование ковких чугунов. Технология модифицирования чугуна различными присадками. Контроль качества отливок из чугуна. Исправление дефектов. Термическая обработка отливок.

Стальное литье.

Плавка стали. Классификация процессов и способов плавки сталей. Раскисление, десульфурация и дефосфорация сталей. Рафинирование стали синтетическими шлаками. Электрошлаковый переплав. Металлургические особенности плавки легированных сталей. Поведение легирующих компонентов. Классификация литейных свойств стали и основные методы определения этих свойств. Классификация стали по химическому составу и структуре. Принципиальные особенности технологии изготовления отливок из углеродистых низколегированных, среднелегированных и высоколегированных сталей. Технологические особенности процесса получения заданной структуры литой стали аустенитного и ферритного классов. Основные отличия эксплуатационных и литейных свойств этих групп сталей. Дефекты стальных отливок, их классификация. Усадочные раковины и пористость, теоретические основы процесса формирования этих дефектов, зависимость данного процесса от состава, свойств стали и технологических факторов. Методы предупреждения возможности образования указанных дефектов. Контроль качества стальных отливок. Методы и технология исправления дефектов отливок. Термическая обработка стальных отливок.

Литье из цветных металлов и сплавов.

Алюминиевые сплавы. Физико-механические свойства и области применения. Сплавы со специальными свойствами. Литейные свойства алюминиевых сплавов. Принципы легирования. Промышленные марки литейных и деформируемых сплавов. Печи для плавки алюминиевых сплавов. Особенности технологии плавки различных групп промышленных сплавов. Рафинирование и модифицирование. Применение зернистых и жидких фильтров. Применение вакуума. Прибыли, их расположение и размеры. Направленная кристаллизация. Холодильники. Кристаллизация под давлением. Особенности выбивки и очистки отливок. Термическая обработка алюминиевых отливок. Особенности технологии изготовления отливок литьем в кокиль, под давлением, под низким давлением.

Магниевые сплавы. Промышленные марки литейных и деформируемых сплавов, их состав, основные физико-механические и литейные свойства, области применения. Печи для плавки магниевых сплавов. Особенности технологии плавки магниевых сплавов. Флюсы. Рафинирование и модифицирование. Применение зернистых фильтров и вакуума. Прибыли, их расположение и размеры. Направленная кристаллизация. Холодильники. Литье методом последовательной кристаллизации. Применение кристаллизации под давлением. Особенности выбивки, очистки и обрубки отливок. Особенности технологии литья в кокиль, под давлением, под низким давлением.

Медные сплавы. Промышленные марки литейных и деформируемых сплавов, их свойства и области применения. Печи для плавки меди и медных сплавов. Особенности технологии плавки, рафинирования и модифицирования. Литье в разовые формы. Особенности литниковых систем. Особенности технологии литья. Применение зернистых фильтров в вакууме. Прибыли, их расположение и размеры. Применение холодильников. Особенности выбивки, очистки и обрубки. Особенности технологии изготовления отливок из медных сплавов литьем по выплавляемым моделям, в кокиль, под давлением и центробежным способом. Применение жидкой штамповки.

<u>Никелевые сплавы.</u> Промышленные марки литейных и деформируемых никелевых сплавов, их свойства и области применения. Принципы легирования сплавов. Жаропрочные никелевые сплавы. Печи для плавки сплавов. Технология плавки, рафинирования и модифицирования основных групп никелевых сплавов. Литье в разовые формы. Особенности технологии литья. Особенности заливки форм. Применение зернистых фильтров и вакуума. Прибыли, их расположение и размеры. Применение холодильников. Особенности технологии выбивки форм, обрубки и очистки отливок. Термообработка отливок. Особенности технологии изготовления отливок литьем по выплавляемым моделям, по методу Шоу, в кокили.

<u>Титановые сплавы.</u> Промышленные марки литейных и деформируемых сплавов, их состав, свойства и области применения. Печи для плавки тугоплавких сплавов, дуговые, индукционные и плазменные. Технология плавки литейных и деформируемых сплавов. Особенности литья в разовые формы. Особенности литниковых систем. Расположение и размер прибылей. Использование центробежной силы. Особенности охлаждения отливок в форме, выбивки форм и стержней и очистки отливок. Особенности технологии литья титановых сплавов по выплавляемым моделям и в оболочковые формы.

<u>Цинковые сплавы.</u> Промышленные марки сплавов, их состав. Свойства и области применения. Печи для плавки сплавов. Особенности технологии плавки, рафинирования и модифицирования. Технология литья в кокиль и под давлением. Особенности литниковых систем. Прибыли и их расположение. Особенности обрезки и обрубки отливок.

<u>Благородные металлы и сплавы на их основе.</u> Состав, свойства и области применения. Печи для плавки. Особенности технологии плавки и рафинирования. Особенности технологии литья по выплавляемым моделям.

<u>Питье слитков из сплавов цветных металлов.</u> Литье слитков в изложницы. Технология литья. Смазки, воронки. Структура и плотность слитков и заготовок (прутков, труб, профилей и полос) из алюминиевых, магниевых, медных, никелевых и тугоплавких сплавов. Литье слитков непрерывным методом. Принцип литья. Кристаллизаторы. Литейные машины. Закономерности непрерывного литья. Глубина и форма лунки и влияние лунки на структуру и качество слитка и заготовок. Причины пористости слитков. Ширина двухфазной области в слитке и влияние скорости литья на эту характеристику.

Термические напряжения и трещины в слитках. Ликвация в слитках непрерывного литья. Окисные плены в слитке. Использование фильтров при литье. Литье в магнитный кристаллизатор. Особенности непрерывного литья слитков и заготовок из алюминиевых, магниевых, никелевых, цинковых, медных сплавов и сплавов тугоплавких и благородных металлов. Совмещенные методы литья и прокатки. Механическая и термическая обработка слитков и др. заготовок.

Вопросы к экзамену:

1. Теоретические вопросы:

Закономерности течения расплава в литниковой системе и заполнения литейной формы при заливке из стопорного (поворотного) ковша.

Закономерности теплоотвода и затвердевания отливки внеметаллической (металлической) форме.

Закономерности формирования макро (микро) структуры литого металла. Закономерности формирования усадочных раковин (пористости) в отливках и меры борьбы с ними.

Закономерности формирования макро (микро) ликвации в отливках и меры борьбы с ними.

Закономерности образования горячих (холодных) трещин в отливках и меры борьбы с ними.

Анализ и диагностика гидравлических процессов на основе компьютерного моделирования.

Анализ и диагностика тепловых процессов на основе компьютерного моделирования.

Анализ и диагностика литейных процессов на основе статического моделирования.

Задачи, решаемые при проектировании литейной технологии. Основы процесса проектирования. Интегрированные системы автоматического проектирования. Этапы технологии при типовом проектировании. Проблемы информационного обеспечения САПР.

Требования к огнеупорным материалам и глинам, предназначенным для приготовления формовочных смесей. Составы и свойства песчано-глинистых, жидко стекольных и холодно-твердеющих смесей.

Диаграмма Ре-С (Ре-Ре-С), компоненты и фазы. Термодинамика процесса графитизации чугуна. Влияние основных легирующих элементов на структуру и свойства чугуна. Виды литейных напряжений и меры борьбы с ними. Этапы усадки, формирование усадочных дефектов, меры борьбы с ними. Коробление отливок и методы стабилизации формы и размеров чугунных отливок. Основные зоны и характерные реакции, протекающие в шахте вагранки.

