Принято на заседании
Ученого совета ЭкоТех
протокол № 4 от 04.12.2025 г.

ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ ДЛЯ ПОСТУПАЮЩИХ НА ОБУЧЕНИЕ ПО ПРОГРАММАМ ПОДГОТОВКИ НАУЧНЫХ И НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ КАДРОВ В АСПИРАНТУРЕ ПО ГРУППЕ НАУЧНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

2.6 Химические технологии, науки о материалах, металлургия

Москва 2025

СОДЕРЖАНИЕ

Пояснительная записка 4
ЧАСТЬ 1. МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ 5
Раздел 1. Фазы и фазовые равновесия 5
Раздел 2. Дефекты кристаллического строения 5
Раздел 3. Фазовые и структурные превращения в сплавах 5
Раздел 4. Физические свойства металлов 5
Раздел 5. Механические свойства металлов 5
Раздел 6. Основы термической обработки 6
Раздел 7. Методы изучения микроструктуры и фазового состояния 6
Раздел 8. Кристаллизация и строение литых сплавов 6
Раздел 9. Цветные металлы и сплавы 6
Раздел 10. Тугоплавкие металлы и сплавы 6
Рекомендованная литература 6
ЧАСТЬ 2. МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЁРНЫХ МЕТАЛЛОВ 7
Раздел 1. Общие вопросы производства черных металлов и сплавов 7
Раздел 2. Подготовка руд к плавке и производство чугуна 7
Раздел 3. Производство стали 7
Раздел 4. Получение слитков и литых заготовок черных металлов 7
Рекомендуемая литература 7
ЧАСТЬ 3. МЕТАЛЛУРГИЯ ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ 8
Раздел 1. Основы гидрометаллургических процессов (Производство золота) 8
Раздел 2. Окислительная пирометаллургия (Производство меди) 8
Раздел 3. Восстановительная пирометаллургия (Производство свинца) 8
Раздел 4. Электрометаллургия (Производство алюминия) 8
Раздел 5. Производство вольфрама 8
Раздел 6. Производство молибдена 9
Раздел 7. Производство тантала и ниобия 9
Раздел 8. Металлургия титана и циркония 9
Раздел 9. Металлургия рассеянных редких металлов 9
Раздел 10. Металлургия радиоактивных и редкоземельных металлов 9
Рекомендуемая литература 10
ЧАСТЬ 4. ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО 10
Раздел 1. Теоретические основы литейного производства 10
Раздел 2. Технологические основы литейного производства 10
Раздел 3. Производство чугунных и стальных отливок 11
Раздел 4. Производство отливок из цветных металлов и сплавов с особыми свойствами 11
Раздел 5. Оборудование и проектирование литейных цехов и заводов 12
Рекомендуемая литература 12
ЧАСТЬ 5. ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ 14
Раздел 1. Базовые понятия, классификация процессов и изделий, производимых методами ОМД 14
Раздел 2. Физические основы пластической деформации металлов и сплавов, взаимодействие процессов ОМД с термообработкой, методы управления структурой и свойствами продукции 14
Раздел 3. Теоретические основы процессов обработки металлов давлением 14
Раздел 4. Оборудование для силового воздействия на материал. Вспомогательное оборудование, средства управления 14
Раздел 5. Прокатка металлов 15
Раздел 6. Ковка, объёмная и листовая штамповка 15
Раздел 7. Прессование, выдавливание и волочение металлов 15
Раздел 8. Специальные методы ОМД 16

Рекомендуемая литература (основная и дополнительная) 16
ЧАСТЬ 6. ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ И КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ 16
Раздел 1. Порошковая металлургия 16
Раздел 2. Технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС)17
Раздел 3. Функциональные и наноструктурные покрытия 18
Рекомендуемая литература (основная и дополнительная) 18
ЧАСТЬ 7. ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ 20
Раздел 1. Основы теории коррозии металлов и сплавов в жидких средах 20
Раздел 2. Методы защиты металлов от коррозии в жидких средах 20
Раздел 3. Основы теории коррозии металлов и сплавов в газовых средах 21
Раздел 4. Методы защиты металлов и сплавов от коррозии в газовых средах 21
Рекомендуемая литература 21
ЧАСТЬ 8. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ 21
Раздел 1. Межатомные взаимодействия и электронное строение твердого тела 21
Раздел 2. Атомная структура твердых тел 22
Раздел 3. Дефекты кристаллического строения 22
Раздел 4. Фазы и фазовые равновесия в материалах 22
Раздел 5. Диффузия 22
Раздел 6. Кристаллизация 22
Раздел 7. Фазовые превращения в твердом состоянии 23
Раздел 8. Структурные превращения в твердом состоянии 23
Раздел 9. Способы воздействия на структуру и свойства материалов 23
Раздел 10. Пластическая деформация и разрушение. Механические свойства материалов 24
Раздел 11. Взаимодействие материалов с окружающей средой 24
Раздел 12. Физические свойства материалов 24
Раздел 13. Методы исследования и контроля структуры и свойств материалов 25
Раздел 14. Основные классы материалов в металлургии 25
Рекомендуемая литература 26

Пояснительная записка

Цель вступительного испытания – оценка уровня освоения поступающим компетенций, необходимых для обучения в аспирантуре по группе научных специальностей 2.6 «Химические технологии, науки о материалах, металлургия».

Форма, продолжительность проведения вступительного испытания. Критерии оценивания

Минимальное количество баллов по результатам вступительных испытаний, подтверждающее успешное прохождение вступительного испытания, составляет 40 баллов по всем условиям поступления.

Вступительное испытание состоит из двух частей: письменная часть и собеседование. Для прохождения вступительного испытания поступающий должен предоставить план-проспект диссертационной работы и мотивационное письмо (1000–1500 слов), отражающее причины выбора НИТУ МИСИС и соответствующей программы подготовки. Без план-проспекта диссертационной работы и мотивационного письма поступающий до вступительного испытания не допускается. План-проспект диссертационной работы и мотивационное письмо предоставляется экзаменационной комиссии до начала письменной части вступительного испытания.

Вступительное испытание оценивается по 100-балльной шкале.

Экзаменационный билет письменной части содержит пять вопросов, каждый из которых оценивается до 10 баллов. Результатом оценивания является сумма баллов, полученных за правильные ответы на соответствующие вопросы письменной части экзамена. Максимально возможное количество баллов, которое может получить абитуриент на письменной части экзамена – 50.

Продолжительность письменного экзамена – 120 минут.

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

Перечень принадлежностей, которые поступающий имеет право пронести в аудиторию во время проведения вступительного испытания: ручка, непрограммируемый калькулятор.

ЧАСТЬ 1. МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

Раздел 1. Фазы и фазовые равновесия

1.1 Типичные кристаллические решетки металлов. Кристаллографические плоскости и направления с наибольшей плотностью упаковки атомов в кубической и гексагональных решетках.

1.2 Твердые растворы замещения, внедрения и вычитания. Электронные соединения, фазы Лавеса, фазы внедрения.

1.3 Правило фаз. Диаграммы состояния двойных систем. Правило рычага. Диаграмма состояния железо-углерод.

1.4 Диаграммы состояния тройных систем, политермические и изотермические разрезы.

Раздел 2. Дефекты кристаллического строения

Классификация дефектов. Вакансии, подвижность вакансий и самодиффузия. Дислокации, взаимодействие дислокаций, поперечное скольжение и переползание. Дефекты упаковки. Сегрегации примесей на дислокациях и дефектах упаковки. Строение границ зерен и субзерен. Решетка узлов совпадения. Миграция границ, влияние на нее примесей и включений.

Раздел 3. Фазовые и структурные превращения в сплавах

3.1 Возврат и рекристаллизация. Первичная собирательная и вторичная-рекристаллизация. Динамическая рекристаллизация. Текстуры' рекристаллизации.

3.2 Кристаллизация расплава, гомогенное и гетерогенное зарождение кристаллов. Кривые Таммана. Макро- и микроструктура литого металла. Модифицирование. Ликвация. Эвтектическая кристаллизация, строение эвтектик. Бездиффузионная кристаллизация.

3.3 Зарождение при фазовых превращениях в твердом состоянии, взаимная ориентировка фаз, принцип структурного и размерного соответствия. Строение и механизм движения межфазной границы при росте кристаллов в твердом состоянии, сдвиговое и нормальное превращение. Особенности мартенситного превращения.

3.4 Фазовые переходы I и II рода. Упорядочение.

3.5 Фазовые превращения при нагреве, растворение частиц второй фазы, гомогенизация. Особенности превращений при быстром нагреве.

3.6 Фазовое состояние и микроструктура основных групп углеродистых и легированных сталей и чугунов. Микроструктура и применение сплавов на основе меди, алюминия, титана, магния, никеля.

