

ПРОГРАММА–МИНИМУМ

кандидатского экзамена по специальности

05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТАЛЛУРГИИ ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ

1.1. Теория пирометаллургических процессов

Строение вещества и физико-химические свойства соединений и элементов. Основы теории твердого тела. Дефектность структуры кристаллов и влияние этого фактора на физико-химические характеристики вещества. Значение энергии связи элементов. Углеродные связи. Сверхпроводимость при высоких температурах твердых веществ. Ферромагнитные кристаллы. Антиферромагнитные кристаллы. Основы ЯМР, ЭПР, ИКС и других физических методов исследований твердых тел.

Химическое равновесие. Термодинамические функции, определение и расчет констант равновесия химических реакций, активности и коэффициента активности. Волновые и колебательные химические процессы, реакция Белоусова - Жаботинского.

Фазовые равновесия. Диаграммы состояния систем Me-O, Me-S, составляющих основу исходных и промежуточных продуктов металлургических процессов. Принципы построения и анализа Р-Т-Х диаграмм бинарных систем. Уравнение Клаузиуса-Клапейрона в применении к Р-Т-Х диаграмм. Построение и анализ трех- и многокомпонентных диаграмм состояния. Правило фаз и его приложение к анализу ДТА и диаграмм состояния. Уравнение Вант-Гоффа и Шредера - Ле Шателье в применении к анализу диаграмм состояния. Точность диаграмм состояния и предел применимости.

Расплав. Термодинамика процессов плавления и кристаллизации. Строение металлургических шлаков и штейнов. Влияние состава и внешних параметров на важнейшие физико-химические свойства шлаковых и штейновых расплавов. Активность компонентов в бинарных и многокомпонентных системах. Принцип формирования расплавов оксидов, сульфидов, хлоридов и металлических расплавов. Теория Темкина, теория Мэсона-Есина-Гельда, теория Флуда-Форланда-Грэтхема, коэффициент структуры анионов Шелудякова, теория Шенка. Методы определения структуры расплавов. Равновесие расплав - твердое, коэффициент распределения активности компонентов, фугитивность, вязкость, электропроводность. Уравнение теплоемкости, спонтанное охлаждение расплавов.

Основы химической кинетики, определение важнейших кинетических характеристик: порядка реакции, энергия активации, предэкспоненциального множителя. Оценка режима и лимитирующей стадии процесса с помощью экспериментальных наблюдений и аналитических расчетов. Понятие о катализе. Кинетика реакций на границе раздела фаз. Особенности механизма важнейших пирометаллургических процессов. Окисление, восстановление, диссоциация, их термодинамика и кинетика. Средство металлов к кислороду и сере. Влияние фазовых превращений на характеристики процессов. Дефектность структуры твердого тела; ее влияние на кинетику процессов восстановления, окисления и диссоциации. Термодинамика фазовых переходов в дефективных структурах. Взрывные и цепные реакции в химии и металлургии.

Восстановительные процессы. Термодинамика газового и углеродного восстановления оксидов металлов. Восстановление в системах с растворами. Кинетика и механизм твердофазного восстановления оксидов.

Термодинамические и кинетические особенности процессов. Расслаивание в жидких сульфидно-оксидных и сульфидно-силикатных системах. Растворимость металлов и сульфидов в шлаке. Кинетика ликвации несмешивающихся фаз. Потери металлов со шлаками и пути снижения потерь. Растворимость газов в многокомпонентных расплавах, транспорт газов и взаимодействие под влиянием энергетических факторов; методы определения активности компонентов расплава.

Теоретические основы процессов испарения и конденсации при обычном давлении и в вакууме. Очистка металлов сублимацией и дистилляцией. Кристаллизационные методы очистки металлов. Сущность зонной плавки и направленной кристаллизации. Выращивание кристаллов, метод Чохральского. Влияние несовместимости на формирование расплавов и

металлических сплавов. Влияние различных энергетических воздействий на формирование кристаллов и сплавов.

Общая характеристика газового состояния. Основы плазмохимии.

Поверхностные явления в металлургических процессах.

