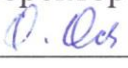


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»



УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
 / Д.С. Гуц /
«10» марта 2023 г.

ПРОГРАММА
кандидатского экзамена по научной специальности
2.6.2. Metallurgy of black, colored and rare metals

Красноярск 2023

ПРОГРАММА-МИНИМУМ
кандидатского экзамена по научной специальности
2.6.2 «Металлургия черных, цветных и редких металлов»
по техническим наукам

Введение

Настоящая программа базируется на следующих разделах: теоретические основы металлургии, производство черных металлов, производство цветных металлов, ресурсосбережение и комплексное использование сырья в металлургии.

Содержание программы соответствует паспорту специальности 2.6.2 – металлургия черных, цветных и редких металлов

1. Теоретические основы металлургии

1.1. Физико-химические основы металлургических процессов

Строение вещества

Основы теории твердого тела. Кристаллическая структура простых и сложных оксидных фаз. Дефектность структуры кристаллов и ее влияние на физико-химические характеристики веществ.

Термодинамическая система и термодинамические параметры

Функции состояния. Термодинамическое равновесие. Законы термодинамики. Термодинамические потенциалы (внутренняя энергия, энтальпия, энтропия, энергия Гиббса). Идеальные и реальные растворы. Термодинамическая активность (выбор стандартного состояния, методы определения, применение). Расчеты равновесия в растворах. Фазовые переходы. Диаграммы фазового равновесия двухкомпонентных систем. Диаграммы состояний Me-O, Me-S. Образование новых фаз. Растворы газов в металлах.

Термодинамика поверхностных явлений. Поверхностное натяжение, методы его определения. Адгезия и когезия. Адсорбция.

Кинетика металлургических реакций

Общая характеристика гетерогенных металлургических реакций. Определение важнейших кинетических характеристик: порядка реакции, энергии активации, предэкспоненциального множителя. Признаки лимитирующих стадий. Понятие катализа.

1.2. Теория пирометаллургических процессов

Строение и свойства жидких металлов

Жидкое состояние как промежуточное между твердым и газообразным. Ближний и дальний порядок. Близость свойств жидких металлов при небольших перегревах над линией ликвидус к свойствам металлов в твердом состоянии. Термодинамика процессов плавления и кристаллизации.

Строение жидких шлаков

Теории строения шлаков. Химические и физические свойства шлаков. Основность и способы ее выражения. Способы расчета активности в шлаковых системах.

Поверхностная энергия простых и сложных оксидных расплавов. Поверхностно-активные компоненты. Структуры кремнекислородных и других сложных анионов.

Твердофазные процессы

Точечные дефекты твердых тел. Механизм и термодинамика образования точечных дефектов. Нестехиометрия кристаллов. Твердые растворы металлов и оксидов, изоморфные примеси.

Диффузия в твердых телах. Температурная зависимость коэффициентов диффузии. Диффузия как одна из стадий твердофазных процессов.

Твердофазные химические реакции, их классификация. Методы расчета конечного состояния. Экспериментальные методы изучения твердофазных процессов.

Кинетика процессов в твердых телах. Образование и рост гомогенных зародышей. Модель Колмогорова - Авраами - Ерофеева. Кинетика гетерогенного зарождения, модель Мак-Кевана. Диффузионно-кинетический режим роста фазы. Уравнение изотермической кинетики, модель Яндера.

Общая теория окислительно-восстановительных реакций в твердом теле. Модели Вагнера.

Основы теории спекания. Основные механизмы твердофазного спекания. Особенности спекания эвтектических систем. Особенности жидкофазного спекания.

Основы процессов восстановления

Термодинамика восстановления оксидов. Особенности восстановления монооксидом углерода, водородом и твердым углеродом. Реакция газификации углерода и ее влияние на восстановительные процессы. Особенности восстановления элементов из сложных соединений и растворов. Механизм и кинетика процессов восстановления. Лимитирующая стадия процесса. Внешняя диффузия газа. Адсорбция. Диффузия газа в порах куска. Диффузия газа через слой продукта восстановления. Химическое взаимодействие. Зародышеобразование. Режимы процесса восстановления. Критерии режимов. Математические модели процесса восстановления кускового материала газом. Особенности восстановления газом расплава. Кинетика восстановления твердого материала и расплава твердым восстановителем. Металлотермия. Влияние различных факторов на скорость восстановления.

Окисление металлов и сульфидов, окислительное рафинирование и раскисление

Основы кинетики окислительных процессов. Окисление сульфидов и взаимодействие сульфидов и оксидов. Термодинамика окислительного рафинирования. Термодинамика раскисления, требования к раскислителям.

Процессы взаимодействия в системах металл-шлак

Вязкость жидких металлов и сплавов. Диффузионная подвижность компонентов в жидких металлах и сплавах. Внешний и внутренний массоперенос. Эффективный и пограничный слой. Конвективная диффузия в жидкости. Электропроводность жидких металлов и шлаков. Явления смачивания и растекания на межфазных границах.

Расслаивание в жидких сульфидно-оксидных системах. Растворимость металлов и сульфидов в шлаках. Кинетика ликвации несмешивающихся фаз.

Основы процессов испарения и конденсации

Очистка металлов ректификацией. Кристаллизационные методы очистки металлов.

Плавкость солевых систем

Основные типы диаграмм в бинарных системах. Простейшие типы диаграмм тройных систем. Тройная система с инконгруэнтно плавящимся двойным соединением. Тройные взаимные системы.

Физико-химические свойства расплавленных солей. Объемные свойства, вязкость, поверхностные явления, электропроводность и перенос ионов. Характеристики этих свойств, методы определения, температурные и концентрационные зависимости, их трактовка.

Термодинамические свойства расплавленных солей

Парциальные и интегральные термодинамические характеристики, связь между ними, уравнение Гиббса-Дюгема. Активность и коэффициент активности, избыточные функции. Методы определения давления пара. Определение парциальных термодинамических свойств по результатам измерений электродвижущих сил. Химические цепи. Концентрационные цепи, диффузионные потенциалы в расплавленных солях. Электроды сравнения для расплавленных солей.

Взаимодействие расплавленных солей с металлами и газами

Растворимость металлов в солях, методы изучения, природа растворов. Свойства систем металл-соль. Термодинамика равновесия металл-соль. Растворимость газов в расплавленных солях, природа этих растворов.