Раздел 4. Физические свойства металлов

4.1 Классификация физических свойств по их структурной чувствительности.

4.2 Тепловые свойства. Термический анализ и его применение. Термическое расширение. Дилатометрическое исследование фазовых превращений.

4.3 Упругие свойства. Неупругость. Механизмы внутреннего трения. Применение метода внутреннего трения.

4.4 Магнитные и электрические свойства. Применение магнитных и электрических методов для изучения фазовых равновесий, изменений микроструктуры и превращений в сплавах.

Раздел 5. Механические свойства металлов

5.1 Упругая и пластическая деформация. Коэффициенты и модули упругости. Способы определения упругих констант. Системы скольжения в кубических и гексагональных металлах, Диаграммы деформации моно- и поликристаллов.

5.2 Механизмы пластической деформации. Теории упрочнения при деформации. Упрочнение в твердых растворах. Упрочнение второй фазы. Влияние границ зерен и субзерен на упрочнение в поликристалле. Зависимость механических свойств от состава в двойных системах.

5.3 Разрушение. Механизмы хрупкого и вязкого разрушения и строение изломов. Переход от вязкого разрушения к хрупкому. Хладноломкость. Стандартные методы механических

испытаний. Испытания на растяжение и сжатие. Истинные диаграммы деформации. Испытания на изгиб и кручение — области применения. Характеристики твердости.

5.4 Ударная вязкость. Характеристики пластичности и вязкости разрушения. Конструктивная прочность.

5.5 Жаропрочность. Испытания на ползучесть и релаксацию напряжений. Механизмы деформации и разрушения при ползучести. Длительная прочность. Требования к структуре сплавов с высокой жаропрочностью. Усталость, структурные механизмы. Влияние среды на процессы разрушения.

Раздел 6. Основы термической обработки

Классификация видов термической обработки. Гомогенизационный отжиг. Дорекристаллизационный и рекристаллизационный отжиг. Отжиг для уменьшения остаточных напряжений. Закалка, старение и отпуск. Термомеханическая обработка. Химико-термическая обработка. Сущность и назначение каждого вида термической обработки, основные закономерности изменения структуры и свойств.

Раздел 7. Методы изучения микроструктуры и фазового состояния

7.1 Световая и электронная микроскопия (растровая и просвечивающая). Методы локального химического анализа.

7.2 Рентгенографический и электроннографический фазовый анализ.

Раздел 8. Кристаллизация и строение литых сплавов

8.1 Дендритная ликвация. Анализ неравновесной кристаллизации в двойных системах с непрерывным рядом твердых растворов и эвтектического типа. Бездиффузионная кристаллизация.

8.2 Эвтектическая кристаллизация. Строение эвтектических колоний.

Раздел 9. Цветные металлы и сплавы

9.1 Алюминий, магний, титан, медь, никель, цинк, свинец, олово; их структура, свойства и области применения.

9.2 Характеристика основных групп промышленных цветных сплавов на основе алюминия, магния, титана, меди, никеля, цинка, свинца и олова. Особенности химического и фазового состава и термической обработки, свойства, маркировка по ГОСТу и области применения.

Раздел 10. Тугоплавкие металлы и сплавы

Особенности строения и свойства тугоплавких металлов. Взаимодействие с окружающей средой. Проблема хладноломкости. Направления легирования и области применения.

Рекомендованная литература

Основная литература.

1. Металловедение. В 2 томах. Под редакцией В.С. Золоторевского, М., МИСиС, 2014.

2. Колачев Б.А., Ливанов В.А., Елагин В.И. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. М., МИСиС, 2005.

3. Золоторевский. В.С. Механические свойства металлов. М., Металлургия, 1998.

Дополнительная литература.

1. Захаров А.М. Диаграммы состояния двойных и тройных систем. М.: Металлургия Год: 1990.

2. Уманский Я.С., Скаков Ю.А. Физика металлов. М., Атомиздат, 1978.

3. Новиков И.И., Розин К.М. Кристаллография и дефекты кристаллической решетки. М., Металлургия, 1990.

4. Новиков И. И. Теория термической обработки металлов. М., Металлургия, 1986.

5. Лившиц В.Г., Крапошин В.С., Линецкий Я.Л. Физические свойства металлов и сплавов. М., Металлургия, 1980.

6. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия. Авт.: Уманский Я.С., Скаков Ю.А., Иванов А.Н., Расторгуев Л.Н.. М., Металлургия, 1982.

ЧАСТЬ 2. МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЁРНЫХ МЕТАЛЛОВ

Раздел 1. Общие вопросы производства черных металлов и сплавов

История и роль металлургии в развитии цивилизации. Современное состояние и пути развития металлургического производства. Технологическая схема современного металлургического предприятия с полным технологическим циклом.

Раздел 2. Подготовка руд к плавке и производство чугуна

2.1. Сырые материалы, применяемые при производстве черных металлов. Железные руды: определение, классификация, оценка качества.

2.2. Подготовка железных руд к доменной плавке. Агломерация.

2.4. Профиль доменной печи. Основное и вспомогательное оборудование.

2.5. Доменный процесс. Восстановление оксидов в доменной печи. Образование чугуна и шлака.

Раздел 3. Производство стали

3.1. Классификация сталей. Влияние состава на качество стали. Сущность сталеплавильного производства. Способы производства стали.

3.2. Основные реакции сталеплавильного производства. Шлакообразование. Состав и свойства сталеплавильных шлаков и их роль в технологическом процессе.

3.3. Материалы, используемые при производстве стали: структура и состав металлошихты, источники кислорода, шлакообразующие материалы. Требования к шихтовым материалам и технологии, используемые для подготовки их к плавке.

3.4. Конвертерное производство стали. Общее устройство основного оборудования. Нормативный цикл конвертерной плавки.

3.7. Мартеновское производство стали. Схема работы и устройство основных элементов мартеновской печи. Схема работы и особенности технологии выплавки стали.

3.8. Электросталеплавильное производство. Классификация способов производства стали с использованием электрической энергии. Устройство дуговых электропечей.

3.9. Методы выплавки стали в основной дуговой электропечи. Переплав легированных отходов в дуговой печи. Основные периоды плавки, их задачи.

3.10. Внепечная обработка стали. Цели и методы обработки. Раскисление и легирование стали в ковше. Способы отсечки шлака по ходу выпуска металла из сталеплавильного агрегата. Применение нейтральных газов для обработки жидкой стали в ковше.

3.11. Десульфурация стали с использованием синтетических шлаков, твердых и порошкообразных смесей. Влияние обработки на качество готового металла.

3.12. Вакуумирование жидкой стали в ковше: способы и технологии, применяемое оборудование. Влияние вакуумирования на качество готового металла. Комплексная обработка жидкой стали в ковше.

3.14. Непрерывные сталеплавильные процессы: варианты технологических схем и применяемого оборудования. Современное состояние и перспективы развития.

Раздел 4. Получение слитков и литых заготовок черных металлов

4.1. Оборудование для разливки стали. Способы разливки стали. Сравнение показателей разливки сверху и сифоном.

4.2. Структура стального слитка. Кристаллическая и химическая неоднородность. Явление усадки.

4.3. Непрерывная разливка стали. Технология и преимущества непрерывной разливки. Виды машин непрерывного литья заготовок.

Рекомендуемая литература

а) основная литература

1а. Воскобойников В.Г. и др. Общая металлургия. - М.: Металлургия,1995. - 480 с.

б) дополнительная литература

1б. Металлургия чугуна / Под ред. Ю.С. Юсфина. - М.: Академкнига, 2005. – 628 с.

2б. Поволоцкий Д.Я. Рощин В.Э., Рысс М.А. и др. Электрометаллургия стали и ферросплавов. - М.: Металлургия, 1984. – 567 с.

3б. Каблуковский А.Ф., Молчанов О.Е., Каблуковская М.А. Краткий справочник электросталевара. - М.: Металлургия, 1994. - 352 с.

ЧАСТЬ 3. МЕТАЛЛУРГИЯ ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ

Раздел 1. Основы гидрометаллургических процессов (Производство золота)

1.1 Классификация металлургических процессов. Страны – основные производители золота. История создания производства золота. Источники сырья для производства благородных металлов. Формы нахождения золота в сырье.

1.2 Добыча руды и подготовка ее к переработке Гравитационные способы извлечения золота из руды. Амальгамационное извлечение золота из руды.

1.3 Цианирование золотосодержащих руд. Оборудование для проведения гидрометаллургических процессов Выделение золота из цианистых растворов. Техника безопасности при работе с цианидами.

1.4. Аффинаж драгоценных металлов. Электролиз золото-серебряных сплавов. Анодный и катодный процессы. Конструкция электролизной ванны. Основные технико-экономические показатели электролиза. Общие затраты ресурсов на производство золота из руды.