Основные понятия. Поверхностное натяжение чистых металлов, штейнов, сталей, сплавов, шлаков. Методы определения и расчеты поверхностного натяжения. Межфазное натяжение в металлургических системах, смачивание. Роль поверхностных явлений в технологических процессах плавки, отстаивания и рафинирования металлов.

1.2 Теория гидрометаллургических процессов

1.2.1 Теория процессов выщелачивания

Классификация процессов выщелачивания. Термодинамика простого растворения и процессов выщелачивания, сопровождающихся химическими реакциями. Дигаммы рН - потенциал и их использование для оценки стабильных состояний системы. Теория растворов. Криометрия. Механизм перехода твердого в жидкость. Реакции в жидкой фазе. Сольватация. Разложение растворов (механизм и кинетика). Равновесие в системе твердое-водный раствор. Применимость уравнения Шрейдера - Ле Шателье к анализу равновесия в водных растворах. Диаграмма состояния с участием воды и ее анализ. Принцип непрерывности Курнакова, принцип дискретности Усановича-Сторонкина. Транспортные свойства водных систем. Основные теории кислот и оснований, теория кислот и оснований Усановича. Теория диссолюционной пептизации Пономарева.

Коллоидное состояние.

Основы кинетики выщелачивания. Аналитические закономерности и признаки протекания процесса во внешнедиффузионной, внутренней диффузионной и кинетической областях. Пути интенсификации процесса в зависимости от лимитирующей стадии.

Особенности автоклавного выщелачивания соединений металлов и выщелачивания с участием газообразного реагента. Диффузионная кинетика с участием двух и более реагентов. Кинетика выщелачивания дисперсных твердых веществ, роль геометрии зерна. Влияние дефектов кристаллической решетки на кинетику реакций твердое - жидкость. Пути активирования твердых тел. Использование кинетических закономерностей для расчетов аппаратов для выщелачивания. Кинетика и механизм выщелачивания металлов, оксидов и сульфидов, бактериальное выщелачивание.

1.2.2 Теория ионообменных процессов

Основные характеристики ионообменных смол, принцип формирования смол и металлоорганических соединений. Равновесие ионного обмена. Динамика ионного обмена в колоннах. Теория ионообменной хроматографии. Ионный обмен как мембранное равновесие. Использование ионитовых мембран в электродиализе. Основы строения макромолекул. Кинетика процессов и старение мембран и смол.

1.2.3 Теория экстракционных процессов

Структура водных растворов органических соединений. Основные типы экстрагентов и классификация экстракционных процессов. Равновесие катионообменной, анионообменной экстракции и экстракции нейтральными экстрагентами. Методы исследования механизма экстракции. Кинетика экстракционных процессов. Динамические методы экстракционного разделения элементов. Оборудование для осуществления экстракционных процессов.

1.2.4 Теория процессов осаждения малорастворимых соединений и кристаллизации

Факторы, влияющие на растворимость солей. Условия осаждения гидроксидов, основных солей и сульфатов металлов. Закономерности соосаждения примесей. Криоскопия, эбулиоскопия.

Термодинамика кристаллизации солей. Двух-, трехкомпонентные системы с участием воды. Механизм и кинетика образования зародышей и роста кристаллов. Кинетика массовой кристаллизации. Использование кристаллизации для очистки солей и разделения близких по составам элементов. Диаграммы состояния многокомпонентных растворов.

1.2.5. Теория восстановления металлов из оксидов и растворов с помощью газообразных восстановителей и цементации

Термодинамика, механизм и кинетика выделения металлов или низших оксидов восстановлением водородом, оксидом углерода (II), сернистым газом.

Термодинамика, механизм и кинетика цементации. Побочные процессы при цементации. Основы цементации на амальгамах. Основы коррозии металлов.

1.2.6. Теория электрометаллургических процессов

Общие вопросы электролитического рафинирования и выделения металлов из водных растворов, их простых и комплексных солей в виде компактных и порошкообразных осадков.

Закономерности, наблюдающиеся при прохождении постоянного тока через растворы электролитов. Термодинамика гальванических элементов. Кинетика процессов: концентрационная поляризация (электрохимическая кинетика); перенапряжение перехода заряда; основы теории замедленного разряда – ионизации; влияние поверхностно-активных веществ на кинетику образования новой фазы и качество осадков.