Влияние состава стали на кинетику и количественные характеристики литейной усадки отливки.

Влияние состава стали и технологических факторов на трещиноустойчивость стали.

Характеристика основных типов включений, возникающих при производстве стальных отливок.

Особенности развития литейных напряжений в отливках из стали. Ликвация в отливках из стали.

Особенности строения и механических свойств литой стали по сравнению с деформированной.

Классификация сплавов цветных металлов. Преимущественные области применения, обусловленные особенностями физико-химических свойств сплавов.

Механизмы упрочнения сплавов цветных металлов. Основные принципы выбора легирующего комплекса.

Легирующие элементы для сплавов на основе алюминия, магния и меди.

Роль термической обработки в процессе упрочнения и явления, протекающие при гомогенизирующем отжиге и старении сплавов.

Необходимость модифицирования, вызванная особенностями

структурообразования сплавов цветных металлов. Принципы выбора модификаторов для измельчения зерна. Применяемые модификаторы для алюминиевых, магниевых и медных сплавов.

Взаимодействие сплавов цветных металлов с водородом, кислородом, водяными парами.

Параметры надежности литейных машин Принцип выбора типа привода литейных машин. Принципы рационального выбора литейного оборудования для изготовления отливки.

Классификации литейного оборудования.

Особенности построения циклограмм и схем автоматизации. Методика расчета параметров формовочных машин. Принцип расчета транспортных устройств. Принцип расчета выбивного оборудования.

2. Технологические вопросы:

Основные принципы выбора положения отливки в форме и плоскости разъема. Порядок назначения припусков при разработке технологии изготовления отливки. Правила оформления чертежа элементов литейной формы и отливки.

Выбор технологического процесса изготовления отливки и состав стержневых и формовочных смесей. Выбиваемость смесей.

Материалы огнеупорной основы смесей. Формовочные глины и их характеристики. Песчано-глинистые смеси и их свойства. Холоднотвердеющие смеси. Жидкое стекло и смеси на его основе.

Общая характеристика дефектов отливок Поверхностные дефекты отливок и борьба с ними. Дефекты по геометрии и причины их образования Дефекты структуры в отливке. Мероприятия по борьбе с трещинами в отливках.

Виды пригара при литье в формы, изготовленные из различных смесей. Выбор технологического процесса изготовления отливок. Основы выбора

составов формовочных и стержневых смесей. Выбиваемость различных формовочных смесей

Расчет шихты для получения чугунов различных марок. Основные требования к плавильным агрегатам для плавки чугуна. Чугун с пластинчатым графитом (свойства, технология получения СЧ различных марок). Чугун с шаровидным графитом (свойства, технология получения ЧШГ различных марок). Чугун с вермикулярным графитом (свойства, технология получения ЧВГ различных марок). Ковкий чугун (виды, марки, технология получения КЧ различных видов). Виды и режимы термической обработки.

Технико-экономическое обоснование необходимости использования для отливок низколегированных сталей взамен углеродистых сталей.

Сравнительная характеристика и оценка эффективности работы боковых и верхних прибылей для стальных отливок.

Технологические мероприятия по предотвращению образования горячих трещин в стальных отливках.

Особенности технологии изготовления отливок из стали 110Г13Л. Особенности технологии изготовления отливок из высококремнистых сталей и стали X18Н9ТЛ.

Особенности технологических свойств силуминов и сплавов типа твердых растворов на основе алюминия.

Особенности технологических и физико-химических свойств магниевых сплавов, определяющие особенности их плавки и литья.

Особенности рафинирования сплавов цветных металлов газообразными, жидкими и твердыми средами.

3. Вопросы конкретных производственных ситуаций:

Общая характеристика дефектов в отливках. Поверхностные дефекты отливок и меры борьбы с ними. Дефекты по геометрии и причины их образования. Мероприятия по борьбе с трещинами в отливках. Пригар и меры борьбы с ним.

Способы интенсификации ваграночной плавки. Методы предупреждения и устранения междендритного графита и отбела чугунных отливок. Особенности получения отливок из ЧШГ ферритного и бейнитного классов. Меры предупреждения газовых раковин и трещин отливках. Выбор составов и типов модификаторов, методов модифицирования при получении ЧШГ марок ВЧ40 и ВЧ60.

Меры по устранению подкорковой газовой пористости в стальных отливках. Способы отделения литников и прибылей в отливках из стали 30Х28Л.

Какие изменения в технологии необходимо сделать для устранения горячих трещин?

В отливке имеется изолированный термический узел толщиной 20 мм, его расположение не позволяет установить на него прибыль. С помощью каких технологических приемов можно обеспечить плотность этого узла?

Технологические мероприятия по устранению камневидного излома в стальных отливках (провал свойств по пластичности).

Возможные причины получения неудовлетворительных механических свойств отливок из сплавов системы Al-Si-Mg, Al-Si-Cu, меры по устранению этих причин.

Причины возникновения негерметичности отливок из оловянных бронз, меры по их устранению.

Возможные причины флюсовой коррозии отливок из магниевых сплавов, меры по их устранению.

Мероприятия, предотвращающие горение магниевых сплавов в полости формы.

Рекомендуемая литература:

- 1. Куманин И.Б. Вопросы теории литейных процессов. М.: Машиностроение, 1975.
- 2. Пикунов М.В. Плавка металлов, кристаллизация сплавов, затвердевание отливок. М.: Изд-во МИСиС, 1997.
- 3. Жуховицкий А.А., Шварцман Л.А. Основы физической химии. М.: Металлургия, 1987.
- 4. Краткий справочник физико-химических величин / Под ред. Равделя. М.: Химия, 1983.
- 5. Гуляев Б.Б. Теория литейных процессов. Л.: Машиностроение, 1976.
- 6. Баландин Г.Ф. Основы теории формирование отливок. М.: Машиностроение; Изд-во МВТУ, 1998.
- 7. Борнацкий И.И. Основы физической химии. М.: Металлургия, 1989.
- 8. Левич В.Г. Физико-химическая гидродинамика. М.: Физматгиз, 1959.
- 9. Диаграммы состояния двойных металлических систем. В 3 т. / Под ред. акад. РАН Н.Г. Лякишева. М.: Машиностроение, 1996.
- 10. Степанов Ю.А., Баландин Г.Ф., Рыбкин В.А. Технология литейного производства М.: Машиностроение, 1983.
- 11. Васильев В.А. Физико-химические основы литейного производства: Учеб. пособие. М.: Изд-во МВТУ, 1994.
- 12. Теория металлургических процессов / И.Е. Мельников, В.Г. Куклев, К.З. Шабунов, И.Я. Шумский. М.: Металлургия, 1977.
- 13. Литейное производство / Под ред. А.М. Михайлова. М.: Машиностроение, 1987.
- 14. Гиршович Н.Г. Кристаллизация и свойства чугуна в отливках. М.: Металлургия, 1996.