Раздел 2. Окислительная пирометаллургия (Производство меди)

2.1 История развития пирометаллургии металлургии меди. Свойства меди и основные области применения. Объемы производства. Формы нахождения меди в земной коре. Кларк меди. Медные месторождения. Добыча медной руды. Медные концентраты.

2.2 Основные химические взаимодействия при пирометаллургической переработке сырья. Обжиг и плавка медных концентратов на штейн.

2.3 Продукты окислительной плавки сульфидных концентратов и принципы работы плавильных агрегатов. Окислительное конвертирование медных штейнов. Утилизация сернистых отходящих газов.

2.4 Электролитическое рафинирование меди. Основные электрохимические реакции. Конструкция электролизной ванны.

Раздел 3. Восстановительная пирометаллургия (Производство свинца)

3.1 Сырьевая база свинцового производства и потребление свинца. Виды химических соединений свинца в сырье. Теоретические основы восстановительной свинцовой плавки.

3.2Агломерирующий окислительный обжиг концентрата. Химические реакции агломерации. Конструкция агломашины.

3.3 Химические реакции получения чернового свинца и принцип работы шахтной печи. Прямая переработка сульфидного концентрата на черновой свинец.

3.4 Рафинирование чернового свинца от разнообразных примесей. Образование и удаление промпродуктов, аккумулирующих примесей. Воздействие свинцового производства на окружающую среду.

Раздел 4. Электрометаллургия (Производство алюминия)

4.1 Свойства алюминия и его применение. Минеральные источники для производства алюминия. Химические соединения алюминия в рудах. Электрохимические процессы получения металлического алюминия.

4.2 Производство глинозема способом Байера. Выщелачивание бокситов щелочными растворами. Основные реакции, поведение примесей.

4.3 Оборудование для спекания и выщелачивания. Электролитическое получение металлического алюминия. Криолит-глиноземные расплавы.

4.4 Конструкция электролизеров и принцип их работы. Анодный эффект. Расход анодов и потребление электричества. Воздействие алюминиевого производства на окружающую среду

Раздел 5. Производство вольфрама

5.1.Классификация редких металлов. Особенности технологических схем производства редких металлов. Основные свойства вольфрама и области применения. Минералы и

месторождения вольфрама. Вскрытие шеелитовых и вольфрамитовых концентратов щелочными реагентами. Аппаратурное оформление процессов.

5.2. Переработка продуктов вскрытия концентратов, очистка растворов от примесей. Способы получения вольфрамовой кислоты, паравольфрамата аммония и вольфрамового ангидрида.

5.3. Технология производства порошка вольфрама. Производство компактного пластичного вольфрама. Получение крупногабаритных слитков вольфрама электронно-лучевой и дуговой вакуумной плавкой.

Раздел 6. Производство молибдена

6.1.Основные свойства молибдена и области применения. Минералы молибдена и месторождения. Способы переработки молибденитовых концентратов. Получение молибденитовых огарков. Аппаратурное оформление процессов.Выделение молибдена из аммиачных растворов. Получение молибденового ангидрида. Производство молибденового порошка и компактных изделий.

Раздел 7. Производство тантала и ниобия

7.1. Основные свойства тантала и ниобия, области применения. Минеральное сырье и месторождения тантала и ниобия. Переработка танталит-колумбитовых концентратов разложением плавиковой кислотой. Вскрытие лопаритовых концентратов хлорированием.

Варианты конденсации хлоридов. Аппаратурное оформление процессов.

7.2. Переработка продуктов вскрытия концентратов. Разделение тантала и ниобия и очистка от примесей. Технология получения металлического тантала и ниобия.

Раздел 8. Металлургия титана и циркония

8.1. Основные свойства и области применения. Характеристика рудного сырья. Восстановительная плавка ильменитового концентрата. Хлорирование титановых шлаков, конденсация хлоридов. Аппаратурное оформление процессов. Очистка технического тетрахлорида титана. Магниетермическое восстановление тетрахлорида титана. Йодидное рафинирование титана и получение компактного металла.

8.2. Способы вскрытия цирконовых концентратов. Варианты разделения циркония и гафния. Магниетермический и электролитический способы получения металлического циркония. Технология рафинирования циркония.

Раздел 9. Металлургия рассеянных редких металлов

9.1. Классификация рассеянных редких металлов, их характеристика. Примеры попутного извлечения рассеянных металлов в процессе переработки цветных металлов и отходов других производств. Основные свойства германия и его соединений. Области применения. Извлечение германия из различных видов сырья. Способы очистки германия от примесей.

9.2. Свойства и области применения галлия. Получение галлиевого концентрата при производстве алюминия. Получение металлического галлия и способы его рафинирования.

Раздел 10. Металлургия радиоактивных и редкоземельных металлов

10.1 Роль радиоактивных и РЗМ в современном мире и в развитии атомной энергетики; энергетическая безопасность России; требования, предъявляемые к этим металлам, особенности их производства, основные продуценты в мире и РФ. Минералы, руды и концентраты урана, кислотные и щелочные способы вскрытия, основные аппараты, техника безопасности с радиоактивными материалами. Минералы, руды и концентраты РЗМ, основные способы вскрытия, необходимость комплексного использования сырья.

10.2 Экстракционные и сорбционные способы выделения урана из пульп, современное аппаратурное оформление процессов, обезвреживание и удаление хвостов, экологические проблемы. Переработка продуктов вскрытия минерального сырья РЗМ, предварительное их разделение на отдельные группы. Экстракционные аффинажные операции для получения соединений урана ядерной степени чистоты. Основы разделительных процессов при получение индивидуальных РЗМ.

10.3 Технология получения оксидов, фторидов, хлоридов урана и РЗМ. Основы металлотермического восстановления высокоактивных металлов; получение урана РЗМ.

Рекомендуемая литература

1. А.В.Тарасов, Н.И.Уткин. Технология цветной металлургии. – М.: Металлургия, 1999.

2. В.И.Москвитин, И.В.Николаев, Б.А.Фомин. Металлургия легких металлов. – М.: Интермет Инжиниринг, 2005

3. Зеликман А.Н., Коршунов Б.Г. Металлургия редких металлов. – М.: Металлургия, 1991

4. Котляр Ю.А., Стрижко Л.С. Металлургия благородных металлов. В 2-х томах, М.: Руда и металлы, 2005

5. Редкие и рассеянные элементы. Химия и технология. Книга 1: Учебник для вузов /Коровин С.С., Зимина Г.В., Резник А.М. и др. М.: МИСиС, 1996.

6. Тураев Н.С., Жерин И.И. Химия и технология урана. М.: Издательский дом «Руда и металлы»,2006.

7. А.И.Михайличенко, Е.Б.Михлин, Ю.Б.Патрикеев Редкоземельные металлы - М.: Металлургия, 1987

ЧАСТЬ 4. ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Раздел 1. Теоретические основы литейного производства

1.1 Литейные свойства сплавов. Связь литейных свойств с физическими и физико-химическими характеристиками.

1.2 Роль поверхностных явлений в процессе производства отливок.

1.3 Взаимодействие расплавов с газами. Системы кислород - металл, водород - металл, азот - металл. Кинетика образования и развития газовых пузырей.

1.4 Неметаллические включения, их классификация. Источники и кинетика образования включений. Рафинирование шлаком, флюсами, фильтрацией, продувкой газами и др.

1.5 Виды модифицирования. Модификаторы, их классификация и свойства.

1.6 Заполнение литейных форм. Характер металлических потоков в реальных литейных формах. Принципиальные основы конструирования и расчета литниковых систем.

1.7 Тепловые условия затвердевания отливок. Использование теории кристаллизации для регулирования структуры сплава. Формирование структурных зон в отливке. Влияние теплофизических свойств литейной формы, воздействие основных параметров технологического процесса.

1.8 Ликвация в отливках. Методы борьбы с отрицательными последствиями ликваций.

1.9 Усадочные явления при затвердевании отливки. Способы выведения усадочных раковин из рабочей части отливок. Прибыли, их месторасположение и форма. Принципы расчета прибыли.

1.10 Линейная усадка отливки. Изменение пластических и прочностных свойств металла по мере его охлаждения. Трещины, возникающие при высоких температурах («горячие трещины»). Развитие в отливках усадочных напряжений и образование трещин при пониженных температурах («холодные трещины»). Методы предупреждения трещин и уменьшения остаточных напряжений.

1.11Формирование поверхности отливки, развитие пригара. Микрорельеф поверхности отливки. Пригар, классификация его видов.

Раздел 2. Технологические основы литейного производства

2.1 Изготовление отливок в разовых формах. Современные требования к конструированию и применению модельно-опочной оснастки к формовочным материалам и смесям для обеспечения высокого качества отливок, снижения их себестоимости. Регенерация отработанных смесей. Современные способы формообразования. Основные направления в развитии способов изготовления стержней.