Катодные процессы: катодное выделение металлов из простых и комплексных солей; условия совместного разряда ионов на катоде; совместный разряд ионов основного металла и примесей; условия образования компактных и порошкообразных металлических осадков. Механизм и кинетика катодного растворения осадков. Влияние переменного электрического тока на процессы в системе катод-электролит-анод. Соотношение термодинамических и электрохимических процессов.

Анодные процессы: процесс анодного растворения металлов и сплавов; процессы пассивации металлов при анодной их поляризации; анодные процессы, протекающие на нерастворимых анодах.

Основы процессов непрерывного получения металлов и сплавов электролизом водных растворов.

Принцип работы и конструкции химических источников тока, конструирование и принцип работы позитивных и негативных электродов. Многокомпонентные и многослойные электролиты. Механизм растворения металлов в водных системах с участием кислот и оснований.

1.3 Основы физической химии и электрохимии расплавленных солей

Строение расплавленных солей. Строение кристаллических солей. Механизм плавления. Модели структурных расплавов. Строение солей с промежуточными типами связи. Оптические методы изучения строения расплавленных солей. Эффект Керра.

Плавкость солевых систем. Основные типы диаграмм в бинарных системах. Криоскопия расплавленных солей. Простейшие типы диаграмм тройных систем. Тройная система с инконгруэнтно плавящимся двойным соединением. Тройные взаимные системы. Применение законов Рауля и Генри, уравнение Вант-Гоффа и Шредера - Ле Шателье к анализу диаграмм состояния с испарением солей.

Физико-химические свойства расплавленных солей. Объемные свойства, вязкость, поверхностные явления, электропроводность и перенос ионов. Характеристики этих свойств, методы определения, температурная и концентрационная зависимости. Их трактовка.

Термодинамические свойства расплавленных солей. Парциальные и интегральные термодинамические характеристики, связь между ними, уравнение Гиббса - Дюгема. Активность и коэффициент активности, избыточные функции. Статистические,

динамические и кинетические методы определения давления пара. Определение парциальных термодинамических свойств из изменений электродвижущих сил.

Химические цепи, их конструкция. Хлорный электрод. Химические цепи с катионопроводящими стеклянными мембранами. Концентрационные цепи, электродные и диффузионные потенциалы в расплавленных солях. Цепи, концентрационные по отношению к электродам (цепи «амальгамного» типа). Электроды сравнения для расплавленных солей. Термодинамические свойства разбавленных растворов расплавленных солей.

Кинетика электродных процессов в расплавленных солях. Особенности строения двойного слоя на границе металл - расплавленная соль. Электрокапиллярные явления. Виды поляризации на электродах, методы их использования и блокирования.

Взаимодействие расплавленных солей с металлами и газами. Растворимость металлов в солях, методы изучения, природа растворов. Свойства систем металл - соль. Термодинамика равновесия металл - соль. Влияние разбавления металлической или солевой фаз на взаимную растворимость и протекание обменных реакций. Растворимость газов в расплавленных солях, природа этих растворов.

Катодный выход по току и анодный эффект. Потери металла. Механизм потерь металла. Выход по току при совместном разряде ионов на катоде. Анодный эффект, его сущность и механизм возникновения.

2 ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ

2.1 Metallurgy of cast iron

2.1.1 Theoretical foundations of preparation of iron for casting and production of cast iron.

Разложение гидратов и карбонатов. Кинетика и механизм твердофазных реакций. Физико-химические основы спекания дисперсных материалов в твердой фазе.

Восстановление оксидов металлов. Влияние реакции газификации углерода на восстановление оксидов железа. Кинетика и механизм восстановления оксидов газами. Влияние различных факторов на скорость восстановления оксидов в твердом и жидком состоянии.

Процессы горения газообразного и жидкого топлива. Теоретические основы теплообмена в слое кусковых материалов.

Движение газа и шихты в печи.

Взаимодействие между чугуном и шлаком. Термодинамика и кинетика десульфурации чугуна.