- 15. Диаграммы состояния двойных и многокомпонентных систем на основе железа: Справочник / Под ред. О.А. Банных, М.Б. Дрица. М.: Металлургия, 1986.
- 16. Еланский Г.Н. Строение и свойства металлических расплавов. М.: Металлургия, 1991.
- 17. Медведев Я.И. Газовые процессы в литейной форме. М.: Машиностроение, 1980.
- 18. Воздвиженский В.М., Грачев В.А., Спасский В.В. Литейные сплавы и технология их плавки в машиностроении. М.: Машиностроение, 1984.
- 19. Валисовский И.В. Пригар на отливках. М.: Машиностроение, 1983.
- 20. Василевский П.Ф. Технология стального литья. М.: Машиностроение, 1974.
- 21. Литниковые системы и прибыли для фасонных отливок / Н.М. Галдин и др. М.: Машиностроение, 1992.
- 22. Литье по выплавляемым моделям / Я.И. Шкленник, В.А. Озеров и др. М.: Машиностроение, 1984.
- 23. Степанов, Ю.А., Баландин Г.Ф., Рыбкин Г.Ф. Специальные виды литья. М.: Машиностроение, 1983.
- 24. Шульте Ю.А. Производство отливок из стали. Киев—Донецк: Вища школа, 1983.
- 25. Кнюппель Г. Раскисление и вакуумная обработка стали. М.: Металлургия, 1984.
- 26. Материалы в машиностроении: Энциклопедия. Разд. 2. Т. II-2 / Под ред. Е.Т. Долбенко. М.: Машиностроение, 2000.
- 27. Грузных И.В., Оболенцев Ф.Д. Надежность и технологичность в производстве стальных отливок. СПб.: Политехника, 1992.
- 28. Литниковые системы и прибыли для фасонных отливок / И.И. Новиков и др. М.: Машиностроение, 1994.
- 29. Трухов А.П. Усадочные явления в чугунных отливках. М.: Машиностроение, 1985.
- 30. Справочник по чугунному литью / Под ред. Н.Г. Гиршовича. Л.: Машиностроение, 1978.
- 31. Сухарчук Ю.С., Юдкин А.К. Плавка чугуна в вагранках. М.: Машиностроение, 1981.
- 32. Чугунное литье в машиностроении / Под ред. Г.И. Клецкина М., 1987.
- 33. Чугун / Под ред. А.Д. Шермана, А.А. Жукова. М.: Металлургия: 1991.
- 34. Высокопрочные чугуны для отливок / Под ред. Н.Н. Александрова. М.: Машиностроение, 1982.
- 35. Отливки из чугуна с шаровидным и вермикулярным графитом / Э.В. Захарченко, Ю.Н. Левченко, В.Г. Горенко, П.А. Вареник. Киев: Наукова думка, 1986.
- 36. Ферросплавы с редко и щелочноземельными металлами / И.В. Рябчиков, В.Г. Мизин, Н.П. Лякишев, А.С. Дубровин. М.: Металлургия, 1983.
- 37. Литовка В.И. Повышение качества высокопрочного чугуна в отливках. Киев: Наукова думка, 1987.
- 38. Бобро Ю.Г. Легированные чугуны. М.: Машиностроение, 1975.
- 39. Константинов Л.С., Трухов А.П. Напряжения, деформации и трещины в отливках. М.: Машиностроение, 1981.
- 40. Коцюбинский О.Ю. Стабилизация размеров чугунных отливок. М.: Машиностроение, 1974.
- 41. Производство отливок из сплавов цветных металлов / А.В. Курдюмов, М.В. Пикунов, В.М. Чурсин, Е.Л. Бибиков. М.: Металлургия, 1986.
- 42. Флюсовая обработка и фильтрование алюминиевых расплавов / А.В. Курдюмов и др. М.: Металлургия, 1980.
- 43. Флюсовая обработка и фильтрование алюминиевых расплавов / Б.С. Чурсин и др. М.: Металлургия, 1985.
- 44. Литейные дефекты и способы их устранения / А.В. Лакедемонский и др. М.: Машиностроение, 1972.
- 45. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий / Под ред. В.В. Клюева. М.: Машиностроение, 1986.
- 46. Алешин Н.П. Контроль качества сварочных работ. М.: Высш. школа, 1986.

- 47. Контроль качества отливок: Учеб. пособие / В.М. Воздвиженский и др. М.: Машиностроение, 1990.
- 48. Зотов Б.Н. Художественное литье. М.: Машиностроение, 1988.
- 49. Матвиенко И.В. Оборудование литейных цехов: Учебник для вузов. М.: Машиностроение, 1985.
- 50. Орлов Г.М. Автоматизация и механизация процесса изготовления литейных форм. М.: Машиностроение, 1988.
- 51. Аксенов П.Н., Орлов Г.М., Благонравов Б.П. Машины литейного производства. Атлас конструкций: Учеб. пособие. М.: Машиностроение, 1972.
- 52. Орлов Г.М. Автоматизация и механизация процесса изготовления литейных форм. М.: Машиностроение, 1988.
- 53. Аксенов П.Н. Оборудование литейных цехов: Учебник для вузов. М.: Машиностроение, 1977.
- 54. Миляев А.Ф. Проектирование новых и реконструкция действующих литейных цехов. Магнитогорск, 1999.
- 55. Туманский Е.Ф. Проектирование литейных цехов. Киев: УМК, 1992.
- 56. Средства и системы автоматизации литейного производства / К.С. Богдан и др. М.: Машиностроение, 1981.
- 57. Горский А.И. Расчет машин и механизмов автоматических линий литейного производства. М.: Машиностроение, 1978.
- 58. Горский А.И. Надежность литейного оборудования. М.: Машиностроение, 1993.
- 59. Клюев А.С. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. М.: Энергия, 1980.
- 60. Беликов О.А., Каширцев Л.П. Приводы литейных машин. М.: Машиностроение, 1971.
- 61. Немировский Р.Г. Автоматические линии литейного производства. Киев, Донецк: Высш. школа, 1981.
- 62. Каширский Б.Л. Автоматические приборы, регуляторы и вычислительные системы: Справочное пособие. М.: Машиностроение, 1976.

4. Обработка металлов давлением

1. Механика сплошных сред

Теория напряжений

Компоненты напряжений. Тензор напряжений. Величины, характеризующие деформацию тела. Связь между напряжениями и деформациями. Связь деформаций и перемещений. Плоское напряженное состояние и плоская деформация. Главные напряжения. Инварианты тензора напряжений. Наибольшие касательные напряжения. Сферический тензор и девиатор напряжений. Напряжения на произвольно ориентированной площадке.

Теория деформаций

Деформации в точке. Тензор деформаций и его инварианты. Главные деформации и главные сдвиги. Сферический тензор и девиатор деформаций. Объемная деформация. Закон изменения объема. Конечные деформации.

Уравнения термомеханического состояния сплошной среды.

Замкнутые системы уравнений сплошной среды.

Решение задач теории упругости в напряжениях и перемещениях. Дифференциальные уравнения равновесия для плоской задачи в прямоугольных и цилиндрических координатах. Осесимметричная задача в перемещениях. Дифференциальные уравнения равновесия для трехмерной задачи. Уравнения совместности (неразрывности) деформаций. Функции напряжений для плоской задачи. Плоская задача в цилиндрических координатах. Осесимметричная задача в напряжениях.

Классические и прикладные задачи теории упругости

Задача Ламэ о напряжениях в упругой трубе под внутренним и наружным давлениями. Упругое растяжение пластины с малым круговым отверстием (задача Кирша). Коэффициент интенсивности напряжений. Критерий Гриффитса. Линейная механика разрушения. Задачи о действии сосредоточенной силы на остриё упругого клина (задача Митчела), на упругую полубесконечную плоскость (задача Фламана). Понятие о контактных задачах. Задача Герца о плоской упругой деформации двух соприкасающихся цилиндров с параллельными осями.