2.2 Особенности конструкции и расчета литниково-питающих систем для получения отливок из различных сплавов в разовых формах. Контроль качества отливок.

2.3 Литье в оболочковые формы и по выплавляемым моделям. Свойства получаемых отливок и область их применения.

2.4 Литье в кокиль.

2.5 Литье под давлением. Свойства и характерные дефекты отливок.

2.6 Центробежное литье. Различные схемы технологического процесса. Особенности затвердевания отливок в поле центробежных сил.

2.7 Полунепрерывное литье слитков и полых изделий (труб). Стойкость металлических форм (кокилей, форм литья под давлением, изложниц и др.).

2.8 Специальные виды изготовления отливок: металлургических изложниц и прокатных валков.

Раздел 3. Производство чугунных и стальных отливок

3.1 Классификация промышленных железо-углеродистых литейных сплавов по составу и структуре. Первичная и вторичная кристаллизация чугуна и стали в литейных формах. Влияние химического состава, термовременной обработки, условий охлаждения, модифицирования и др. факторов на формирование структуры стальных и чугунных отливок. Современные представления о процессе графитизации. Структурные диаграммы и выбор состава чугуна для отливок. Литейные свойства. Структурно-чувствительные свойства жидкого железа и его сплавов (вязкость, поверхностное натяжение, плотность и др.) - Жидкотекучесть чугунов и сталей, основные факторы ее определяющие. Объемная и линейная усадка, свободная и затрудненная.

3.2 Отливки из конструкционных нелегированных сталей. Технология выплавки углеродистых сталей для отливок в различных плавильных агрегатах.

3.3 Отливки из конструкционных легированных сталей, их состав и свойства. Область применения. Особенности технологии выплавки сталей и изготовления отливок.

3.4 Отливки из высоколегированных сталей. Основные принципы легирования и пути снижения расхода дефицитных легирующих материалов. Выплавка высоколегированных сталей для отливок, использование отходов и лома. Коррозионностойкие, жаропрочные и жаростойкие стали. Износостойкая высоколегированная марганцем сталь. Основные служебные и технологические свойства высоколегированных сталей для отливок. Методы получения отливок с дифференцированными свойствами. Физико-химические основы получения двухслойных отливок.

3.5 Отливки из серого чугуна с пластинчатым графитом. Модифицирование и легирование чугуна. Особенности изготовления отливок из серого чугуна, обусловленные его технологическими свойствами.

3.6 Отливки из ковкого чугуна, особенности производства и области их применения. Режимы отжига отливок для получения ковкого чугуна на ферритной и на перлитной основе.

3.7 Отливки из чугуна с шаровидным графитом. Теоретические и технологические основы получения высокопрочного чугуна. Модификаторы, их свойства, способы введения. Отливки из легированных чугунов с шаровидным графитом.

3.8 Плавка чугуна для отливок. Плавильные агрегаты. Шихтовые материалы, топливо, флюсы, применяемые для выплавки чугуна. Конструкция современных высокопроизводительных вагранок и теплотехнические особенности процесса, методы его интенсификации. Контроль, регулирование и автоматизация ваграночного процесса. Выплавка чугуна в электродуговых и индукционных печах. Дуплекс-процессы, их варианты. Выплавка синтетического, модифицированного ковкого и легированного чугуна.

Раздел 4. Производство отливок из цветных металлов и сплавов с особыми свойствами

4.1 Технико-экономические условия применения отливок из сплавов цветных металлов и вопросы экономии цветного сырья. Способы получения сплавов.

4.2 Основные процессы, происходящие при сплавлении. Испарение и кипение цветных металлов и сплавов. Пути снижения потерь металла при плавке и их экономическая эффективность. Системы — водород-металл, кислород-металл, пары воды-металл и др. Взаимодействие цветных металлов и сплавов с футеровкой плавильных печей, флюсами и защитными покровами. Методы и сущность очистки металлов и сплавов. Назначение и виды

модифицирования расплавов. Методы оценки качества расплавов. Расчет шихты. Пути снижения себестоимости жидкого металла.

4.3 Особенности производства отливок из алюминиевых сплавов. Принципы легирования алюминиевых литейных и деформируемых сплавов. Промышленные марки литейных и деформируемых сплавов, их свойства и области применения. Технология плавки, рафинирования и модифицирования основных групп промышленных сплавов. Особенности производства отливок из магниевых сплавов. Основные физико-химические свойства магния. Влияние примесей. Промышленные марки литейных и деформируемых сплавов. Технология плавки, рафинирования и модифицирования основных групп промышленных сплавов. Требования к рафинирующим и покровным флюсам. Особенности изготовления отливок литьем в разовые формы, в кокиль, под давлением.

4.4 Производство отливок из медных сплавов. Основные физико-химические свойства меди, определяющие выбор технологии плавки. Промышленные марки литейных и деформируемых сплавов, их свойства и области применения. Технология плавки бескислородной меди и меди, содержащей металлические примеси. Раскисление, рафинирование и модифицирование сплавов. Особенности технологии изготовления отливок из медных сплавов.

4.5 Производство отливок из никелевых сплавов. Основные физико-химические свойства никеля, определяющие выбор технологии плавки. Промышленные марки литейных и деформируемых сплавов. Технология плавки групп промышленных сплавов. Рафинирование и модифицирование.

4.6 Производство отливок из титана и его сплавов. Физико-химические свойства титана, определяющие выбор технологии плавки и литья. Промышленные марки литейных и деформируемых сплавов. Печи для плавки титановых сплавов. Технология плавки литейных и деформируемых сплавов. Особенности литья в разовые формы, по выплавляемым моделям и в оболочковые формы.

4.7 Производство отливок из циркониевых, ниобиевых, молибденовых и других тугоплавких сплавов.

4.8 Производство отливок из цинковых сплавов. Технология литья в кокиль и под давлением.

4.9 Производство отливок из благородных металлов и их сплавов.

4.10Производство слитков. Требования, предъявляемые к слиткам цветных и редких металлов и сплавов. Литье слитков в изложницы. Литье слитков непрерывным и полунепрерывным методами. Принцип литья. Кристаллизаторы. Литейные машины. Режимы литья круглых, плоских и полых слитков. Практика литья слитков из сплавов на основе алюминия, меди, магния, титана, циркония и др. непрерывным методом.

Раздел 5. Оборудование и проектирование литейных цехов и заводов

5.1 Основные направления в развитии современного плавильного, формовочного, стержневого оборудования, машин специальных способов литья.

5.2 Автоматические литейные линии для массового, серийного производства отливок из цветных сплавов. Автоматизация подготовки исходных материалов и приготовления формовочных и стержневых смесей. Современные способы выбивки форм, стержней и очистки отливок. Автоматизация процессов выбивки и очистки.

5.3 Задачи в области проектирования литейных цехов и заводов. Выбор и обоснование объемно-планировочных, технических, архитектурно-строительных и социальных решений литейных цехов и заводов.

Рекомендуемая литература

1. Куманин И. Б. Вопросы теории литейных процессов. Из-во «Машиностроение», М., 1976, с. 216, с илл.

2. Ефимов В. А. Разливка и кристаллизация стали. Из-во «Металлургия», М., 1976, с. 552, с илл.