2.1.2 Preparation of raw materials for casting

Классификация железорудных материалов и оценка их качества. Месторождения железных руд в Казахстане и за рубежом. Марганцевые руды и их качества. Флюсы. Заменители руд и флюсов. Топливо доменной печи.

Коксование углей и качество кокса.

Схемы подготовки руд к плавке. Дробление, грохочение и обогащение руд. Усреднение состава сырых руд.

Физико-химические основы агломерации. Газодинамика агломерационного процесса. Теплообмен в слое и тепловые балансы процесса. Технология агломерационного производства. Методы интенсификации процесса. Metallurgical properties of agglomerate. Schemes of agglomerating plants and construction of aggregates and devices. Technico-economic indicators of production.

Физико-химические процессы, протекающие при комковании и обжиге. Теплообмен и тепловой баланс процесса. Технология производства окатышей. Методы интенсификации процесса. Metallurgical properties of sinter. Technico-economic indicators of sintering plant work.

2.1.3 Blast furnace process

Процессы разложения материалов и восстановления оксидов. Термодинамика восстановления оксидом углерода, водородом, углеродом. Восстановление железа из сложных соединений. Восстановление оксидов кремния, марганца, фосфора, хрома и др. Выплавка литейных и специальных чугунов. Прямое и не прямое восстановление. Показатели восстановительных процессов в доменной печи. Кинетические закономерности восстановления.

Науглероживание металла и формирование чугуна. Качество чугуна. Шлакообразование. Свойства шлаков и их влияние на ход доменной плавки. Использование доменных шлаков в промышленности.

Десульфурация чугуна в доменных печах. Внедоменная десульфурация чугуна.

Процессы в горне печи. Горение топлива у фурм. Вторичное окисление элементов. Теплообмен в доменной печи. Тепловые балансы и показатели тепловой работы печи.

Распределение газов по сечению печи. Распределение материалов на колошнике. Изменение давления газов по высоте печи и эффективность повышения давления в печи. Методы интенсификации доменной плавки. Нагрев дутья. Комбинированное дутье. Вдувание горячих восстановительных газов. Плавка на металлизированной шихте. Расчеты показателей доменной плавки. Определение производительности, интенсивности плавки, расходов компонентов шихты и др. Мероприятия по повышению качества чугуна.

2.1.4 Конструкция доменных печей, оборудование доменных цехов и ведение доменной плавки

Профиль печи. Подача материалов к доменной печи. Устройство для уборки чугуна и шлака. Разливочная машина. Очистка доменного газа. Устройство и режим работы воздухонагревателей. План доменного цеха.

Ведение доменной плавки. Сушка и задувка печи. Остановка и выдувка печи. Расстройство хода и его устранение. Контроль хода плавки. Методы регулирования хода и режима работы печи.

Технико-экономические показатели плавки. Производительность простой печи. Расходы электроэнергии, пара, воды и др. Капитальные затраты и амортизационные расходы. Себестоимость.

Автоматизация производства агломерата, окатышей и чугуна. Описание технологических процессов как объектов управления. Методы сбора информации. Системы автоматического управления и применение ЭВМ. Техника безопасности при работе в доменных цехах.

2.2 Прямое получение железа и стали

Получение частично металлизированных агломератов и окатышей. Использование газообразного и твердого восстановителей. Получение газов-восстановителей. Требования к исходным железорудным материалам. Методы и аппараты получения металлизированных материалов. Технико-экономические показатели процессов. Проблема использования атомной энергии в металлургии.

2.3 Теоретические основы сталеплавильного производства

Окисление примесей сталеплавильной ванны. Термодинамика и кинетика окисления углерода. Механизм окисления углерода. Термодинамика окисления кремния, марганца и хрома. Термодинамика и кинетика совместного окисления нескольких компонентов стальной ванны.

Физико-химические основы окисления фосфора и удаления серы. Влияние состава шлака и температуры металла на коэффициенты распределения фосфора и серы между металлом и шлаком. Кинетика перехода фосфора и серы из металла в шлак.

Растворимость кислорода в железе. Термодинамика раскисления стали. Раскислительная способность отдельных раскислителей. Анализ кривой раскисления.