1.3. Теория гидрометаллургических процессов

Термодинамика и кинетика процессов выщелачивания

Термодинамика простого растворения ионных кристаллов в воде.

Оценка термодинамической вероятности протекания процессов выщелачивания. Методы расчета изменения свободной энергии Гиббса и константы равновесия для реакций растворения металлов, оксидов, сульфидов, реакций с образованием твердой фазы. Принципы построения диаграмм потенциал — рН и их использование для термодинамического анализа равновесий в системах, содержащих твердые фазы и растворы.

Кинетика и механизм процессов выщелачивания. Стадии выщелачивания, внешнEDIффузионная, внутрEDIффузионная и кинетическая области протекания процесса. Обобщающее выражение для скорости взаимодействия в системе твердое — жидкость.

Закономерности протекания процесса во внешнEDIффузионной области. Основные положения теории массопередачи. Теория пограничного слоя жидкости, примыкающего к поверхности твердого тела. Молекулярная и конвективная диффузия. Признаки протекания процесса во внешнEDIффузионной области.

Закономерности протекания процесса во внутрEDIффузионной области.

Интенсификация процессов выщелачивания путем предварительной активации растворимого вещества или воздействия на пульпу электромагнитными, ультразвуковыми и акустическими колебаниями.

Особенности механизма и обобщенное уравнение скорости процесса с участием газообразного реагента. Выщелачивание оксидов в растворах щелочей и кислот. Окислительное выщелачивание сульфидов. Использование бактерий для выщелачивания сульфидов, оксидов и других минералов.

Сорбционные и экстракционные процессы

Общая характеристика процессов ионного обмена. Основные характеристики сорбентов. Ионообменное равновесие. Изотермы ионного обмена. Кинетика и механизм ионного обмена. Гелевый и пленочный типы кинетики. Динамика сорбции в колонках. Особенности процессов сорбции из пульп и сорбционного выщелачивания. Разделение элементов методом ионообменной хроматографии.

Общая характеристика процессов экстракции, примеры их использования. Основные типы органических экстрагентов и разбавителей. Количественные характеристики экстракции. Типы экстракционных процессов. Кинетика экстракции и реэкстракции.

Выделение металлов из растворов в форме труднорастворимых соединений

Классификация методов осаждения. Факторы, влияющие на растворимость труднорастворимых соединений.

Зависимость рН гидратообразования от произведения растворимости и активности ионов металла. Закономерности осаждения основных солей.

Зависимость рН выделения сульфида от значения активности иона металла в растворе, от произведения растворимости сульфида и общей концентрации сульфидной серы в растворе.

Закономерности соосаждения малорастворимых соединений. Изоморфное, адсорбционное соосаждение. Влияние условий осаждения на структуру образующихся осадков. Старение осадков.

Кристаллизационные методы выделения соединений из растворов

Системы вода-соль, вода-соль(1)-соль(2)м, треугольная и прямоугольная диаграммы для изображения трехкомпонентных солевых систем. Степени свободы и типы трехкомпонентных систем с общим ионом.

Фазовая диаграмма растворимости, способы создания пересыщенных растворов, факторы и количественные характеристики их устойчивости.

Механизм образования зародышей кристаллизации. Гомогенное и гетерогенное зародышеобразование. Механизм роста кристаллов. Кинетика, стадии процесса, уравнение скорости массовой кристаллизации. Поведение примесей при осаждении и кристаллизации.

Цементация

Понятие о выделении металлов цементацией. Термодинамические, кинетические закономерности и механизм цементации. Побочные процессы при цементации.

Осаждение металлов из растворов газами восстановителями

Термодинамика процесса осаждения металлов газами-восстановителями. Особенности термодинамики процесса при выделении металла из аммиачных растворов. Кинетика и механизм восстановления ионов металлов водородом до элементарной формы.

1.4. Теория электрометаллургических процессов

Электрохимическая термодинамика

Электродвижущие силы и электродные потенциалы

Возникновение скачка потенциалов и двойного электрического слоя на границе металл—электролит. Теория строения двойного электрического слоя. Электрокапиллярные явления. Гальванические элементы. Термодинамика гальванического элемента. Классификация электродов. Электроды сравнения. Электродные потенциалы, ряд напряжений металлов.

Неравновесные процессы. Кинетика электродных процессов

Катодные и анодные процессы, основные законы электролиза. Характеристики электролиза, совместный разряд ионов (термодинамическая и кинетическая оценка).

Поляризация электродов, основные виды поляризации. Электрохимическая поляризация. Концентрационная поляризация. Фазовая поляризация.

Особенности электрохимии расплавленных сред

Растворимость в расплавленных солях металлов и газов. Термодинамика гальванических элементов в расплавленных солях. Электроды сравнения, потенциал электрода и ряд напряжений в расплавленных солях. Кинетика электродных процессов в расплавах. Катодный выход по току и потери металла. Механизм потери металла. Выход по току при совместном разряде ионов на катоде. Анодный эффект, сущность и механизм возникновения.

Особенности процессов на электродах в расплавленных солях. Основы высокотемпературной электрометаллургии цветных металлов.

1.5. Основы теории металлургической теплотехники

Техническая термодинамика

Первый и второй законы термодинамики. Термодинамика рабочего тела. Термодинамика открытых систем.

Механика жидкостей и газов

Статика и динамика идеальной жидкости. Динамика реальной жидкости. Режимы движения. Уравнения Навье-Стокса и Бернулли и их использование для расчета напорных трубопроводов и систем эвакуации продуктов сгорания. Элементы теории пограничного слоя. Турбулентность пристеночная и свободная.

Струйное движение газов. Свободные, частично ограниченные и ограниченные струи. Струи изотермические и не изотермические. Элементы теории факела.

Газодинамика плотного и взвешенного слоев. Особенности движения газов; общая постановка задачи; расчет полей скоростей и давлений в слое.

Основы теории подобию и моделирование металлургических печей

Множители преобразования и связь между ними для потока реальной жидкости. Гидродинамическое и тепловое подобие. Критерии и связь между ними. Основная теорема подобия. Моделирование движения газов в печах.