2. Теория обработки металлов давлением

Основные закономерности пластической деформации.

Основные показатели пластической деформации. Закон изменения объёма. Обобщённые напряжение и деформация. Закон связи напряжений и деформаций. Смещённые объёмы. Показатель поперечной деформации. Работа деформации. Трение при ОМД.

Деформации и напряжения при осадке.

Форма очага деформации при осадке. Зоны трения по Унксову Е.П. Диаграмма сжатия. Оценка пластичности металла при осадке. Экспериментальное исследование процесса осадки. Распределение деформаций по объёму.

Теоретический анализ напряжений при осадке.

Применяемые гипотезы при теоретическом анализе напряжений. Уравнение равновесия. Расчёт напряжений в зонах скольжения, торможения и застоя при осадке.

Очаг деформации при продольной прокатке

Геометрический и физический очаги деформации при прокатке. Внеконтактная деформация. Длина очага деформации. Показатели и коэффициенты деформации. Смещённые объёмы при прокатке. Скорость деформации и деформирования.

Распределение сил трения при прокатке.

Виды трения при прокатке. Способы определения среднего коэффициента трения. Влияние параметров прокатки на коэффициент трения. Функция трения, способ её определения.

Классификация очагов деформации по их форме.

Виды очагов деформации. Эпюры напряжений. Распределение деформаций по объёму. Деление на зоны скольжения и прилипания. Опережение, уширение.

Несимметричная прокатка.

Возможные варианты несимметричной прокатки. Схема зон очага деформации при несимметричной прокатке. Влияние несимметричной прокатки на основные параметры прокатки.

Прокатка в калибрах

Элементы калибра. Формы калибров. Характеристики деформации металла в калибрах. Расположение калибров на валках.

Продольная периодическая прокатка.

Определения, диаметр валков, элементы калибра. Очаг деформации. Расчёт радиуса валка на переходном участке профиля.

3. Физические основы прочности и пластичности металлов

Дефекты кристаллического строения

Дефекты кристаллического строения и их основные свойства. Пластическая деформация как движение дислокаций. Взаимодействия дефектов при пластической деформации.

Основные представления о разрушении металлов.

Основные определения. Классификация трещин. Механизмы зарождения и роста трещин. Критерии разрушения. Достоинства и недостатки критериев разрушения.

Энтропийный критерий разрушения.

Общая концепция описания разрушения. Новый критерий разрушения для одноосного разрушения и сложного напряженно-деформированного состояния. Меры борьбы с преждевременным разрушением.

Основные представления о термическом разупрочнении

Стадии термического разупрочнения: отдых, полигонизация, рекристаллизация (первичная, вторичная, собирательная). Закономерности рекристаллизации. Первичная рекристаллизация при горячей деформации металлов: статическая, динамическая и метадинамическая. Рекристаллизация холоднодеформированного металла. Влияние скорости нагрева.

Релаксация напряжений при деформации металлов.

Общие представления о релаксации напряжений. Дифференциальное уравнение релаксации. Плотность распределения времен релаксации. Экспериментальное определение плотности распределения времен релаксации.

Экспериментальные исследования сопротивления деформации.

Методы и оборудование для экспериментального определения сопротивления деформации металлов. Влияние факторов на сопротивление деформации. Реологическая модель и механический аналог сопротивления деформации. Сопротивление деформации при повышенных температурах в отсутствие релаксационных процессов.

Критерии устойчивости пластической деформации.

Устойчивость деформации при растяжении по Холломону. Устойчивость пластической деформации по критерию Ляпунова. Структурная интерпретация устойчивости пластической деформации при растяжении по Ляпунову. Вероятностный критерий пластичности (предельных деформаций).

- 1. Тензор напряжений. Сферический тензор и тензор-девиатор. Главные нормальные напряжения и напряжения на произвольно ориентированной площадке. Максимальные касательные напряжения. Инварианты тензора напряжений.
- 2. Тензор деформаций и его геометрический смысл. Удлинения и сдвиги. Малая и конечная деформации. Главные деформации. Чистый сдвиг. Инварианты тензора деформаций. Геометрические уравнения Коши.
- 3. Физические уравнения деформируемых сред. Простейшие реологические модели. Система уравнений теории упругости.
- 4. Условия пластичности для изотропного континуума. Физические уравнения теории малых упруго-пластических деформаций и теории течения.
- 5. Уравнения равновесия в декартовой и цилиндрической системах координат.
- 6. Граничные условия в напряжениях и перемещениях и граничные условия смешанного типа.
- 7. Методы решения задач теории упругости: метод сил, метод перемещений, смешанная задача. Прямая, обратная и полу обратная задачи.
- 8. Плоская задача теории упругости и пластичности. Решение плоской задачи. Функции напряжений для плоской задачи.
- 9. Задача Ламэ об упругом нагружении толстостенной трубы внутренним и наружным давлением. Упругопластическая деформация толстостенной трубы.
- 10. Изменение свойств металла при пластической деформации. Процессы, протекающие при нагреве.
- 11. Пластичность и разрушение металла при ОМД.
- 12. Оценка пластичности металла при осадке. Распределение деформаций по объёму. Контактные напряжения.
- 13. Основные закономерности пластической деформации. Закон изменения объема.
- 14. Трение при ОМД. Влияние технологических факторов на коэффициент трения.
- 15. Очаг деформации при продольной прокатке. Условия захвата и установившегося процесса. Нейтральный угол. Опережение и отставание при прокатке.
- 16. Характер деформации при прокатке. Высокие, низкие и средние очаги деформации. Несимметричная прокатка. Уширение при прокатке.
- 17. Энергосиловые параметры прокатки. Методы расчета. Контактные напряжения. Силы и крутящие моменты.
- 18. Характеристики деформации металла в калибрах. Системы калибров. Вытяжная способность калибров.
- 19. Разновидности процессов поперечной прокатки. Очаг деформации Энергосиловые параметры. Механизм образования внутренней полости.
- 20. Типы дефектов кристаллического строения. Основные свойства вакансий, дислокаций, границ.
- 21. Механические испытания металлов. Диаграммы условных и истинных напряжений.
- 22. Структурообразование и формирование свойств при холодной пластической деформации. Деформационное упрочнение, изменение пластичности и прочности.

- 23. Релаксация напряжений. Опыты на релаксацию напряжений. Дифференциальное уравнение релаксации напряжений. Зависимость релаксационных свойств от температуры и степени деформации.
- 24. Процессы термического разупрочнения, сопровождающие релаксацию напряжений при горячей деформации: отдых, полигонизация, рекристаллизация.
- 25. Формирование структуры и свойств металла при горячей пластической деформации. Влияние скорости деформации и температуры. Сопротивление деформации.
- 26. Причины разрушения металлов при пластической деформации. Критерии и микромеханизмы разрушения.
- 27. 16.Сверхпластическая деформация (СПД) металлов. Факторы, обеспечивающие переход металлов в сверхпластическое состояние.
- 28. Движущие силы диффузионных фазовых превращений. Кинетика диффузионных фазовых превращений. Влияние пластической деформации на характер ФП.