Комплексное раскисление стали. Раскислительная способность шлака. Электрохимическая природа процессов раскисления.

Влияние неметаллических включений на свойства стали. Классификация неметаллических включений. Образование, укрупнение и удаление включений. Их ассимиляция шлаковой фазой. Управление поведением неметаллических частиц в расплавах и регулирование содержания размеров и природы включений в готовом металле.

Термодинамика растворения газов и стали. Водород в стали, его влияние на свойства стали. Растворимость водорода в железе, влияние температуры, химического состава стали на растворимость водорода.

Поведение водорода в процессе выплавки стали. Роль шлаков как защитной среды (растворимость водорода в шлаках, формы существования водорода в шлаках, массоперенос его в шлаках).

Азот в стали, положительное и отрицательное влияние азота в железе на служебные свойства стали. Растворимость азота в железе и его сплавах, влияние температуры и состава сплава. Условия нитридообразования. Поведение азота в шлаке и в ваннах сталеплавильных агрегатов. Взаимодействие азота с металлом в условиях дугового нагрева.

2.4. Сталеплавильное производство

2.4.1 Производство стали в конвертерах

Конструкция конвертеров для верхней и донной продувки. Механизм и основные закономерности взаимодействия газовой струи с жидкой металлической ванной. Массообмен в системе газ – металл - шлак. Реакционная зона конвертера, ее температурный режим, образование бурого дыма, окислительные процессы в реакционной зоне.

Кинетика растворения твердых материалов в жидких расплавах (плавление скрапа, растворение шлакообразующих, влияние шлаков на огнеупорную кладку).

Особенности окисления примесей металлической ванны при кислородно-конвертерных процессах. Передел чугунов с повышенным содержанием фосфора. Передел ванадиевых чугунов. Поведение серы при кислородно-конвертерном процессе. Служба футеровки конвертера. Особенности конвертерного процесса с продувкой кислородом через дно. Комбинированные процессы. Пути повышения доли лома.

Технология плавки в кислородных конвертерах, методы контроля и управления ходом плавки. Организация плавки, раскисления и легирования. Качество кислородно-конвертерной стали в сравнении с мартеновской и электросталью. Техничко-экономические показатели конвертерной плавки. Пути дальнейшего совершенствования кислородно-конвертерного процесса и повышения качества стали.

2.4.2 Производство стали в мартеновских печах

Элементы конструкции мартеновских печей. Тепловая работа. Особенности внешнего теплообмена в печах, работающих при продувке металла кислородом.

Шихтовка плавки. Работа в условиях недостатка жидкого чугуна. Особенности окисления углерода при скрап-процессе. Поведение кремния, марганца и фосфора при разных вариантах подового процесса. Поведение серы в процессе плавки.

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

2.4.3 Электросталеплавильное производство

Состояние и перспективы развития электросталеплавильного производства.

Исходные материалы электроплавки и их подготовка. Окислительный период. Дефосфорация и обезуглероживание металла. Методы обеспечения чистоты стали по водороду и азоту.

Восстановительный период плавки. Глубинное и диффузионное раскисление металла. Десульфурация. Пути сокращения длительности восстановительного периода.

Особенности технологии плавки в сверхмощных печах. Одношлаковая технология. Применение порошкообразных материалов в электроплавке.

Выплавка электростали на шихте из легированных отходов. Особенности обезуглероживания хромосодержащих расплавов. Технология выплавки коррозионностойких сталей. Применение аргоно-азотно-кислородной продувки при выплавке коррозионностойких сталей. Особенности технологии выплавки электротехнической стали, подшипниковой и быстрорежущей.

Выплавка электростали в печах с кислой футеровкой. Особенности процесса, область применения. Ослабление вредного влияния серы в кислой стали.

Выплавка сталей и сплавов в индукционных печах, достоинства и недостатки процесса. Область применения. Изготовление и эксплуатация футеровки.

Электросталеплавильные цехи. Техничко-экономические показатели производства.

2.5. Внепечная обработка

Цели и задачи внепечного рафинирования. Применяемые методы. Раскисление и легирование стали в ковше. Способы достижения равномерности распределения примесей по высоте ковша.