Тепло- и массообмен

Стационарные и нестационарные процессы теплообмена. Основные дифференциальные уравнения переноса тепла и массы. Молекулярная теплопроводность и диффузия. Тройная аналогия. Краевые условия.

Конвективный тепло- и массообмен. Вынужденная и естественная конвекция. Основные уравнения конвективного тепло- и массопереноса для вынужденного и свободного движения. Использование теории подобия для исследования процессов конвективного тепло- и массопереноса.

Передача тепла теплопроводностью в твердых телах. Дифференциальное уравнение теплопроводности и постановка общей задачи теплопроводности. Теплопроводность при стационарном и нестационарном режиме. Теоретические основы нагрева металла.

Радиационный теплообмен и его значение для работы металлургических печей. Радиационный теплообмен в диатермической и поглощающей (излучающей) среде и его расчет. Учет селективности радиационных свойств тел, участвующих в теплообмене.

Нагрев, плавление и затвердевание металла

Процессы, протекающие при нагреве металла. Нагрев термически тонких и термически массивных тел. Расчеты нагрева металла.

Физическая картина и особенности теплообмена при протекании процессов плавления и затвердевания металла. Затвердевание расплава на теплоотводящей поверхности. Особенности тепловой работы установок непрерывной разливки стали. Плавление при мгновенном удалении расплава.

Нагрев и плавление тел в расплаве.

2. Технология производства черных металлов

2.1. Производство первичного металла

Подготовка сырья к плавке

Классификация железорудных материалов. Месторождения руд черных металлов. Флюсы. Топливо. Техногенное сырье.

Схема подготовки железорудных материалов к плавке. Отличия в подготовке бедных и богатых руд. Дробление и измельчение. Обогащение руд. Грохочение. Показатели обогащения.

Окусование железорудных материалов. Агломерация железных руд. Физико-химические основы агломерации. Удаление воды и конденсация влаги. Разложение карбонатов и гидратов. Твердофазные химические реакции. Плавление шихты и кристаллизация расплава. Формирование агломерата. Поведение попутных элементов. Технология агломерационного производства. Ресурсосбережение. Рециклинг материалов. Металлургические свойства агломерата.

Получение железорудных окатышей. Физико-химические процессы при формировании сырых окатышей и их упрочнении. Поведение попутных элементов. Технология производства окатышей. Ресурсосбережение. Металлургические свойства окатышей. Энергозатраты и выбросы в окружающую среду при производстве окатышей.

Конструкция агрегатов для окускования железорудных материалов. Коксование углей и формирование кокса. Качество кокса. Выбросы в окружающую среду при производстве кокса.

Производство чугуна в доменных печах

Доменная печь. Основные процессы. Нагрев и разложение шихты.

Процессы восстановления в доменных печах. Термодинамика восстановления железа. Особенности восстановления марганца, кремния, фосфора, ванадия, хрома, титана, свинца. Поведение легковосстановимых элементов. Поведение цинка и щелочей в доменной печи. Кинетика восстановления в доменных печах и влияние различных факторов на скорость восстановления. Показатели развития процесса восстановления в доменных печах.

Управление доменной плавкой. Эксплуатация доменной печи. Ведение доменной плавки с помощью компьютерных моделей процесса. Энергозатраты и выбросы в окружающую среду.

2.2. Металлургия стали

Очищение от примесей. Кристаллизация и разливка стали

Окисление примесей сталеплавильной ванны. Термодинамика окисления углерода. Концентрация углерода и кислорода в стальной ванне в процессе плавки. Кинетика окисления углерода. Окисление углерода на различных межфазных границах.

Термодинамика окисления кремния, марганца и хрома. Кинетика совместного окисления. Физико-химические основы окисления фосфора и удаление серы. Влияние состава шлака и температуры металла на коэффициент распределения фосфора и серы между металлом и шлаком.

Раскисление стали

Термодинамика раскисления стали. Раскислительная способность отдельных раскислителей. Анализ изотерм раскисления. Зависимость активности кислорода от концентрации раскислителя. Раскисление комплексными раскислителями. Кинетика зарождения неметаллических включений, их коагуляция и коалесценция. Ассимиляция включений шлаковым расплавом.

Удаление неметаллических включений из металла. Роль плотности и размера включений, роль межфазного натяжения на границе с металлом, влияние тепловой конвекции и движения металла под действием выделяющихся газов.

Остаточные (экзогенные и эндогенные) включения, не удаляемые из металла включения (кристаллизационные и послекристаллизационные), их природа, влияние на свойства металла, способы уменьшения содержания кристаллизационных и послекристаллизационных включений. Диффузионное (экстракционное) раскисление. Раскисление углеродом. Вторичное окисление стали и методы борьбы с этим явлением. Свойства основных раскислителей.

Кристаллизация и разливка стали

Гомогенное и гетерогенное зарождение кристаллов. Механизм роста кристаллов. Влияние теплоотвода. Дендритный рост. Коэффициент распределения примеси между твердой и жидкой фазами. Концентрационное переохлаждение. Кристаллизация в

интервале температур. Двухфазная зона. Влияние условий теплообмена на ширину двухфазной зоны. Переход от дендритной кристаллизации к объемной.

Поведение металлической струи при разливке. Особенности гидродинамики металла в изложницах в процессе кристаллизации. Физические методы воздействия на процесс затвердевания стали.

Особенности производства стали в различных сталеплавильных агрегатах. Кислородно-конвертерный процесс.

Аргонокислородная продувка. Получение нержавеющей сталей в конвертерах.

Марки стали, выплавляемой в кислородных конвертерах.

Качество кислородно-конвертерной стали в сравнении с мартеновской и электросталью. Пути дальнейшего совершенствования кислородно-конвертерного процесса и повышение качества стали.

Математическое моделирование и управление конвертерными процессами.

Энергозатраты и выбросы в окружающую среду при конвертерных процессах.

Теория и технология подовых процессов производства стали

Тепловая работа плавильного пространства современных печей, использующих кислород для сжигания топлива и продувки ванны. Особенности теплообмена в печах, работающих при продувке металла кислородом. Службы наварки или набивки ванн подовых сталеплавильных печей.

Окисление углерода в агрегатах подового типа.

Поведение кремния, марганца и фосфора при разных вариантах подового процесса.