Рекомендуемая литература

- 1. Рыбин Ю.И., Рудской А.И., Золотов А.М. Математическое моделирование и проектирование технологических процессов обработки металлов давлением. Спб.: Наука, 2004. -644 с. 387 ил.
- 2. Казакевич Г.С., Рудской А.И. Механика сплошных сред. Теория упругости и пластичности. СПб.: Изд-во СПБГПУ, 2003. 264с.
- 3. Рудской А.И., Лунев В.А. Теория и технология прокатного производства: Учеб. пособие. СПб.: Наука, 2005. -540 с. 377 ил.
- 4. Н.Г. Колбасников. Энтропийная теория прочности. Текст лекций // СПбГТУ. СПб., -1995.-171 с.
- 5. Колбасников Н.Г. Теория обработки металлов давлением. Физические основы прочности и пластичности металлов // Спб.: СПбГПУ, -2004. -220 с.
- 6. Н.Г. Колбасников. Энтропийная теория прочности. Текст лекций // СПбГТУ. СПб., -1995.-171 с.
- 7. Колбасников Н.Г. Теория обработки металлов давлением. Физические основы прочности и пластичности металлов // Спб.: СПбГПУ, –2004. –220 с.

5. Порошковая металлургия и композиционные материалы

1. Процессы порошковой металлургии

Свойства порошков и порошковых материалов.

Физические характеристики порошков. Технологические свойства порошков.

Электропроводность. Магнитные характеристики. Теплофизические свойства. Методы определения.

Технология процессов формования металлических порошков.

Подготовка порошков к формованию: классификация, химико-термическая обработка, приготовление смесей.

Статическое прессование. Распределение плотности. Динамическое и импульсное прессование. Прокатка. Мундштучное прессование. Шликерное литье.

Теория прессования и прокатки металлических порошков.

Континуальные и дискретные механические модели порошков и пористых тел. Основы теории пластичности порошковых и пористых материалов. Основные уравнения процесса прессования порошков в закрытой пресс-форме. Теория процесса прокатки металлических порошков.

Основы теории спекания порошковых материалов.

Твердофазное и жидкофазное спекание. Влияние спекания на физико-механические свойства порошковых материалов и изделий.

Свойства порошковых материалов и изделий.

Антифрикционные и фрикционные материалы. Пористые материалы и изделия. Конструкционные материалы. Электротехнические материалы. Жаропрочные и жаростойкие порошковые сплавы. Композиционные порошковые материалы и изделия. Тугоплавкие соединения. Материалы с особыми физико-механическими свойствами. Твердые сплавы. Основные принципы конструирования структуры твердых сплавов. Технологические схемы производства твердых сплавов. Металлокерамические твердые сплавы. Сверхтвердые сплавы. Свойства и области применения твердых сплавов. Технико-экономические показатели и экология технологии получения материалов и изделий из металлических порошков.

2. Материаловедение и технология композиционных материалов

Теоретические основы конструирования и свойства композиционных материалов. Особенности структуры и основные механические свойства КМ. Особенности структуры.

Основные механические свойства. Межфазное взаимодействие и влияние методов изготовления на свойства.

Поверхности раздела в КМ. Типы химического взаимодействия на поверхности раздела. Механические аспекты поверхности раздела. Физико-химические процессы на внутренних поверхностях раздела. Влияние состояния поверхности раздела на механические свойства.

Методы получения и свойства армирующих материалов различного типа, способы оценки этих материалов.

Получение КМ методом жидкофазного совмещения. Пропитка волокон расплавом матрицы. Пропитка в вакууме. Комбинированные методы пропитки.

Методы твердофазного совещания матрицы и волокон. Диффузионная сварка под давлением. Получение КМ обработкой давлением. Методы порошковой металлургии.

Изготовление КМ сваркой взрывом. Режимы изготовления и основные свойства материалов.

Газофазные, химические и электрохимические процессы получения КМ. Методы газотермического напыления. Электрохимические методы. Химические методы.

Технология и свойства композиционных материалов на основе металлических матриц и керамики.

Технология композиционных материалы с металлической матрицей. Физические свойства. Механические свойства. Примеры металлокомпозитов.

Технология композитов с керамической матрицей. Свойства композитов с матрицей из оксида алюминия. Свойства композитов со стеклокерамическими матрицами.

3. Теория и технология покрытий

Цели и методы нанесения покрытий, их разновидности.

Роль материалов с покрытиями в технике. Классификация покрытий в зависимости от их назначения. Классификация методов нанесения покрытий. Контактные методы.

Твердофазные методы: плакирование, окунание, электрофорез.

Жидкофазные методы: оплавление, наплавка, погружение в расплав, растекание.

Капельное напыление: плазменное, газопламенное, детонационное, высокочастотное.

Газофазные методы: конденсация, термовакуумное напыление. Химические методы.

Катодное и ионное распыление.

Строение, структура и эксплуатационные свойства покрытий.

Структурные элементы и границы между ними в покрытиях.

Когезионная прочность напыленного покрытия. Износостойкость и антифрикционные свойства покрытий.

Основное оборудование для газотермического и электротермического нанесения покрытий на металлопродукцию.

Основные параметры плазменной струи.

Получение пакетных многослойных покрытий. Формирование поверхности изделий напылением.

Покрытия на основе тугоплавких оксидов.

Покрытия на основе тугоплавких бескислородных соединений.

Метрологический контроль технологических параметров формирования свойств Оценка эффективности технологии напыления покрытия. Показатели качества изделий. Методы измерения прочности сцепления покрытия с основой. Влияние термического расширения и остаточных напряжений на прочность сцепления покрытия с основой.

Вопросы к экзамену

- 1. Получение металлических порошков химическими методами.
- 2. Получение металлических порошков механическими методами.
- 3. Получение металлических порошков в условиях высоких давлений.
- 4. Физико-химические и механические свойства частиц порошков.
- 5. Технологические свойства порошков и методы их определения.
- 6. Технология получения изделий из металлических порошков.
- 7. Деформационное уплотнение металлических порошков.
- 8. Статические способы прессования металлических порошков.

- 9. Динамические способы прессования металлических порошков.
- 10. Прокатка металлических порошков.
- 11. Шликерное формование.
- 12. Физико-химические процессы одно- и многофазного спекания.
- 13. Дифузионные характеристики процесса спекания.
- 14. Твердофазное спекание.
- 15. Жидкофазное спекание.
- 16. Основные свойства спеченных материалов и изделий.
- 17. Дополнительная обработка спеченных изделий.
- 18. Технология получения твердых сплавов и карбидосталей.
- 19. Особенности структуры композиционных материалов (КМ).
- 20. Особенности физико-механических свойств КМ.
- 21. Роль матрицы при распределении напряжений в дискретных волокнах.
- 22. Понятие критической длины дискретного волокна.
- 23. Зависимость критической длины волокна от параметров волокна.
- 24. Правило смеси (аддитивности) для расчетов прочности КМ.
- 25. Понятие критической объемной доли волокна в КМ.
- 26. Характер разрушения волокнистых КМ при растяжении (вдоль волокон).
- 27. Характер разрушения КМ при растяжении в зависимости от ориентации волокон.
- 28. Работа разрушения волокнистых КМ.
- 29. Основные признаки КМ.
- 30. Классификационное разделение КМ.
- 31. Типы взаимодействия на поверхностях раздела в КМ.
- 32. Механическое аспекты поверхностей раздела в КМ.
- 33. Основные преимущества и недостатки метода получения КМ пропиткой.
- 34. Сущность процесса получения КМ диффузхионной сваркой под давлением.
- 35. Особенности спекания при изготовлении КМ методом порошковой металлургии.
- 35. Особенности изготовления КМ сваркой взрывом.
- 37. Химическая металлизация при изготовлении КМ.
- 38. Методы газотермического напыления и их классификация.
- 39. Основные параметры газотермического напыления.
- 40. Способы и технологические особенности плазменного напыления.
- 41. Способы и технологические особенности газопламенного напыления.
- 42. Способы и технологические особенности детонационно-газового напыления.
- 43. Способы и технологические особенности электродуговой металлизации.
- 44. Методы вакуумного конденсационного напыления и их классификация.
- 45. Основные параметры вакуумного конденсационного напыления.
- 46. Способы и технологические особенности вакуумного конденсационного напыления покрытий термическим испарением.
- 47. Способы и технологические особенности вакуумного конденсационного напыления покрытий взрывным распылением материала.
- 48.Способы и технологические особенности вакуумного конденсационного напыления покрытий ионным распылением.