Обработка металла синтетическим шлаком. Выбор состава шлака. Механизм рафинирования. Применение самоплавких и экзотермических шлаковых смесей. Влияние обработки металла шлаком на качество стали. Вакуумирование стали. Теоретические основы. Пределы удаления примесей. Раскисление и дегазация стали. Влияние способов вакуумирования на качество стали, их эффективность. Вакуумное обезуглероживание стали. Продувка металла в ковше инертными газами. Применяемые способы. Дегазация. Удаление неметаллических включений, усреднение состава и температуры металла. Продувка металла порошкообразным материалом в ковше. Техничко-экономические показатели.

2.6. Разливка и кристаллизация стали

Теоретические основы кристаллизации. Гомогенное и гетерогенное зарождение, механизм роста кристалла. Агрегация примесей. Кристаллизация в интервале температур. Двухфазная зона. Физические методы воздействия на процесс затвердевания стали, управление кристаллической структурой стального слитка. Пороки слитков «кипящего» металла, методы ограничения их развития. Внутренние и внешние дефекты слитков «спокойной» стали, управление распределением сегрегатов, газов, неметаллических включений. Пути повышения плотности слитка. Слиток «полуспокойный». Особенности разливки высококачественных сталей. Современные способы защиты металлов от вторичного окисления и обеспечения хорошей поверхности слитка. Методы уменьшения головной обрезки слитка. Особенности формирования непрерывнолитых заготовок, их пороки и меры борьбы с ними. Тепловая работа кристаллизации и зоны вторичного охлаждения. Образование горячих трещин в литых заготовках. Макро- и микроликвация в непрерывнолитых заготовках.

Современные тенденции в технологии непрерывного литья заготовок и в конструировании МНЛЗ (машин непрерывного литья заготовок).

2.7 Спецэлектрметаллургия

Физико-химические основы вакуумной плавки. Взаимодействие углерода с кислородом. Процессы раскисления и удаления неметаллических включений. Поведение газов. Взаимодействие расплава с футеровкой. Вакуумная индукционная плавка (ВИН). Применяемые огнеупоры. Технология плавки. Продувка и обдувка металла газами. Вакуумный дуговой переплав (ВДП). Особенности электрического режима. Температурный режим. Строение жидкой ванны и динамика ее изменения. Механизм рафинирования ме-

талла. Структура металла при ВДП, пути управления ее формированием. Основные дефекты слитков ВДП и пути их предупреждения.

Электрошлаковый переплав (ЭШП). Флюсы ЭШП. Жидкая ванна и ее связь с параметрами процесса. Механизм рафинирования. Разновидности электрошлаковой технологии.

Плазменная плавка и плазменно-дуговой переплав (ПДП). Особенности горения плазменной дуги. Взаимодействие металла с газами в условиях плазменного переплава. Легирование металла азотом. Электронно-лучевой переплав (ЭЛП). Кинетика рафинирования металла от примесей при ЭЛП. Техничко-экономические показатели спецэлектроталлургии.

2.8 Производство ферросплавов

Современное состояние и перспективы развития ферросплавной промышленности. Классификация процессов получения ферросплавов. Термодинамическая оценка условий восстановления оксидов.

Карботермические процессы. Физико-химические основы восстановления оксидов углерода. Восстановление кремния. Возможные промежуточные реакции. Роль монооксида кремния и карбида кремния. Роль железа. Восстановление кальция. Совместное восстановление кальция и кремния. Восстановление марганца из оксидов и силикатов. Роль карбидов марганца. Восстановление марганца, хрома и других элементов из оксидов хромовой руды. Борьба с избыточным углеродом и кремнием при производстве высокоуглеродистого феррохрома. Методика расчета шихты при карботермических процессах. Управление процессами с помощью ЭВМ. Окислительные методы рафинирования ферросплавов от углерода. Производство низкоуглеродистых сплавов силикотермическими методами в печах, запальных шихтах и методом смещения расплавов.

Металлотермические процессы. Физико-химические основы металлотермии. Пути повышения извлечения ведущих элементов. Использование шлаков ферросплавного производства.