Сера в шихте подовых сталеплавильных агрегатов. Десульфурация чугунов. Поведение серы в процессе плавки. Десульфурация стали вне печи за счет применения синтетических шлаков и сильных десульфураторов.

Микропримеси цветных металлов, их значение для качества стали. Полезные микропримеси в стали: микролегирование, модифицирование.

Сравнение технико-экономических показателей работы мартеновских печей. Качество стали, выплавляемой в мартеновских и двухванных печах. Автоматизация управления мартеновскими печами и двухванными агрегатами.

Энергозатраты и выбросы в окружающую среду при подовых процессах производства стали.

Электросталеплавильное производство

Основные условия обезуглероживания. Обезуглероживание высокохромистых и высокомарганцовистых расплавов. Особенности получения слабонизкоуглеродистых сталей в дуговой печи внепечными методами.

Физико-химические особенности процесса дефосфорации.

Современные методы проведения восстановительного периода в основной печи. Оптимальный режим раскисления. Основные пути сокращения восстановительного периода. Выплавка стали в электродуговых печах с кислой футеровкой.

Открытая и вакуумная индукционная плавка.

Вакуумный дуговой переплав..

Электрошлаковый переплав.

Плазменная плавка и плазменно-дуговой переплав.

Электронно-лучевой переплав. Мероприятия по охране окружающей природы. Техничко-экономические показатели переплавных процессов.

Энергозатраты и выбросы в окружающую среду электросталеплавильных производств.

3. Технология производства цветных металлов

3.1. Технология производства тяжелых цветных металлов

Общие принципы извлечения меди, никеля, свинца, цинка из руд и концентратов.

Кинетика и механизм окисления сульфидов в твердом и жидком состоянии. Диссоциация высших сульфидов при нагревании в нейтральной атмосфере.

Основные стадии формирования металлургических расплавов (шлака, штейна, шпайзы).

Производительность пирометаллургических агрегатов.

Распределение ценных компонентов между продуктами плавки.

Способы извлечения серы при пирометаллургической переработке сульфидного сырья. Поведение редких и рассеянных элементов в основных пирометаллургических процессах. Распределение мышьяка по продуктам плавки.

Коэффициент комплексности использования сырья в металлургии меди, никеля, свинца, цинка.

3.2. Переработка медных руд и концентратов

Разновидности отражательной плавки. Ее удельный вес в производстве меди. Целесообразность предварительного обжига концентратов перед плавкой. Преимущества и недостатки переработки конвертерных шлаков в отражательной печи. Характеристика штейнов, шлаков, газов. Тепловой КПД. Возможные способы утилизации тепла. Основные технико-экономические показатели. Выбросы в окружающую среду.

Переработка штейнов на черновую медь. Поведение его составляющих в I и II периоды конвертирования. Тепловой и температурный режимы процесса. Использование воздуха, обогащенного кислородом. Показатели процесса. Новые направления в металлургии меди.

Автогенные процессы в металлургии меди. Их преимущества и недостатки. Влияние магнетита на потери меди со шлаком в этих процессах. Распределение серы и металлов-спутников по продуктам плавки.

Огневое и электролитическое рафинирование меди. Теоретические основы. Переработка анодных шламов. Практика процессов. Основные технико-экономические показатели. Выбросы в окружающую среду.

Гидрометаллургия меди. Подготовка сырья к гидрометаллургической переработке. Химизм основных реакций выщелачивания. Практика кучного, бактериального и автоклавного выщелачивания. Техничко-экономические показатели процессов. Выбросы в окружающую среду.

3.3. Переработка никелевых руд и концентратов

Способы подготовки окисленных никелевых руд к плавке в шахтных печах. Их преимущества и недостатки. Реакции, протекающие по высоте шахты печи и во внутреннем горне. Характеристика штейнов и шлаков шахтной плавки. Техничко-экономические показатели.

Конвертирование никелевых штейнов. Поведение кобальта. Современные способы переработки конвертерных шлаков в целях извлечения из них кобальта. Их преимущества и недостатки. Переработка фанштейна до огневого никеля. Схема производства металлургического кобальта.

Подготовка окисленных никелевых руд к плавке в электропечах на ферроникель. Теория и практика плавки. Рафинирование черного ферроникеля. Техничко-экономические показатели. Перспективы развития процесса.

Гидрометаллургические и комбинированные способы комплексной переработки окисленных и никелевых руд (сегрегационные, автоклавные, аммиачно-карбонатные и др.)

Подготовка сульфидных руд и концентратов к плавке в электрических печах. Теория и практика электроплавки. Техничко-экономические показатели.

Особенности конвертирования медно-никелевых штейнов. Разделение фанштейна. Способы переработки медного и никелевого концентратов, полученных при флотации фанштейна. Отличия технологической схемы производства кобальта при переработке сульфидного и окисленного сырья. Пути повышения комплексного использования сульфидного медно-никелевого сырья. Охрана окружающей среды.

Карбонильный процесс получения никеля. Гидрометаллургические и комбинированные способы комплексной переработки сульфидных руд и концентратов. Методы получения никеля и кобальта из растворов; электролиз, водородное восстановление.

Поведение селена, теллура и драгоценных металлов по главным переделам технологических схем.

Основные принципы переработки анодных шламов электролиза никеля. Переработка арсенидных руд, проблема вывода мышьяка.

Энергетические проблемы и экономика различных технологических процессов переработки никелевых руд и концентратов. Выбросы в окружающую среду.

3.4. Переработка свинцовых концентратов

Агломерирующий обжиг свинцовых концентратов. Теория и практика.

Восстановительная плавка свинцового агломерата. Химизм процесса. Поведение свинца и металлов-спутников при плавке. Техничко-экономические показатели плавки.

Рафинирование черного свинца и переработка полупродуктов. Теория и практика.

Способы переработки шлаков, пыли.

Новые направления в металлургии свинца.

Автогенные и гидрометаллургические способы переработки свинцовых концентратов. Их преимущества и недостатки, перспективы применения ценных металлов-спутников в производстве свинца. Схемы попутного извлечения серы и металлов-спутников при переработке свинцовых концентратов. Пылеулавливание. Методы и оборудование пылеулавливания. Показатели работы пылеулавливателей.

Техника безопасности при производстве свинца и охрана окружающей среды.