Рекомендуемая литература

- 1. Гиршов В.Л., Цеменко В.Н., Котов С.А. Современные технологии в порошковой металлургии. Учебное пособие. СПб.: Из-во Политехн. ун-та, 2010. -384с.
- 2. Цеменко В.Н. Процессы порошковой металлургии. Теория и физические основы уплотнения порошковых материалов. СПб.: Из-во Политехн. ун-та, 2005. -116с.
- 3.Батаев А.А., Батаев В.А. Композиционные материалы: строение, получение, применение: Учебное пособие. М: Университетская книга; Логос. –2006. 400с.

- 4.Мэтьюз Ф., Роллингс Р. Композиционные материалы. Механика и технология.М: Техносфера, -2004. -408с.
- 5.Кудинов В.В., Бобров Г.В. Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и материалы. Учебник для вузов.—М.: Металлургия, 1992.-432.

Техника и технология нанесения покрытий./ Фролов В.Я., Клубникин В.С., 6.Петров Г.К., Юшин Б.А.. Учебное пособие.— СПб.: Из-во Политехн. ун-та, 2008. -387c.

Материаловедение» (машиностроение)

Введение

Настоящая программа базируется на дисциплинах: материаловедение, физика металлов; металлография; теория и практика термической обработки; учение о прочности и механических свойствах материалов.

1. Теоретические основы материаловедения

Строение и свойства материалов

Строение атома и периодическая система элементов Д.И. Менделеева. Электронная структура. Типы межатомных связей в кристаллах.

Кристаллическое строение твердых тел.

Типы кристаллических решеток металлов и их характеристика. Реальное строение металлических и неметаллических кристаллов. Анизотропия свойств кристаллов. Дефекты кристаллического строения: точечные, линейные, поверхностные и объемные. Дислокационная структура и прочность металлов.

Фуллерены и нанотрубки. Наноструктурное строение веществ.

Основы электронной теории твердых тел

Зонная теория твердых тел. Связь физических свойств с поведением электронов. Теплопроводность, электропроводность и электронная теплоемкость металлов. Термоэлектронная эмиссия. Сверхпроводимость. Электронное строение полупроводников и диэлектриков.

Магнитные свойства материалов. Диамагнетизм, парамагнетизм, ферромагнетизм.

Формирование структуры металла при кристаллизации

Агрегатные состояния веществ. Энергетические условия и термодинамика процесса кристаллизации. Самопроизвольная и несамопроизвольная кристаллизация. Форма кристаллических образований. Строение слитка. Полиморфизм. Магнитные превращения. Аморфное состояние металлов. Аморфные сплавы.

Строение пластически деформированных металлов

Структурные изменения в металлах в условиях холодной и горячей пластической деформации. Температура рекристаллизации. Строение металлов после возврата и рекристаллизации. Механизм и стадии процесса рекристаллизации. Условия реализации направленной кристаллизации.

Основы теории сплавов и термической обработки

Условия термодинамического равновесия. Определение системы, фазы, структуры. Смеси, химические соединения, твердые растворы, промежуточные фазы. Правило фаз. Основные типы диаграмм состояния двойных сплавов и методы их построения.

Эвтектическое и перитектическое превращения. Виды ликвации. Фазовые и структурные превращения в твердом состоянии. Эвтектоидное превращение. Связь между свойствами сплавов и типом диаграммы состояния.

Диаграммы состояния железо-цементит и железо-графит. Влияние легирующих компонентов на критические точки железа и стали, свойства феррита и аустенита.

Фазовые превращения в стали при нагреве и охлаждении. Процесс образования аустенита при нагреве. Механизм превращений переохлажденного аустенита. Изотермические и термокинетические диаграммы. Влияние состава стали на процесс распада аустенита. Критическая скорость охлаждения при закалке. Мартенситное превращение, механизм и кинетика. Структура и свойства мартенсита. Влияние деформации на мартенситное превращение. Превращения при отпуске стали. Термодинамика и процесс коагуляции. Изменение структуры и свойств при отпуске. Отпускная хрупкость и способы ее предотвращения.

2. Методы исследования структуры и физических свойств материалов

Методы исследования структуры и фазового состава

Металлографические и фрактографические методы исследования, оптическая и электронная, в том числе дифракционная микроскопия (просвечивающий и сканирующий электронные микроскопы). Рентгеновские методы исследования: структурный и спектральный методы анализа.

Физические методы неразрушающего контроля дефектов материалов

Ультразвуковая дефектоскопия.

3. Механические свойства материалов и методы их определения

Схемы напряженного и деформированного состояния материалов

Плоское и объемное напряженные состояния. Плоская деформация. Концентрация напряжений. Остаточные напряжения, определение, классификация.

Упругие свойства материалов

Модуль упругости и его зависимость от кристаллической структуры материала. Упругое последствие, упругий гистерезис, внутреннее трение.

Пластическая деформация и деформационное упрочнение

Процессы скольжения и двойникования. Краевые, винтовые и смешанные дислокации. Вектор Бюргерса. Скольжение и переползание дислокаций. Взаимодействие дислокаций между собой и с примесями. Особенности деформации моно- и поликристаллов. Влияние границ зерен на пластическую деформацию поликристаллов. Дисклинации. Сверхпластичность. Влияние пластической деформации на структуру и свойства материалов. Механизм упрочнения. Деформационное упрочнение. Упрочнение твердых растворов при взаимодействии дислокаций с примесями внедрения. Дисперсионное твердение.

Разрушение материалов

Виды разрушения материалов. Механизмы зарождения трещин. Силовые, деформационные и энергетические критерии локального разрушения. Трещиностойкость. Подходы механики разрушения к выбору конструкционных материалов, расчету размера допустимого дефекта и прогнозированию долговечности. Фрактография как метод количественной оценки механизма разрушения.

Механические свойства материалов и методы их определения

Классификация методов механических испытаний. Значение механических характеристик в материаловедении.

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.

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.

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

Испытания на твердость вдавливанием и царапанием. Триботехнические испытания.

Поведение материалов под нагрузкой при охлаждении и нагреве

Поведение материалов под нагрузкой при охлаждении от комнатных температур до криогенных. Хладостойкость и критическая температура хрупкости, методы определения. Поведение материалов под нагрузкой при нагреве от комнатных температур до температуры рекристаллизации и выше. Синеломкость и тепловая хрупкость.

Жаростойкость и жаропрочность. Ползучесть, диаграммы ползучести, предел ползучести. Теория рекристаллизационной ползучести. Длительная прочность, диаграммы длительной прочности, предел длительной прочности. Механизм хрупкого разрушения при ползучести. Релаксация напряжений, диаграммы релаксации, релаксационная стойкость. Влияние легирования и структуры на характеристики жаропрочности материалов.