3. Гуляев Б. Б. Теория литейных процессов. Из-во «Машиностроение», Л., 1976, с. 216, с илл.
4. Баландин Г. Ф., Формирование кристаллического строения отливок. Из-во «Машиностроение», М., 1973, с. 288, с илл.
5. Бауман Б. В., Благов Б. И. и др. Литейное производство. Под редакцией Куманика И. Б, Из-во «Машиностроение», М., 1971, с. 318, с илл.
6. Гуляев Б. Б. Литейные процессы. Из-во «Машиностроение», Л., 1960, с. 416, с илл.
7. Лева Л. И., Кантеник С. К. Литейные сплавы. Из-во «Высшая школа», М., 1967, с. 432, с илл.
8. Рыжиков А. А. Теоретические основы литейного производства. Машгиз, М., 1961, с. 447, с илл.
9. Курдюмов А. В., Михайлов А. М. и др. Лабораторные работы по технологии литейного производства. Из-во «Машиностроение», М., 1970, с. 200, с илл.
10. Вейник А. И. Тепловые основы теории литья. Машгиз, М., 1959, с. 435, с илл.
11. Степанов Ю. ААнучина М. ГБаландин Г. Ф., Константинов Л. С. Специальные виды литья. Из-во «Машиностроение», М., 1970, с. 233, с илл.
12. Гиршович Н. Г. Кристаллизация и свойства чугуна в отливках. Из-во «Машиностроение», Л., 1966, с. 562, с илл.
13. Бунин К. П., Малиночка Я. И., Таран Ю. Н. Основы металлографии. Изд-во «Металлургия», М., 1969, с. 416, с илл.
14. Василевский И. Ф. Технология стального литья. Из-во «Машиностроение», М., 1974, с. 408, с илл.
15. Кремер М. А. Фасонное литье из легированных сталей. Из-во «Машиностроение», М., 1964, с. 227, с илл.
16. Курдюмов А. В., Пикунов М. В., Чурсин В. М. Литейное производство цветных и редких металлов. Из-во «Металлургия», М., 1972, с. 496, с илл.
17. Альтман М. Б. и др. Плавка и литье легких сплавов. Из-во «Металлургия», М., 1969, с. 680, с илл.
18. Цветное литье. Инженерная монография. Под ред. Колобнева И. Ф. Из-во «Машиностроение», М., 1966, с. 381, с илл.
19. Альтман М. Б. и др. Плавка и литье сплавов цветных металлов. Из-во «Металлургия», М., 1963, с. 524, с. илл.
20. Плавка и литье алюминиевых сплавов. Из-во «Металлургия», М., 1970, с. 416, с илл.
21. Аксенов П. Н. Оборудование литейных цехов. Из-во «Машиностроение», М., 1968, с. 447, с илл.
22. Шестопал. В. М. Проектирование машиностроительных заводов и цехов, т. 2. Проектирование литейных цехов и заводов. Из-во «Машиностроение», М., 1974, с. 287, с илл.
23. Чунаев М. В. Основы конструирования автоматических устройств литейного производства. Из-во «Машиностроение», М., 1960, с. 460, с илл.
24. Правила техники безопасности и производственной санитарии в литейном производстве машиностроительной промышленности. Из-во «Машиностроение», М., 1967, с. 112, с илл.
25. Макурин П. И. Техника безопасности в литейных цехах. Из-во «Машиностроение», М., 1965, с. 307, с илл.
26. Гини Э.Ч. Технология литейного производства: Специальные виды литья: Учебник для студ. высш. учеб. заведений / Э.Ч. Гини, А.М. Зарубин, В.А. Рыбкин; под. Ред. В.А. Рыбкина. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 352
27. Иванов В.Н. Специальные виды литья: Учебное пособие / Под ред. В.С. Шуляка. – М.: МГИУ, 2007. – 316 с.
28. Специальные виды литья: справочник / Под ред. В.А. Ефимова. – М.: Машиностроение, 1991 г. – 636 с.

29. Галдин Н.М., Чернега Д.Ф. и др. Цветное литье. Справочник. – М: Машиностроение, 1989. – 528 с.

30. Трухов А.П., Маляров А.И. Литейные сплавы и плавка. – М.: Изд. центр «Академия», 2004. – 336 с.

31. Воздвиженский В.М., Грачев В.А., Спасский В.В. Литейные сплавы и технология их плавки в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1984. – 432 с.

32. Алюминий и его сплавы в жидком состоянии / В.Н. Денисов, В.В. Пингин, Л.Т. Антонова и др. – Екатеринбург: УрО РАН, 2005. – 267 с.

33. Еланский Г.Н., Еланский Д.Г. Строение и свойства металлических расплавов. – М: МГВМИ, 2006. – 228 с.

34. Исходные расплавы как основа формирования структуры и свойств алюминиевых сплавов / И.Г. Бродова, П.С. Попель, Н.М. Барбин, Н.А. Ватолин. – Екатеринбург: КрО РАН, 2005. – 370 с.

35. Козлов Л.Я., Колокольцев В.М., Тэн Э.Б. и др. Производство стальных отливок. – М.: МИСиС, 2005.

36. Белов В.Д. и др. Производство чугунных отливок. – Магнитогорск: МГТУ, 2011.

37. Курдюмов А.В., Белов В.Д., Пикунов М.В. и др. Производство отливок из сплавов цветных металлов. – М.: МИСиС, 2005.

ЧАСТЬ 5. ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Раздел 1. Базовые понятия, классификация процессов и изделий, производимых методами ОМД

1.1. Введение, сущность обработки металлов давлением, роль методов пластической деформации в истории цивилизации, разновидности исходного материала для обработки, ОМД, изделия и «Новый продукт»

1.2. Классификация процессов ОМД по различным признакам.

Раздел 2. Физические основы пластической деформации металлов и сплавов, взаимодействие процессов ОМД с термообработкой, методы управления структурой и свойствами продукции

2.1. Структура деформируемых сталей, механизмы пластической деформации, управление структурой и свойствами стали посредством пластической деформации, диаграмма пластичности, связь со способом получения заготовки и с термообработкой.

2.2. Структура деформируемых цветных металлов и сплавов, механизмы пластической деформации, управление структурой и свойствами посредством пластической деформации, пластичность и разрушение, связь со способом получения заготовки и с термообработкой.

Раздел 3. Теоретические основы процессов обработки металлов давлением

3.1 Сопротивление деформации и напряженное состояние в точке тела, тензор напряжений, главные напряжения, интенсивность напряжений.

3.2 Деформированное состояние в точке тела, перемещения в координатных осях, главные деформации, инварианты тензора деформации, уравнение постоянства объема, скорость деформации.

3.3 Условие пластичности. Феноменологические модели среды. Соотношения между напряжениями и деформациями. Закономерности контактного деформационного трения. Локальные и интегральные показатели напряженно-деформированного состояния материала.

3.4. Методы моделирования и анализа процессов обработки металлов давлением. Принципы работы и интерфейс программы QForm.

Раздел 4. Оборудование для силового воздействия на материал. Вспомогательное оборудование, средства управления

4.1 Классификация типов оборудования. Прокатный стан, основное и вспомогательное механическое оборудование. Типы клетей. Компоненты систем управления и контроля в цехах ОМД.

4.2 Механические, гидравлические прессы, техника ударного (импульсного) действия.

4.3 Силовые установки с сочетанием вращения и возвратно-поступательного движений исполнительного элемента. Деталепрокатные станы, установки непрерывного прессования, сферодвижной штамповки

4.4 Специальная техника. Техника обработки композитов, порошков, цветных металлов и сплавов, вакуумные системы в ОМД и среды регулируемого состава.

Раздел 5. Прокатка металлов

5.1. Очаг деформации и кинематика течения металла при продольной прокатке, базовые понятия. расчёт усилия прокатки, крутящего момента и мощности, поперечная деформация.

5.2. Технологическая схема производства изделий из стали методами прокатки. Прокатные изделия. Исходные материалы и их подготовка.

5.3. Технологическая схема производства проката из цветных металлов и сплавов. Прокатные изделия. Исходные материалы и их подготовка. Использование защитных сред и капсул, прокатка в вакууме. Особенности производства продукции из тяжелых цветных сплавов, прокатка листов, полос и фольги из тугоплавких металлов, алюминиевых и медных сплавов

5.4. Температурно-скоростные условия горячей прокатки сталей. Инструмент, основные и вспомогательные материалы.

5.5. Температурно-скоростные условия горячей прокатки цветных сплавов. Инструмент, основные и вспомогательные материалы.

5.6. Технология прокатки плоского продукта с повышенными требованиями по качеству. Многовалковые системы.

5.7. Валки для сортовой прокатки стальных полос, угловых профилей, швеллеров

5.8. Производство бесшовных труб прокаткой. Основные параметры процессов прошивки и раскатки.

5.9. Производство сварных труб и полых профилей, сварочные узлы ТЭСА. Технология производства труб различного назначения.

Раздел 6. Ковка, объёмная и листовая штамповка

6.1. Ковка. Исходные материалы, классификация типов изделий, операции ковки и применяемый инструмент. Температурный режим процесса и особенности деформации металлов по схеме свободной ковки. Ротационная ковка.

6.2. Горячая объёмная штамповка сталей. Классификация поковок. Исходные материалы. Методика проектирования штамповой оснастки.

6.3. Особенности объёмной штамповки цветных металлов и сплавов. Исходные материалы. Оснастка для изотермической штамповки и деформации в режиме сверхпластичности.

6.4. Штамповка на молотах, на горизонтально-ковочных машинах, на горячештамповочных автоматах.

6.5. Разделительные и обрезные операции в цехах обработки металлов давлением.

6.6. Основы проектирования процессов листовой штамповки. Разделительные и формообразующие операции.

6.7. Методы изготовления инструмента, применение систем быстрого прототипирования при ОМД.

6.8. Особенности листовой штамповки цветных металлов и сплавов, листовая штамповка с местным подогревом, гидроформование, высокоэнергетические методы обработки.

Раздел 7. Прессование, выдавливание и волочение металлов

7.1. Схема процесса прессования, классификация классических способов прессования по кинематике течения металла. Очаг деформации при прессовании, напряженно-деформированное состояние материала при прессовании. Расчёт энергосиловых показателей процесса. Методы управления кинематикой истечения материала. Расчёты на прочность и устойчивость деталей инструмента.