3.5. Переработка цинковых концентратов

Сравнение эффективности пиро- и гидрометаллургического методов получения цинка.

Обжиг цинковых концентратов.

Пирометаллургические методы получения цинка из огарка. Электротермия цинка. Особенности выплавки цинка в шахтных печах.

Рафинирование черного цинка.

Гидрометаллургия цинка. Выщелачивание цинковых огарков и очистка растворов от примесей. Теоретические основы этих процессов. Электроосаждение цинка. Новые направления совершенствования процесса. Техника безопасности и охрана окружающей среды.

Переработка полупродуктов цинкового производства. Комплексное использование цинкосодержащего сырья.

Энергозатраты и выбросы в окружающую среду.

3.6. Технология производства золота, серебра и металлов платиновой группы

Современное состояние и основные этапы развития производства золота, серебра и металлов платиновой группы.

Извлечение благородных металлов амальгамацией.

Термодинамика, механизм и кинетика взаимодействия золота, серебра и металлов платиновой группы с ртутью.

Теоретические основы и технология процесса цианирования.

Термодинамика и кинетика процесса растворения в цианистых растворах золота, серебра, теллуридов золота, сернистых и оксидных минералов серебра.

Термодинамика и кинетика процесса осаждения золота и серебра из цианистых растворов цинком и алюминием. Теоретические основы процесса сорбции золота и серебра из цианистых растворов активированным углем, ионно-обменными смолами (анионитами) и жидкостной экстракцией органическими растворителями. Современное состояние и направления дальнейшего развития техники и технологии цианистого процесса.

Специальные процессы переработки руд и концентратов сложного состава.

Аффинаж золота, серебра и металлов платиновой группы.

Теоретические основы и технология электролитического аффинажа золота и серебра.

Химия и технология процессов аффинажа платинового концентрата и методы получения платины высокой чистоты.

Энергозатраты и выбросы в окружающую среду.

3.7. Технология производства легких цветных сплавов

Получение магния

Свойства и применение магния. Характеристика исходных материалов. Теория и технология получения безводного хлористого магния и бинофита. Обезвоживание карналлита. Применение печей кипящего слоя и хлораторов.

Состав и физико-химические свойства электролитов. Особенности кинетики электродных процессов. Гидродинамика электрода и катодный выход по току. Влияние примесей и добавок в электролит на катодный процесс. Образование шлама. Техника электролитического получения магния. Конструкция электролизеров. Сравнительная их характеристика. Технология обслуживания. Устройство цехов электролиза, отсос хлора и катодных газов. Техника безопасности и мероприятия по охране окружающей среды. Технично-экономические показатели электролиза. Рафинирование магния-сырца переплавкой с флюсами. Электролитическое рафинирование магниевых ломов и отходов. ГОСТ на магний, комплексное использование магниевых лома и отходов.

Получение алюминия

Свойства алюминия и сплавов на его основе, масштабы производства и области применения. Основные руды алюминия.

Переработка бокситов гидрохимическим способом. Основная реакция Байера. Строение алюминатных растворов. Равновесие в системе $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O-H}_2\text{O}$. Принципиальная технологическая схема способа Байера. Технологические параметры основных переделов и характеристика оборудования.

Получение глинозема способом спекания из бокситов. Основные химические реакции при спекании и выщелачивании спеков. Принципиальная технологическая схема способа спекания. Комбинированные способы: гидрохимический и спекания –

параллельный и последовательный варианты. Их преимущества перед отдельной переработкой.

Комплексная переработка нефелинов. Характеристика нефелинов и нефелиноспенитовых руд. Основные реакции при спекании нефелина с известняком и выщелачивании. Принципиальная технологическая схема способа спекания. Основная аппаратура.

Характеристика алунитовых руд. Основные реакции при переработке алунитовых руд восстановительным обжигом с ветвью спекания. Принципиальная технологическая схема этого способа. Новые направления в получении глинозема. Физико-химические основы переработки высококремнистых видов алюминиевого сырья гидрохимическим методом. Основная технологическая схема этого метода. Сравнение технико-экономических показателей различных способов переработки глиноземсодержащего сырья. Комплексное использование глиноземсодержащего сырья. ГОСТ на глинозем.

Производство фтористых солей и электродов. Производство криолита кислотным способом: основные реакции, технологическая схема и аппаратура. Производство электродов: исходные материалы, прессование, обжиг «зеленых» электродов, графитирование.

Теория электролиза криолитоглиноземных расплавов. Свойства и строение электролитов и термодинамика основных реакций на электродах. Основные диаграммы состояния. Механизм катодного процесса, поведение натрия в катодном разряде, катодный выход по току. Анодный процесс. Потенциалоопределяющие реакции, состав анодных газов, связь с катодным выходом по току. Расход углерода, связь с анодным перенапряжением. Анодный эффект, поведение примесей и добавок в электролите.

Технология электролитического получения алюминия. Описание конструкции электролизеров и сравнение их технических данных. Новые направления в конструировании электролизеров и способы их питания глиноземом. Пуск ванн, их обслуживание. Нарушение нормальной работы электролизеров. Влияние электромагнитных сил на работу электролизеров.

Технология самообжигающегося анода алюминиевого электролизера. Характеристика основных зон в аноде; требования, предъявляемые к пекам и коксам; основные процессы, протекающие в различных зонах анода; баланс углерода.

Энергетические балансы электролизеров, связь между плотностью тока и удельными потерями тепла. Планировка цехов электролиза и электролизных корпусов. Газоотсос и вентиляция, регенерация фторсолей. Техника безопасности и охрана окружающей среды. Автоматическое регулирование алюминиевых электролизеров. Себестоимость алюминия и ее анализ. ГОСТ на алюминий.

Электролитическое рафинирование алюминия. Свойства и применение алюминия высокой чистоты. Теория и технология трехслойного метода, пути ее совершенствования.

Новые направления в получении алюминия. Физико-химические основы выплавки алюминиево-кремниевых сплавов из руд: термодинамика процессов восстановления оксидов алюминия и кремния углеродом, роль низших оксидов алюминия и кремния. Техника электротермического получения сплавов алюминия и кремния: подготовка шихты, характеристика электропечей.