Воздействие внешней среды

Закономерности окисления металлов. Коррозия металлов и сплавов под напряжением. Коррозионное растрескивание. Межкристаллитная коррозия. Сопротивляемость материалов кавитационному и эрозионному разрушению. Влияние радиационного облучения на строение и свойства материалов.

4. Технология химико-термической, термомеханической обработки и поверхностного упрочнения материалов

Термическая обработка стали. Основные виды термической обработки стали. Выбор вида термической обработки в зависимости от назначения изделия и условий его эксплуатации. Влияние термической обработки на свойства конструкционных сталей и сварных соединений.

Химико-термическая обработка. Общие закономерности. Цементация с последующей термической обработкой. Азотирование. Влияние легирующих компонентов на толщину, твердость и износостойкость азотированного слоя. Структура и свойства азотированной стали. Нитроцементация стали. Диффузионная металлизация: алитирование, хромирование, силицирование и т.п

Термомеханическая обработка. Основные виды: предварительная высокотемпературная, низкотемпературная. Структура и свойства материалов после термомеханической обработки.

Поверхностное упрочнение металлов и сплавов путем воздействия концентрированных потоков энергии. Поверхностное легирование и термическая обработка при лазерном и электронно-лучевом нагреве. Поверхностное упрочнение металлов и сплавов путем воздействия пластической деформации. Физическая сущность процесса. Роль остаточных напряжений. Области применения.

Деформация изделий при их обработке и способы ее предупреждения.

5. Металлы и сплавы в машиностроении

Конструкционная прочность материалов

Критерии прочности, надежности, долговечности и износостойкости. Методы повышения конструкционной прочности.

Конструкционные углеродистые и легированные стали

Требования, предъявляемые к конструкционным сталям. Металлургическое качество сталей Классификация углеродистых сталей по качеству, структуре и областям применения. Влияние углерода и примесей на свойства углеродистых сталей. Углеродистые качественные стали. Автоматные стали. Углеродистые инструментальные стали.

Легированные стали. Влияние легирующих компонентов и примесей на дислокационную структуру и свойства сталей. Классификация и маркировка легированных сталей. Цементуемые (нитроцементуемые) легированные стали. Улучшаемые легированные стали. Пружинные стали общего назначения. Шарикоподшипниковые стали. Износостойкие стали.

Высокопрочные мартенситно-стареющие стали

Принципы легирования. Мартенситное превращение. Влияние легирующих элементов на кинетику фазовых превращений и особенности термической обработки. Экономно легированные мартенситно-стареющие стали. Свойства мартенситно-стареющих сталей и области применения.

Конструкционные и коррозионно-стойкие стали

Общие принципы легирования и структура коррозионно-стойких сталей. Хромистые, хромоникелевые, хромомарганцево-никелевые и хромазотистые аустенитные стали. Высоколегированные кислотостойкие стали. Жаростойкие и окалиностойкие стали.

Жаропрочные стали и сплавы

Принципы легирования жаропрочных сталей и сплавов. Упрочняющие фазы. Жаропрочные стали перлитного и мартенситного классов. Жаропрочные стали аустенитного класса с карбидным и интерметаллидным упрочнением. Жаропрочные и жаростойкие никелевые сплавы. Термическая обработка жаропрочных никелевых сплавов. Тугоплавкие металлы и сплавы на их основе. Области применения в машиностроении.

Инструментальные стали

Классификация инструментальных сталей по теплостойкости, структуре и областям применения. Быстрорежущая сталь и особенности ее термической обработки. Штамповые стали для деформирования в горячем и холодном состоянии. Стали для форм литья под давлением и прессования.

Чугуны

Свойства и назначение чугунов, принципы классификации. Белые, серые, высокопрочные и ковкие чугуны. Фазовые превращения при термической обработке чугуна. Применение в машиностроении.

Цветные металлы и сплавы

Алюминий и его сплавы. Классификация алюминиевых сплавов. Деформируемые алюминиевые сплавы. Литейные алюминиевые сплавы. Особенности термической обработки. Спеченные алюминиевые сплавы. Технологические и механические свойства. Области применение алюминия и его сплавов.

Магний и его сплавы. Классификация магниевых сплавов. Деформируемые и литейные сплавы. Термическая обработка магниевых сплавов. Защита магниевых сплавов от коррозии.

Медь и ее сплавы. Влияние примесей на структуру и свойства меди. Классификация медных сплавов. Латуни, их свойства. Строение и свойства оловянных, алюминиевых, свинцовых, марганцовистых и бериллиевых бронз. Медно-никелевые сплавы. Области применения меди и ее сплавов.

Титан и его сплавы. Классификация легирующих элементов и типы сплавов титана. Механические, технологические и коррозионные свойства титановых сплавов. Водородная хрупкость титановых сплавов. Конструкционные и жаропрочные сплавы титана. Особенности термической обработки.

Цинк, свинец, олово и их сплавы. Припои на оловянистой и свинцовой основах. Антифрикционные сплавы.

Металлы и сплавы с особыми свойствами

Магнитные материалы. Классификация материалов по магнитным свойствам. Кривая намагничивания. Процессы, происходящие при намагничивании монокристалла. Низкочастотные и высокочастотные магнитомягкие материалы. Магнитотвердые деформируемые, литые и спеченные материалы.

Материалы с особыми тепловыми и упругими свойствами. Сплавы с заданными коэффициентом теплового расширения и модулем упругости.

Проводниковые и полупроводниковые материалы. Электропроводность твердых тел. Материалы высокой проводимости: проводниковые, припои, сверхпроводники. Сплавы повышенного электросопротивления. Контактные материалы. Полупроводниковые материалы. Строение и свойства. Кристаллофизические методы получения сверхчистых материалов. Легирование полупроводников.

Материалы атомной техники. Конструкционные материалы. Ядерное горючее. Теплоносители.

Материалы, обладающие эффектом памяти формы. Классификация, структура, физикомеханические свойства. Применение в машиностроении.

6. Неметаллические материалы в машиностроении

Полимеры и пластические массы

Классификация и структура полимерных материалов. Молекулярная структура полимеров. Теории роста полимерных кристаллов. Особенности механических свойств полимеров, обусловленные их строением. Релаксационные свойства. Старение и стабилизация полимеров. Типы разрушения полимеров. Влияние внешних факторов на процесс разрушения. Физико-механические, адгезионные, фрикционные, антикоррозионные, диэлектрические свойства полимеров, методы исследования этих свойств.

Состав, классификация и свойства пластических масс. Пластмассы на основе термопластичых и термореактивных полимеров. Отвердители, наполнители, пластификаторы, катализаторы, пигменты, ингибиторы.

Композиционные материалы

Принципы создания и основные типы композиционных материалов. Композиционные материалы с нуль-мерными и одномерными наполнителями. Эвтектические композиционные материалы. Композиционные материалы на неметаллической основе. Механические свойства композиционных материалов, моделирование на ЭВМ разрушения композиционных материалов с использованием свойств армирующих волокон, объемной доли и свойств матрицы. Механизм разрушения. Области и перспективы применения композиционных материалов в машиностроении.

Резиновые материалы

Состав и классификация резин. Технология приготовления резиновых смесей и формирования деталей из резины. Физико-механические свойства резины. Применение резиновых материалов в машиностроении.