7.2. Сортамент, основы технологии прессования изделий из тяжелых цветных и тугоплавких металлов. Производство труб и сложных полых профилей из алюминиевых

сплавов. Возможности непрерывных и полунепрерывных процессов прессования металлов, сплавов и шликеров.

7.3. Особенности технологии производства пресс-изделий из конструкционных, инструментальных сталей, стальных порошков и гранул. Технология изготовления матриц с защитными покрытиями.

7.4. Схема волочения. Очаг деформации и оборудование. Основы проектирования процессов волочения при производстве проволоки, теплообменных труб и кабельной продукции.

Раздел 8. Специальные методы ОМД

8.1. Осевое формование порошков и композитов в пресс-формах, изостатические способы обработки материалов.

8.2. Клиновое формование, производство пористых и электродных материалов прокаткой, импульсные высокоэнергетические методы обработки порошков, гранул, волокнистых и слоистых композитов.

8.3. Комплексные методы получения специальных материалов и изделий для машиностроения, энергетики, авиации и космоса, оборонной техники с применением давлений и пластической деформации.

Рекомендуемая литература (основная и дополнительная)

а) основная литература

1а. Суворов И. К. Обработка металлов давлением. - М.: Высшая школа, 1980. - 364 с.

2а. Королев А.А. Механическое оборудование прокатных и трубных цехов: Учебник для вузов. - М.: Металлургия, 1987. - 480 с.

3а. Балакин В.П., Ефремов Д.Б. и др. Теория обработки металлов давлением. Теория процессов ковки, штамповки и прессования: Лабораторный практикум. – М.: МИСиС, 1982 с.

4а. Е.В. Кузнецов, С.П. Галкин. Технологические процессы обработки металлов давлением: Лабораторный практикум. - М.: МИСиС, 2002, №1613.- 78 с.

5а. Моделирование процессов пластической деформации. Графический редактор QDraft, 69 с. Электронное приложение к системе QForm2d.

б) дополнительная литература

1б. Ковка и штамповка. Справочник. В 4-х томах / под ред. Е.И.Семенова.- М.: Машиностроение. 1986. – с.

2б. Щерба В.Н., Райтбарг Л.Х. Технология прессования металлов. Учебное пособие для вузов. - М.: Металлургия, 1995.- 336 с.

3б. Горохов В.С., Лебедев Л.С., Погоржельский В.И. и др. Обработка металлов давлением. - М.: МИСиС, 1988.- с.

4б. Либенсон Г.А., Лопатин В.Ю. и др. Процессы порошковой металлургии. Т. 2 Формование и спекание. – М.: МИСИС, 2002.- 320 с.

ЧАСТЬ 6. ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ И КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Раздел 1. Порошковая металлургия

а) Методы получения порошков

1.1. Значение порошковой металлургии. История развития порошковой металлургии. Основные технологические схемы производства спеченных материалов. Классификация методов получения порошков.

1.2. Механические методы получения порошков. Производство порошков измельчением твердых металлов и распылением жидких металлов и сплавов методами газового, жидкостного и центробежного распыления.

1.3. Физико-химические основы процессов, оборудование, достоинства и недостатки различных методов, области использования. Методы получения аморфных и нанопорошков механическими методами.

1.4. Получение металлических порошков методом восстановления оксидов металлов твердым и газообразным восстановителем. Физико-химические основы процессов.

1.5. Практика получения порошков железа, вольфрама, титана. Физико-химические методы получения нанопорошков. Производство металлических порошков электролизом водных растворов и расплавленных сред.

1.6. Производство порошков методом термической диссоциации карбонильных соединений. Физико-химические основы процессов, практика получения порошков. Свойства металлических порошков и методы их контроля.

б) Формование и спекание металлических порошков

1.7. Подготовка порошков. Закономерности процесса уплотнения порошков в стальной пресс-форме. Процессы, происходящие при прессовании. Зависимость плотности от давления прессования. Распределение плотности по объему брикета. Потери давления на трение. Упругое последействие. Прессование со смазкой. Брак при прессовании.

1.8. Горячее изостатическое прессование. Инжекционное прессование. Лазерная формование. Практика прессования. Прессы и пресс-формы. Варианты формования металлических порошков: горячее, изостатическое, динамическое, импульсное, вибрационное, прокатка, шликерное литье. Особенности процессов, аппаратурное оформление.

1.9. Основные закономерности процесса спекания в твердой фазе. Роль поверхностной и объемной диффузии. Усадка при спекании. Влияние технологических параметров на процесс спекания и свойства спеченных изделий. Особенности спекания многокомпонентных систем. Влияние гетеродиффузии на процесс усадки.

1.10. Основные закономерности процесса спекания многокомпонентных систем в присутствии жидкой фазы, исчезающей и присутствующей до конца изотермической выдержки при нагреве. Кинетика усадки. Факторы, влияющие на плотность и зернистость сплавов.

1.11. Пропитка как разновидность жидкофазного спекания. Физико-химические основы и закономерности процесса пропитки. Практика процессов спекания. Атмосфера спекания, печи спекания, брак при спекании.

в) Спеченные материалы с особыми свойствами

1.12. Классификация спеченных материалов. Спеченные пористые подшипники и фильтры. Основные составы. Технология получения. Физические, механические и эксплуатационные свойства.

1.13. Антифрикционные и фрикционные материалы. Основные принципы работы. Структура и свойства твердых смазок. Технология изготовления, свойства, области применения и перспективы развития.

1.14. Спеченные электротехнические материалы: для скользящих и разрывных электрических контактов, магниты. Особенности работы, виды износа. Физико-химические основы и технология производства, области применения.

1.15. Спеченные твердые сплавы, их классификация. Технологическая схема получения, свойства, области применения. Конструкционная керамика. Характеристика исходных материалов. Технологические варианты получения. Нанесение керамических покрытий. Свойства, области применения.

1.16. Жаропрочные спеченные материалы: дисперсно-упрочненные и волокнистые. Особенности технологии, основные свойства и области применения.

1.17. Алмазосодержащие спеченные материалы. Синтез алмазов. Получение алмазного инструмента с различными связками.

Раздел 2. Технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС)

2.1. Введение. Общая характеристика СВС – процессов. Типы химических реакций и основные классы продуктов в СВС. Тепловой механизм распространения волны СВС.

2.2. Структура волны безгазового горения. Расчет адиабатических температур горения и равновесных концентраций продуктов синтеза.

2.3. Типы кинетических законов, их физико-химическое объяснение и влияние на структуру волны СВС (узкие и широкие зоны реакции). Принципы экспериментального определения эффективных кинетических параметров процесса СВС.

2.4. Экспериментальные методы измерения скорости горения. Локальные и глобальные значения скорости распространения волны СВС. Определение температурных профилей процесса.

2.5. Формирование макроструктуры продукта (расширение, усадка). Формирование микроструктуры. Формирование кристаллической структуры продуктов.

2.6. Технология синтеза заготовок и порошков. Технология силового СВС-компактирования. Принципиальные схемы проведения процесса. Основные технологические параметры и их влияние на структуру и свойства продуктов горения.

2.7. СВС - металлургия. Технология СВС - сварки. Новые материалы, полученные по технологиям СВС. Структура и свойства синтетических твердых инструментальных материалов (СТИМ). Функциональные градиентные материалы (ФГМ).

Раздел 3. Функциональные и наноструктурные покрытия

3.1. Вводная часть. Общая классификация методов и типов покрытий. Газотермические методы. Исходные материалы для нанесения покрытий. Технология плазменного напыления.

3.2. Электродуговое, детонационное, газопламенное напыление, методы напыления с использованием сверхзвуковых сопел. Наплавочные методы. Общие особенности. Плазменная и лазерная наплавка.

3.3. Методы электроискровой обработки и термореакционного упрочнения. Вакуумные методы нанесения покрытий. PVD и CVD технология.

3.4. Технология термического испарения. Способы нагрева. Варианты активации. Взаимодействие ионов с поверхностью твёрдого материала. Физические основы метода магнетронного распыления.

3.5. Физические основы метода катодно-дугового испарения. Химическое осаждение из газовой фазы. Теоретические основы метода. Классическая и улучшенные технологии.

3.6. Методы определения толщины покрытий. Методы экспресс-контроля адгезионной прочности покрытий. Определение химического и фазового состава покрытий

3.7. Спектроскопические методы исследования поверхности. Энегро-дисперсионная спектроскопия. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия, спектроскопия энергетических потерь электронов. Рамановская и ИК-спектроскопия. Оптическая эмиссионная спектроскопия.

Рекомендуемая литература (основная и дополнительная)

а) основная литература

1а. Процессы порошковой металлургии. Т.1, Т.2. Производство металлических порошков: Учебник для вузов / Либенсон Г.А., Лопатин В.Ю., Комарницкий Г.В. и др. - М.: МИСиС, – 2002 г. – 688 с.