Металлургия вторичного алюминия. Технология подготовки лома и отходов к плавке. Плавка алюминия и его сплавов в электрических и пламенных отражательных печах. Роль флюсов при плавке отходов и лома алюминия. Методы рафинирования расплава от неметаллических и металлических примесей. ГОСТы на алюминиевые сплавы.

Энергозатраты на производство алюминия и выбросы в окружающую среду.

3.8. Технология производства редких и радиоактивных металлов

Тугоплавкие редкие металлы

Вольфрам и молибден. Физико-химические основы пирометаллургических и гидрометаллургических способов разложения рудных концентратов, их критическое сопоставление, новые направления технологии. Теоретические основы и практика процессов производства чистых трехоксидов молибдена и вольфрама.

Использование ионообменных и экстракционных процессов в гидрометаллургии вольфрама и молибдена. Схемы комплексной переработки вольфрам-молибденовых концентратов. Способы отделения молибдена от вольфрама. Попутное извлечение рения при переработке молибденовых концентратов. Технология переработки вторичного вольфрамового и молибденового сырья.

Термодинамика, кинетика и механизм восстановления трехоксидов вольфрама и молибдена водородом, практика процесса. Основы производства компактных вольфрама и молибдена методом порошковой металлургии и плавкой (дуговой, электронно-лучевой). Влияние примесей на свойства металлов. Варианты процессов получения вольфрама и молибдена восстановлением галогенидов. Методы получения монокристаллов вольфрама и молибдена. Техника безопасности и охрана окружающей среды.

Тантал и ниобий. Обзор и сопоставление способов разложения рудных концентратов различного типа (танталит-колумбит, лопарит, пирохлор). Физико-химические основы процессов. Сопоставление хлорной и сульфатной технологии комплексной переработки лопарита. Основы способов разделения тантала и ниобия.

Обзор и сопоставление способов производства тантала и ниобия. Физико-химические основы металлургического, карботермического и электролитического способов. Получение тантала и ниобия восстановлением хлоридов. Физико-химические основы различных способов производства компактных тантала и ниобия.

Титан, цирконий и гафний. Основы современной технологии производства четыреххлористого титана. Обзор и сопоставление способов получения искусственного рутила из ильменитовых концентратов.

Физико-химические основы способов вскрытия циркониевых концентратов. Обоснование выбора способа вскрытия в зависимости от требуемых конечных продуктов. Способы разделения циркония и гафния.

Комплексное использование титанового и циркониевого сырья.

Общий обзор способов получения титана и циркония с учетом особенностей свойств этих металлов.

Физико-химические свойства и практика магнийтермического способа производства титана и циркония из этих хлоридов. Варианты натрийтермического восстановления четыреххлористого титана. Сопоставление магнийтермического и натрийтермического процессов. Электролитический способ получения циркония.

Электролитическое рафинирование титана. Основы йодидного способа рафинирования титана и циркония.

Производство компактных титана и циркония методом плавки.

Порошковая металлургия титана и циркония.

Техника безопасности и охрана окружающей среды в производстве титана и циркония.

Рассеянные редкие металлы

Общая характеристика рассеянных редких металлов, источников их получения. Экономическое значение комплексности использования сырья. Технология попутного извлечения галлия в производстве глинозема, индия при переработке сульфидного сырья цветных металлов, германия при переработке медного сырья и углей, рения в производстве меди и молибдена.

Редкоземельные и радиоактивные металлы

Основы процессов получения редкоземельных металлов высокой чистоты. Варианты технологических схем переработки моноцитовых концентратов с получением соединений редкоземельных металлов и тория. Технология переработки других видов редкоземельного сырья (бастензит, иттропаризит, лопарит). Основы способов разделения редкоземельных металлов и тория.

Основы и аппаратура процессов выщелачивания урана из рудного сырья для их осуществления. Ионообменные и экстракционные способы извлечения и концентрирования урана в растворах, выделения чистых соединений. Основы технологии производства урана металлотермическими методами. Плавка урана. Требования к чистоте урана, используемого в атомной технике. Техника безопасности и охрана окружающей среды.

Легкие редкие металлы

Бериллий. Физико-химические основы технологии переработки бериллиевых концентратов по сульфатной и фторидной схемам. Способы получения чистого оксида бериллия и галогенидов бериллия.

Металлотермические и электротермические способы получения бериллия, дистилляционные и электролитические процессы его рафинирования. Производство компактного бериллия.

Литий. Основы технологии производства соединений лития из литиевых концентратов (сподумена, лепидолита).

Физико-химические основы процессов получения лития электролизом, вакуум-термическим способом. Способы рафинирования лития.

Техника безопасности в производстве бериллия и лития и охрана окружающей среды.

4. Ресурсосбережение и комплексное использование сырья в металлургии

4.1. Переработка вторичного и техногенного сырья

Характеристика техногенных ресурсов, содержащих цветные, редкие и благородные металлы. Основные источники их образования. Круговорот элементов в техносфере. Задачи металлургической переработки техногенных ресурсов.

Подготовка сырья к металлургической переработке. Сортировка и разделение различных видов сырья. Удаление вредных включений.

Переработка техногенных ресурсов в пиromеталлургических и гидрометаллургических процессах. Комплексное использование техногенных ресурсов и рациональное распределение ценных компонентов по продуктам металлургической переработки.

Технологические схемы переработки выведенных из употребления ломов и отходов производства, содержащих медь и ее сплавы. Пиromеталлургические способы окускования вторичного сырья. Плавка подготовленного вторичного медного сырья. Технология переработки медьсодержащего лома и отходов производства в электрических печах. Плавка в шахтных печах. Технология переработки медьсодержащего лома и отходов производства в пламенных печах. Переработка вторичного медного сырья в процессе конвертирования. Переработка вторичного медного сырья совместно с первичным природным сырьем в основных схемах металлургического производства.

Извлечение элементов, сопутствующих меди во вторичном сырье. Гидрометаллургические способы переработки вторичного медного сырья.

Технологические схемы переработки богатых отходов на ферроникель или карбонил никеля. Переработка никелевых отходов с использованием традиционных технологических процессов (электроплавка, конвертирование). Совместная переработка вторичных и первичных никельсодержащих материалов. Технология переработки вторичного никель- и кобальтсодержащих материалов гидрометаллургическими способами.

Переработка вольфрамсодержащих отходов.

Переработка ренийсодержащих отходов.

Переработка отходов титановых сплавов.