Ситаллы, керамические и другие неорганические материалы

Строение, свойства и виды технического стекла, ситаллов, фарфора и фаянса. Тугоплавкие соединения, основные типы, состав, структура, свойства, методы получения, в том числе СВС — самораспространяющийся высокотемпературный синтез. Нанокристаллические материалы. Стеклянные смазки и защитные покрытия. Эмали для защиты металлов. Техническая керамика. Огнеупорные и конструкционные керамические материалы. Применение керамики в машиностроении. Графит и его модификации в качестве конструкционных материалов.

Лакокрасочные и клеящие материалы

Состав и классификация лакокрасочных материалов. Особенности кремнийорганических покрытий. Технологические методы нанесения лакокрасочных покрытий. Сравнительные свойства лакокрасочных покрытий и их применение в машиностроении.

Клеящие материалы, состав и классификация. Физико-химическая природа. Конструкционные клеи. Состав клеевых соединений. Методы получения клеевых соединений и их испытания. Применение клеевых соединений в машиностроении.

7.Эффективность применения материалов в машиностроении с учетом экономичности, долговечности, безопасности и экологической чистоты

Методика расчета экономического эффекта за счет рационального выбора и применения машиностроительных материалов. Сравнительные данные стоимости углеродистых сталей и сплавов, цветных металлов и сплавов, неметаллических материалов и области их эффективного применения. Себестоимость различных операций термической и химикотермической, термомеханической обработки материалов. Повышение надежности, долговечности и безопасности изделий машиностроения путем применения новых материалов, обладающих уникальными физико-механическими, технологическими и

эксплуатационными свойствами, а также экологической чистотой. Совершенствование технических требований к материалам в нормативно-технической документации.

Вопросы к экзамену:

- 1. Типы кристаллических решеток металлов и их характеристика. Дефекты кристаллического строения. Дислокационная структура и прочность металлов.
- 2. Фуллерены и нанотрубки. Наноструктурное строение веществ.
- 3. Наклёп и рекристаллизация. Температура рекристаллизации. Строение металлов. Механизм и стадии процесса рекристаллизации.
- 4. Основные типы диаграмм состояния двойных сплавов и методы их построения. Фазовые и структурные превращения в твердом состоянии.
- 5. Диаграммы состояния железо-цементит и железо-графит. Влияние легирующих компонентов на критические точки железа и стали, свойства феррита и аустенита.
- 6. Фазовые превращения в стали при нагреве и охлаждении. Процесс образования аустенита при нагреве. Механизм превращений переохлажденного аустенита.
- 7. Мартенситное превращение, механизм и кинетика. Структура и свойства мартенсита. Влияние деформации на мартенситное превращение.
- 8. Превращения при отпуске стали. Изменение структуры и свойств при отпуске. Отпускная хрупкость и способы ее предотвращения.
- 9. Металлографические и фрактографические методы исследования, оптическая и электронная. Рентгеновские методы исследования.
- 10. Ультразвуковая дефектоскопия.
- 11. Концентрация напряжений. Остаточные напряжения, определение, классификация.
- 12. Влияние пластической деформации на структуру и свойства материалов. Механизм упрочнения. Деформационное упрочнение. Дисперсионное твердение.
- 13. Виды разрушения материалов. Механизмы зарождения трещин. Трещиностойкость.
- 14. Механические свойства, определяемые при статическом нагружении. Испытания на растяжение, сжатие, изгиб, кручение, трещиностойкость.
- 15. Механические свойства, определяемые при динамическом нагружении. Динамические испытания на изгиб образцов. Ударная вязкость
- 16. Усталость, предел выносливости. Малоцикловая и многоцикловая усталость. Природа усталостного разрушения. Влияние различных факторов на сопротивление усталости.
- 17. Испытания на твердость вдавливанием и царапанием. Триботехнические испытания.
- 18. Хладостойкость и критическая температура хрупкости, методы определения.
- 19. Жаростойкость и жаропрочность. Ползучесть, диаграммы ползучести, предел ползучести. Длительная прочность, предел длительной прочности.
- 20. Коррозия. Коррозионное растрескивание. Межкристаллитная коррозия. Кавитационное и эрозионное разрушение. Влияние радиационного облучения.
- 21. Термическая обработка стали. Основные виды термической обработки стали
- 22. Химико-термическая обработка: цементация, аотирование, нитроцементация стали. Диффузионная металлизация: алитирование, хромирование, силицирование и т.п
- 23. Термомеханическая обработка. Основные виды. Структура и свойства материалов после термомеханической обработки.
- 24. Поверхностное упрочнение металлов и сплавов путем воздействия концентрированных потоков энергии.
- 25. Классификация углеродистых сталей по качеству, структуре и областям применения. Влияние углерода и примесей на свойства углеродистых сталей
- 26. Легированные стали. Классификация и маркировка. Термическая обработка. Назначение.
- 27. Коррозионно-стойкие стали. Хромистые, хромоникелевые, хромомарганцевоникелевые и хромазотистые аустенитные стали.

- 28. Жаропрочные стали. Жаропрочные и жаростойкие никелевые сплавы. Термическая обработка.
- 29. Быстрорежущая сталь и особенности ее термической обработки. Штамповые стали для деформирования в горячем и холодном состоянии
- 30. Свойства и назначение чугунов, принципы классификации Применение в машиностроении.
- 31. Алюминий, магний и их сплавы. Деформируемые и литейные сплавы. Особенности термической обработки. Спеченные алюминиевые сплавы
- 32. Медь и ее сплавы. Латуни, их свойства. Строение и свойства оловянных, алюминиевых, свинцовых, марганцовистых и бериллиевых бронз. Медно-никелевые сплавы.
- 33. Титан и его сплавы. Классификация сплавов титана. Свойства. Особенности термической обработки.
- 34. Классификация и структура полимерных материалов. Особенности механических свойств полимеров, обусловленные их строением. Старение и стабилизация полимеров.
- 35. Композиционные материалы. Принципы создания, свойства, области применения.
- 36. Состав и классификация резин. Свойства, применение резиновых материалов.
- 37. Строение, свойства и виды технического стекла, ситаллов, фарфора и фаянса. Техническая керамика. Графит и его модификации.

Рекомендуемая литература

- 1. Материаловедение: Учеб. для вузов / Б.Н. Арзамасов, Г.Г. Мухин, В.И. Макарова, Н.М. Рывкин; Под ред. Б.Н. Арзамасова. 7-е изд. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2005. 648 с
- 2. Солнцев Ю.П., Пряхин Е.И. Материаловедение: Учеб. для вузов / Под общ. ред. Ю.П. Солнцева. СПб.: XИМИЗДАТ, 2007. 696 с
- 3. Солнцев Ю.П., Пряхин Е.И., Вологжанина С.А., Петкова А.П. Нанотехнологии и специальные материалы: Учебное пособие для вузов. СПб.: Химиздат, 2009. 336 с
- 4. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов. 4-е изд. М.: Металлургия, 1986. 479 с
- 5. Геллер Ю.М. Инструментальные стали. 5-е изд. М.: Металлургия, 1983. 527
- 7. Гуляев А.П. Металловедение. 6-е изд. М.: Металлургия, 1986. 544 с.
- 6. Л а х т и н Ю.М., Л е о н т ь е в а В.П. Материаловедение. 3-е изд. М.: Машиностроение, 1990. 528 с
- 8. Материаловедение. Технология конструкционных материалов. Радиационное материаловедение: Учеб. для вузов / А.М. Паршин, А.Н. Тихонов, Ю.С. Васильев, Н.Б. Кириллов, М.И. Криворук;. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. 331 с.