2а. Кипарисов С.С., Либенсон Г.А. Порошковая металлургия. – М.: Металлургия, 1991. – 432 с.

3а. Аникин В.Н., Блинков И.В., Челноков В.С. и др. Теоретические основы спекания порошков: кинетика спекания реальных материалов: курс лекций. М.: Изд. дом МИСиС, 2014. 108 с.

4а. Левинский Ю.В., Лебедев М.П. Теоретические основы процессов спекания металлических порошков. М.: Научный мир, 2014. 372 с.

5а. Нарва В.К. Технология и свойства порошковых материалов и изделий из них. Конструкционные материалы. Курс лекций. М.: Изд. дом МИСиС, 2010 г. 122 с.

6а. Нарва В.К. Технология порошковых материалов и изделий. Курс лекций. М.: Изд. дом МИСиС, 2012 г. 170 с.

7а. Панов В.С., Чувилин А.М., Фальковский В.А. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них. М.: Изд. дом МИСиС, 2004 г. 460 с.

8а. Костиков В.И. Физико-химические основы технологии композиционных материалов: теоретические основы процессов создания композиционных материалов. Учебное пособие. М.: Изд. дом МИСиС, 2011. 285 с.

9а. Костиков В.И. Физико-химические основы технологии композиционных материалов: директивная технология композиционных материалов. Учебное пособие. М.: Изд. дом МИСиС, 2011. 220 с.

10а. Левашов Е.А., Рогачев А.С., Юхвид В.И., Боровинская И.П. Физико-химические и технологические основы самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Учебное пособие. М., Изд-во «Бином», 1999, 176 с.

11а. Левашов Е.А., Рогачев А.С., Курбаткина В.В., Максимов Ю.М., Юхвид В.И. Перспективные материалы и технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Учебное пособие. Издательский дом МИСиС, 2011, 377 с.

12а. Амосов А.П., Боровинская И.П., Мержанов А.Г. Порошковая технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза материалов. Учебное пособие/ под научной редакцией В.Н. Анциферова, М., Машиностроение-1, 2007, 567 с.

13а. Кудинов В.В., Бобров Г.В. Нанесение покрытий напылением. Теория технология и оборудование. М.: Металлургия, 1992 г., 432 с.

14а. Л. Балдаев. Газотермическое напыление. М: Маркет ДС, 2007, 344 с.

15а. Берлин Е.В., Сейдман Л.А. Ионно-плазменные процессы в тонкопленочной технологии – М.: Техносфера, 2010. - 544 с.

16а. Наноструктурные покрытия. Под ред. Кавайлеро, Д. де Хоссона. М.: Техносфера, 2011 – 752 с.

17а. Гитлевич А.Е., Михайлов В.В., Парканский Н.Я. и др. Электроискровое легирование металлических поверхностей // Кишинев: Штиинца, 1985, 195 с.

18а. В.Г. Сыркин. CVD-метод. Химическое паровое осаждение. Наука. 2000. 458 с.

б) дополнительная литература

1б. Роман О.В., Габриелов И.П. Справочник по порошковой металлургии: порошки, материалы, процессы. Минск: Беларусь, 1988. 175 с.

2б. Металлические порошки и порошковые материалы / Под. ред. Левинского Ю.В. М.: Экомет, 2005. 520 с.

3б. Гегузин Я.Е. Физика спекания. М.: Наука, 1984. 312 с.

4б. Герман Р. Энциклопедия порошковой металлургии. М.: Издательский дом «Интеллект», 2009. 336 с.

5б. Ермаков С.С., Вязников Н.Ф. Порошковые стали и изделия. М.: Машиностроение, 1990 г. 240 с.

6б. Костиков В.И., Варенков А.Н. Композиционные материалы на основе алюминиевых сплавов, армированных углеродными волокнами. М.: Интермет Инжиниринг, 2000. 260 с.

7б. Рогачев А.С., Мукасьян А.С. Горение для синтеза материалов: введение в структурную макрокинетику, М., Физматлит, 2012, 400 с.

8б. Мержанов А.Г. Процессы горения и синтез материалов. / Под ред. А.Е.Сычева. Черноголовка, Изд-во ИСМАН, 1998. 512 с.

9б. Левашов Е.А., Рогачев А.С., Барзыкин В.В., Шкадинский К.Г. и др. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез: теория и практика Черноголовка, Изд-во «Территория», 2001. 432 с.

10б. А. Пузряков. Теоретические основы технологии плазменного напыления. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008 г., 360 с.

11б. Кадыржанов К.К., Комаров Ф.Ф., Погребняк А.Д. Ионно-лучевая и ионно-плазменная обработка материалов. – М.: Издат-во МГУ, 2005. – 640 с.

12б. Берлин Е.В., Сейдман Л.А. Получение тонких плёнок реактивным магнетронным распылениям – М.: Техносфера, 2014. - 256 с.

ЧАСТЬ 7. ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ

Раздел 1. Основы теории коррозии металлов и сплавов в жидких средах

1.1 Химический и электрохимический механизм растворения металлов. Гомогенный и гетерогенный пути протекания электрохимической коррозии металлов. Коррозионные гальванические элементы и причины их возникновения. Схемы протекания, характерные особенности и контролирующие стадии электрохимических коррозионных процессов.

1.2 Анодные процессы при электрохимической коррозии металлов. Термодинамические основы. Классификация анодных процессов. Диаграммы Пурбе. Принципы построения и использование их при анализе коррозионных процессов. Стадийный механизм анодного растворения металлов. Признаки многостадийности. Кинетика многостадийного растворения. Влияние природы анионов на кинетику и механизм анодного растворения.

1.3 Катодные процессы при электрохимической коррозии металлов. Термодинамика, схема и механизм катодного процесса кислородной деполяризации. Характерные особенности коррозии металлов с кислородной деполяризацией, их взаимосвязь с механизмом катодного процесса.

1.4 Термодинамика, схема и механизм протекания катодного процесса водородной деполяризации. Перенапряжение выделения водорода. Теории перенапряжения. Характерные особенности коррозии металлов с водородной деполяризацией, их взаимосвязь с механизмом катодного процесса. Условия протекания и механизм катодного процесса с кислородно-водородной деполяризацией.

1.5 Расчет электрохимического коррозионного процесса. Показатели электрохимической коррозии металлов. Аналитический расчет скорости коррозии. Идеальные и реальные (экспериментальные) поляризационные кривые. Методы их построения. Графический расчет короткозамкнутых двух- и многоэлектродных систем. Защитный, разностный и отрицательный разностный эффекты. Многоэлектродные системы с заметным омическим сопротивлением. Потенциалы системы «пленка- пора».

1.6 Пассивность металлов. Определение и характеристики пассивного состояния. Теории пассивного состояния. Кинетика анодных процессов при пассивации металлов, анодная поляризационная кривая пассивирующегося металла и ее характерные особенности. Условия устойчивости пассивного состояния. Повышение устойчивости пассивного состояния катодным легированием, аморфизацией поверхности. Практическое значение пассивности металлов.

1.7 Растворение сплавов. Гетерогенные сплавы и гомогенные сплавы. Растворение гомогенных сплавов в активном и пассивном состояниях. Механизм избирательной коррозии сплавов. Пассивирующиеся сплавы с катодными присадками.

1.8 Локальные (местные) виды коррозии: точечная (питтинговая) коррозия пассивирующихся металлов и сплавов, щелевая коррозия, межкристаллитная коррозия.

1.9 Коррозионно-механическое разрушение металлов: коррозионное растрескивание и коррзионная усталость; наводораживание, водородная коррозия и охрупчивание металлов; коррозионная кавитация и коррозионная эрозия.

Раздел 2. Методы защиты металлов от коррозии в жидких средах

2.1 Уменьшение содержания деполяризатора в электролитах: термическая деаэрация, десорбционное, химическое и электрохимическое обескислороживание воды.

2.2 Ингибиторы коррозии металлов: классификация, эффективность и механизм действия. Теоретические основы подбора и практика применения ингибиторов коррозии в кислых, нейтральных и щелочных растворах электролитов.

2.3 Электрохимическая защита: катодная протекторная защита, катодная защита внешним, анодная защита внешним током. Принципы и эффективность защитного действия.

2.4 Рациональное конструирование. Основные принципы конструирования и технологии сборки конструкций, влияние элементов конструкции и технологии их сборки на коррозионные процессы.

Раздел 3. Основы теории коррозии металлов и сплавов в газовых средах

3.1 Термодинамическая возможность газовой коррозии металлов. Продукты газовой коррозии и их термодинамическая устойчивость.

3.2 Оксидные пленки на металлах. Адсорбция окислителя на поверхности металлов, образование первичных оксидных пленок. Классификация пленок по толщине, защитной способности, морфологическому строению, фазовому и химическому составу, электропроводности и механизму массопереноса.