Переработка селенсодержащих отходов.

Вторичная переработка алюминия.

Извлечение благородных металлов из электронного лома.

Экономическая эффективность комплексной переработки вторичного сырья цветных металлов. Основные факторы производства, определяющие выбор рациональной технологической схемы переработки вторичного сырья.

4.2. Обеспечение экологической безопасности

Решение экологических задач, возникающих при переработке вторичного сырья цветных металлов. Основные направления охраны биосферы, определяющие созданию безотходных технологий. Правовые аспекты охраны окружающей среды. Природные ресурсы. Степень возобновляемости. Основные направления охраны окружающей среды и рационального природопользования.

Отходы и их утилизация. Сточные воды и их очистка.

Основные факторы воздействия металлургического предприятия на окружающую среду. Особенности формирования загрязнений в металлургическом производстве. Классификация загрязнений, их уровень. Принципы и критерии устойчивого экологически безопасного развития. Защита экологической жизнеспособности окружающей среды.

Основные эколого-экономические критерии оценки металлургических технологий. Историческая обусловленность создания экологически чистого металлургического производства. Основные компоненты экологически чистого производства.

Рациональное использование природных, материальных, энергетических и социальных ресурсов.

Пути снижения потребления и образования токсичных материалов. Создание экологически чистой продукции.

Производство высококачественной металлургической продукции как косвенный фактор экономии природных ресурсов.

Понятие устойчивого экологически безопасного развития. Понятие промышленной (индустриальной) экосистемы. Программа создания экологически чистого производства.

Анализ потока материалов и энергии. Анализ источников и причин образования отходов. Создание замкнутых производств: комплексное использования сырья и отходов, минимизация энергопотребления и использование вторичных энергоресурсов. Понятие индустриального метаболизма. Планирование и организация экологически чистого предприятия. Методы оценки экологической эффективности нового оборудования, технологий и металлургической продукции. Формирование экологической стратегии на предприятиях полного цикла. Экологическая стратегия создания новых металлургических мини- и микроразводов. Утилизация отходов смежных производств.

Основная литература

- Белоусова Н.В. Теория металлургических процессов /Н.В. Белоусова, О.В. Белоусов, А.С. Ясинский. – Красноярск: СФУ, 2021. – 400 с.
- Борбат В.Ф. Металлургия платиновых металлов. М.: Металлургия, 1977.
- Вегман Е.Ф. Теория и технология агломерации. М.: Металлургия, 1974.
- Гасик М.И., Лекишев Н.П. Теория и технология электрометаллургии ферросплавов. М.: Интермет-Инжиниринг, 1999.
- Глишков М.А., Глишков Г.М. Общая теория печей. М.: Металлургия, 1990.
- Глишков М.А. Тепловая работа сталеплавильных ванн. М.: Металлургия, 1970.
- Григорян В.А., Белянчиков Л.Н., Стомахин Л.Я. Теоретические основы электросталеплавильных процессов. М.: Металлургия, 1987. – 272 с.
- Доменное производство: Справочник. Т. 1 / Под ред. Е.Ф. Ветмана. М.: Металлургия, 1989.
- Зеликман А.Н., Коршунов Б.Г. Металлургия редких металлов. М.: Металлургия, 1991.
- Исаева, Л. А. Глинозем в производстве алюминия электролизом / Л. А. Исаева, П. В. Поляков. - Краснотурьинск : Богословский алюминиевый завод, 2000. - 199 с.
- Карабасов, Ю. С. Экология и управление : учебник для вузов / Ю. С. Карабасов, В. М. Чижикова. - Москва : МИСиС, 2006. - 710 с.
- Карабасов Ю.С., Чижикова В.М. Физико-химические восстановления железа из оксидов. М.: Металлургия, 1986.
- Китаев Б.И., Ярошенко Ю.Г., Суханов Е.Л. Теплофизика доменного производства. М.: Металлургия, 1978.
- Кнюппель Г. Раскисление и вакуумная обработка стали. М.: Металлургия, 1984.
- Котляр Ю.А. Металлургия благородных металлов / Ю.А. Котляр, М.А. Меретуков, Л.С. Стрижко. – М.: МиСиС, Издательский дом “Руда и Металлы”, 2005. – 824 с.
- Кулифеев, В. К. Комплексное использование сырья и отходов. Переработка техногенных отходов. Курс лекций. / Кулифеев В.К., Тарасов В.П., Кропачев А.Н. - Москва : МИСИС, 2009.
- Левин А.И. Электрохимия цветных металлов. М.: Металлургия, 1982.
- Марченко Н.В. Комплексная переработка минерального, вторичного и техногенного сырья тяжелых цветных металлов. Технологии производства тяжелых цветных металлов / Марченко Н. В., Олейникова Н. В... - Ч. 1 : Металлургия свинца, цинка и кадмия : учебник / Марченко Н. В., Олейникова Н. В. - Красноярск : СФУ, 2018. - 278 с.
- Марченко Н.В. Комплексная переработка минерального, вторичного и техногенного сырья тяжелых цветных металлов. Технологии производства тяжелых цветных металлов / Марченко Н. В., Олейникова Н. В... - Ч. 2 : Металлургия меди, никеля и кобальта : учебник/ Марченко Н. В., Олейникова Н. В. - Красноярск : СФУ, 2018. - 276 с.
- Марченко Н.В. Комплексная переработка минерального, вторичного и техногенного сырья тяжелых цветных металлов. Технологии производства тяжелых цветных металлов / Марченко Н. В., Олейникова Н. В... - Ч. 3 : Металлургия олова, сурьмы и висмута : учебник/ Марченко Н. В., Олейникова Н. В. - Красноярск : СФУ, 2018. - 173 с.
- Металлургия стали / Под ред. В.И. Явойского и Г.Н. Ойса. М.: Металлургия, 1973.
- Металлургия чугуна / Е.Ф. Вегман, Б.Н. Жеребин, А.Н. Похвиснев и др. М.: Металлургия, 1989.
- Москвитин В.И., Николаев И.В., Фомин Б.А. Металлургия легких металлов. – М.: Интермет Инжиниринг, 2005. - 416 с.
- Паволоцкий Д.Я., Кудрин В.А., Вишкарёв А.Ф. Внепечная обработка стали. М.: Изд-во МИСиС, 1995.

Писи Дж.Г., Давенпорт В.Г. Доменный процесс. Теория и практика. М.: Металлургия, 1984.

Плавка в жидкой ванне / В.А. Ванюков, В. П. Быстров, А.Д. Васкевич и др. М.: Металлургия, 1988.

Процессы и аппараты цветной металлургии / С. С. Набойченко, Н. Г. Агеев [и др.] ; под ред. С. С. Набойченко ; Уральский технический университет. - 2-е изд., доп. - Екатеринбург : Уральский технический университет - УПИ, 2005. - 699 с.

Рамм А.Н. Современный доменный процесс. М.: Металлургия, 1980.

Рысс М.А. Производство ферросплавов. М.: Металлургия 1985.

Старк С.Б. Газоочистные аппараты и установки в металлургической промышленности. М.: Металлургия, 1990.

Теория и технология электрометаллургических процессов / Ю.В. Борисоглебский, М.М. Ветюков, В.И. Москвинин, С.Н. Школьников; Под ред. М.М. Ветюкова. М.: Металлургия, 1994.

Теплотехника металлургического производства. Т 1. Теоретические основы / В.А. Кривандин, В.А. Арутюнов, В.В. Белоусов и др. М.: Изд-во МИСиС, 2002.

Теплотехника металлургического производства. Т. 2. Конструкция и работа печи / В.А. Кривандин, В.В. Белоусов, Г.С. Сборщиков и др. М.: Изд-во МИСиС, 2002.

Техническая термодинамика / В.И. Лобанов, Г.П. Ясников, Я.М. Гордон, А.С. Телегин. М.: Металлургия, 1992.

Юсфин Ю.С., Гиммельфарб А.А., Пашков А.Ф. Новые процессы получения металла. Металлургия железа. М.: Металлургия, 1994.

Юсфин, Ю. С. Промышленность и окружающая среда / Ю. С. Юсфин, Л. И. Леонтьев, П. И. Черноусов. - Москва : Академкнига, 2002. - 469 с.

Явойский В.И. Теория процессов производства стали. М.: Металлургия, 1985.

Дополнительная литература

Автогенные процессы в цветной металлургии / В.В. Мечев, В.П. Быстров, А.В. Тарасов и др. М.: Металлургия, 1991.

Алкацев М.И. Процессы цементации в цветной металлургии. М.: Металлургия, 1981.

Баймаков Ю.В., Жулин А.И. Электролиз в гидрометаллургии. М.: Металлургия, 1982.

Белоусов В.В. Теоретические основы гидроочистки. М.: Металлургия. 1988.

Бигеев А.М., Бигеев В.А. Металлургия стали. Теория и технология плавки. Магнитогорск: Изд-во МГТУ, 2000.

Ванюков А.В., Зайцев В.Я. Теория пирометаллургических процессов. М.: Металлургия, 1993.

Ванюков В.А., Зайцев В.Я. Шлаки и штейны цветной металлургии. М.: Металлургия, 1969.

Ванюков А.В., Уткин Н.И. Комплексная переработка медного и никелевого сырья. Челябинск: Металлургия, 1988.

Включения и газы в сталях / В.И. Явойский, С.А. Близнюков, А.Ф. Вишкарев и др. М.: Металлургия, 1979.

Ефимов В.А., Эльдарханов А.С. Современные технологии разливы и кристаллизации сплавов. М.: Машиностроение, 1998.

Жеребин Б.Н. Практика ведения доменной печи. М.: Металлургия, 1980.

Зеликман А. Н. Металлургия тугоплавких редких металлов. М.: Металлургия, 1986.

Кобахидзе В. В. Тепловая работа и конструкции печей цветной металлургии. М.: Изд-во МИСиС, 1994.

- Конструкции проектирования агрегатов сталеплавильного производства / В.П. Григорьев, Ю.М. Нечкин, А.В. Егоров и др. М.: Изд-во МИСиС, 1995.
- Кривандин В.А., Егоров А.В. Тепловая работа и конструкции печей черной металлургии. М.: Металлургия, 1989.
- Кудрин В.А. Металлургия стали. М.: Металлургия, 1981.
- Кутателадзе С. С., Стырикович М.А. Газодинамика газожидкостных систем. М.: Энергия, 1976.
- Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.: Высш. школа, 1976.
- Металлургия стали / Под ред. В.И. Явойского и Ю. В. Кряковского. М.: Металлургия, 1983.
- Набойченко С.С., Смирнов В.И. Гидрометаллургия меди. М.: Металлургия, 1974.
- Падерин С.Н., Филиппов В.В. Теория и расчеты металлургических систем и процессов. М.: Изд-во МИСиС, 2001.
- Пирометаллургическая переработка комплексных руд / Л.И. Леонтьев, Н. А. Ватолин, С.В. Шаврин и др. М.: Металлургия, 1997.
- Производство глинозема / А.И. Лайнер, Н.И. Еремин, Ю.А. Лайнер и др. М.: Металлургия, 1978.
- Стефанюк С.Л. Металлургия магния и других легких металлов. М.: Металлургия, 1985.
- Тарасов В. П. Газодинамика доменного процесса. М.: Металлургия, 1990.
- Теория металлизации железорудного сырья / Ю.С. Юсфин, В.В. Даньшин, Н.Ф. Пашков и др. М.: Металлургия, 1982.
- Технология низкоуглеродистого феррохрома / В.Н. Карнаухов, Ю.И. Воронов, В.П. Зайко и др. Екатеринбург: Изд-во ИМет Уро РАН, 2001.
- Толстогузов Н.В. Теоретические основы и технология плавки кремнистых и марганцевых сплавов. М.: Металлургия, 1992.
- Худяков И.Ф., Кляйн С.Э., Агеев Н.Г. Металлургия меди, никеля, и сопутствующих элементов и проектирование цехов. М.: Металлургия, 1993.
- Электрические промышленные печи: дуговые печи и установки специального назначения / А.Д. Свенчанский, И.Т. Жердев, А.И. Кружнин и др. М., 1981.
- Юсфин Ю.С., Базилевич Т. Н. Обжиг железорудных окатышей. М.: Металлургия, 1973.

Разработчик

Зав. кафедрой МЦМ, профессор



Н.В. Белоусова