3.3 Кинетические закономерности и механизм роста термических оксидных пленок на металлах. Химический и электрохимический механизм окисления металлов. Линейный закон окисления: условия проявления, стадии роста пористой оксидной пленки, зависимость скорости роста от температуры. Параболический закон окисления: условия проявления, стадии роста сплошной (защитной) оксидной пленки. Причины отклонения кинетического уравнения роста пленки от параболической зависимости. Влияние температуры на скорость роста. Ионно-электронная теория высокотемпературного параболического окисления металлов. Кинетические закономерности образования многослойных и многофазных оксидных пленок. Кинетические закономерности роста тонких оксидных пленок. Катастрофическое окисление металлов. Влияние структурного состояния сплава и характеристик газовой среды на защитную способность оксидных пленок.

3.4 Теоретические основы повышения жаростойкости снижением дефектности кристаллической решетки оксида (теория Вагнера-Хауффе). Теоретические основы повышения жаростойкости сплавов при образовании на поверхности основного металла оксидных пленок легирующих компонентов или оксидных пленок типа шпинелей. Высокотемпературная пассивность металлов и сплавов. Механизм пассивирования и его связь с теориями жаростойкого легирования.

Раздел 4. Методы защиты металлов и сплавов от коррозии в газовых средах

4.1 Защитные атмосферы: состав атмосфер, основные принципы подбора, условия применения, влияние состава атмосфер на состояние поверхности изделий в процессе нагрева.

4.2 Защитные покрытия: классификация, принципы и методы получения.

4.3 Методы уменьшения окисления металлов и сплавов при нагреве в процессе технологических переделов.

Рекомендуемая литература

а) основная литература

1 Н.П. Жук. Курс теории коррозии и защиты металлов, Учебное пособие для вузов. Изд. второе, стереотипное. Изд-во «Альянс», М.: 2006, 472 с.

2 Томашов Н.Д., Чернова Г.П. Теория коррозии и коррозионностойкие конструкционные сплавы. М.:Металлургия, 1993, 416 с.

3 Б.К. Опара. Инженерная защита металлопродукции, конструкций и сооружений. Обработка коррозионной среды. Курс лекций, №333. М.: изд-во «Учеба», 2005, 127 с.

4 Б.К. Опара. Инженерная защита металлопродукции, конструкций и сооружений. Электрохимическая защита и рациональное конструирование. Курс лекций, №746. М.: изд. дом «МИСиС», 2008, 125 с.

5 Р. Ангал. Коррозия и защита от коррозии. Изд. дом Интеллект. Долгопрудный, 2013, 343 с.

б) дополнительная литература

1 Исаев Н.И. Теория коррозионных процессов. М.:Металлургия, 1997, 361 с.

2 И. В.Семенова, Г.М. Флорианович, А.В.Хорошилов. Коррозии и защита от коррозии. М. Физматлит, 2002, 327 с.

ЧАСТЬ 8. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Раздел 1. Межатомные взаимодействия и электронное строение твердого тела

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

1.2. Электронное строение твердых тел с различным типом связи. Модель свободных электронов для металлов. Вырожденный электронный газ. Плотность состояний. Поверхность Ферми. Зонная теория твердых тел, энергетический спектр электронов в кристалле, деление тел на проводники, полупроводники и диэлектрики.

Раздел 2. Атомная структура твердых тел

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

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

Раздел 3. Дефекты кристаллического строения

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

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

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

Раздел 4. Фазы и фазовые равновесия в материалах

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

4.2. Равновесие фаз в многокомпонентных системах. Фазовые переходы I и II рода. Правило фаз. Диаграммы состояния двойных и тройных систем с непрерывным рядом твердых растворов, с эвтектическими, перитектическими и монотектическими равновесиями, с конгруэнтно и инконгруэнтно плавящимися промежуточными фазами, с полиморфизмом компонентов. Использование геометрической термодинамики для анализа диаграмм состояния.

Раздел 5. Диффузия

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

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

Раздел 6. Кристаллизация

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

6.2. Отклонения от равновесия при кристаллизации. Влияние скорости охлаждения и градиента температуры расплава на микроструктуру. Концентрационное переохлаждение. Ячеистая и дендритная форма роста кристаллов. Дендритная ликвация. Образование метастабильных фаз при кристаллизации. Бездиффузионная кристаллизация.

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

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

Раздел 7. Фазовые превращения в твердом состоянии

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

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

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

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

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

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

Раздел 8. Структурные превращения в твердом состоянии

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

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

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

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

Раздел 9. Способы воздействия на структуру и свойства материалов

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

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

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

9.1.3. Закалка без полиморфного превращения.

9.1.4. Закалка с полиморфным превращением (закалка на мартенсит). Изменение свойств при закалке на мартенсит. Критическая скорость охлаждения при закалке, прокаливаемость.

Способы закалки: в одной охлаждающей среде, в двух средах, ступенчатая, изотермическая (бейнитная), с обработкой холодом, поверхностная.

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

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

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

9.3. Химико-термическая обработка. Изменения состава и структуры при химико-термической обработке. Однофазная и многофазная диффузионные зоны. Связь строения диффузионного слоя с диаграммой состояния. Диффузионное насыщение неметаллами и металлами. Диффузионное удаление элементов.

9.4. Порошковая металлургия, основные технологические этапы.

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

Раздел 10. Пластическая деформация и разрушение. Механические свойства материалов

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

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

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

10.3. Хрупкое и вязкое разрушение. Механизмы зарождения трещин. Распространение трещин при при хрупком и вязком разрушении. Критерии вязкости разрушения. Строение изломов. Переход от хрупкого разрушения к вязкому. Порог хладноломкости. Природа хладноломкости металлов с ОЦК-решеткой. Способы борьбы с хладноломкостью.

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

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

Раздел 11. Взаимодействие материалов с окружающей средой

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

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

Раздел 12. Физические свойства материалов

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

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

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

12.4. Теплопроводность материалов. Кинетическая теория теплопроводности. Время и длина свободного пробега. Решеточная (фононная) теплопроводность; фонон-фононное рассеяние, рассеяние фононов на дефектах кристаллической решетки и примесях, изотопическое рассеяние. Электронная теплопроводность; рассеяние электронов проводимости на фононах, примесях и дефектах.

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

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

Раздел 13. Методы исследования и контроля структуры и свойств материалов

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

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

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

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

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

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

Раздел 14. Основные классы материалов в металлургии

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

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

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

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

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

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

Рекомендуемая литература

1. Лившиц Б.Г. Металлография. – М.: Металлургия, 1990. – 336 с.

2. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. – М.: Наука, 1978. – 792 с.

3. Захаров А.М. Диаграммы состояния двойных и тройных систем. - М.: Металлургия, 1990. – 240 с.

4. Новиков И.И., Розин К.М. Кристаллография и дефекты кристаллической решетки. – М.: Металлургия. 1990. – 336 с.

5. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия. / Уманский Я.С., Скаков Ю.А., Иванов А.Н., Расторгуев Л.Н. – М.: Металлургия, 1982. – 632 с.

6. Жуховицкий А.А., Шварцман Л.А. Физическая химия. – М.: Металлургия, 1976. – 350 с.

7. Лившиц Б.Г., Крапошин В.С., Линецкий Я.Л. Физические свойства металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1980. – 320 с.

8. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов. – М.: Металлургия, 1986. – 480 с.

9. Уманский Я.С, Скаков Ю.А. Физика металлов. – М.: Атомиздат, 1978. – 352 с.

10. Штремель М.А. Прочность сплавов. – М.: МИСиС, ч.1 Дефекты решетки, 1999. – 384 с. ч.2 .Деформация, 1997. – 527 с.

11. Бокштейн С.З. Строение и свойства металлических сплавов. – М.: Металлургия, 1971. – 496 с

12. Золотаревский В.С. Механические свойства металлов. – М.: МИСиС. 1998, 400 с.

13. Бернштейн М.Л., Займовский В.А. Механические свойства металлов. – М.: Металлургия. 1979. – 496 с.

14. Физическое металловедение. / Ред. Р.У.Кан и П. Хаазен. - в 3-х томах. – М.: Металлургия. 1987.

15. Орлов А.В., Перевезенцева А.И., Рыбин В.П. Границы зерен в металлах. – М.: Металлургия, 1980. – 310 с.

17. Кривоглаз М.А. Теория рассеяния рентгеновских лучей и тепловых нейтронов реальными кристаллами. – Киев: Наукова Думка, 1953. – 408 с.

18. Иванов А.Н., Поляков А.М. Анализ несовершенств кристаллического строения по профилю и интенсивности рентгеновских отражений: Учебное пособие. – М.: МИСиС, 2002. – 78 с.

ФИО подпись