Вакуумно-термические процессы. Физико-химические основы. Особенности дегазации ферросплавов в твердом состоянии. Вакуумная плавка и обработка жидких ферросплавов под вакуумом.

Азотированные ферросплавы. Физико-химические основы взаимодействия азота с ведущими элементами ферросплавов в твердом и жидком состоянии. Определение температуры и времени азотирования.

2.9 Автоматизированное управление процессами производства

Характеристика процессов производства стали (ППС) как объектов автоматизации; периодичность и непрерывность. Входные (измеряемые, управляющие, возмущающие) и выходные (режимные) переменные факторы. Параметры оптимизации и предъявляемые к ним требования.

Математическая модель, задачи и этапы математического моделирования ППС. Методы построения математических моделей ППС (экспериментальные, детерминированный подход, стохастические). Выбор и отсеивание фактора ППС (обоснование вида уравнения. Допущение при включении этих уравнений в состав математического описания). Статистические, динамически стохастические модели и адаптивные модели. Идентификация математических моделей ППС и определение коэффициентов уравнений по экспериментальным данным. Критерии оценки точности математических моделей.

Методы получения рабочей информации о ППС. Локальные системы автоматического контроля и регулирования параметров ППС. Автоматическая система управления технологическим процессом (АСУТП). АСУТП плавки разливки и внепечной обработки стали (структурные схемы, функционирование, эффективность). Применение микропроцессорной техники в металлургическом производстве.

2.10 Охрана окружающей среды от вредных выбросов металлургических предприятий

Сокращение вредных выбросов за счет проведения технологических и планировочных мероприятий.

Способы очистки вредных выбросов от пыли и газообразных компонентов. Оценка качества очистки различными методами и аппаратами. Основы технико-экономического выбора оптимального способа очистки. Методы и схемы очистки газов в различных металлургических производствах.

Рассеивание вредных выбросов в атмосфере. Предельно-допустимые концентрации вредных веществ.

Борьба с выбросами вредных веществ в водоемы

3 ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ

3.1. Технология производства тяжелых цветных металлов. Общие принципы извлечения меди, никеля, свинца, цинка из руд и концентратов.

Производительность пирометаллургических агрегатов. Лимитирующие стадии. Распределение ценных компонентов между продуктами плавки. 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. Характеристика продуктов плавки. Тепловой КПД. Возможные способы утилизации тепла. Основные технико-экономические показатели.

Электроплавка медных концентратов. Преимущества и недостатки. Автогенные процессы в металлургии меди. Их преимущества и недостатки.

Конструкция и содержание инфраструктуры плавильных агрегатов. Методы шихтоподготовки и опробования. Типы потерь ценных компонентов со шлаками и газами.

Основы барботажных процессов в пирометаллургии (Плавка Ванюкова. КИВЦЭТ-процесс. Процессы Оутокумпу, Норанда, Уоркра).

Переработка штейнов на черновую медь. Тепловой и температурный режим процесса конвертирования. Использование воздуха, обогащенного кислородом. Показатели процесса. Переработка анодных шламов. Основные технико-экономические показатели.

Гидрометаллургия меди. Подготовка сырья к гидрометаллургической переработке. Химизм основных реакций выщелачивания. Практика кучного, бактериального и автоклавного выщелачивания. Техничко-экономические показатели процессов. Применение различных энергетических факторов в процессах кучного выщелачивания.

3.3. Переработка никелевых руд и концентратов

Способы подготовки окисленных никелевых руд к плавке в шахтных печах. Их преимущества и недостатки. Характеристика продуктов шахтной плавки. Техничко-экономические показатели.

Конвертирование никелевых штейнов. Поведение кобальта. Современные способы переработки конвертерных шлаков с целью извлечения из них кобальта. Их преимущества и недостатки. Переработка файнштейна. Схема производства металлического кобальта.

Подготовка окисленных никелевых руд к плавке в электропечах на ферроникель. Теория и практика плавки. Рафинирование чернового ферроникеля. Техничко-экономические показатели. Перспективы различных процессов.

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

Барботажные процессы как метод интенсификации процессов в технологии получения никеля.

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 оксидного сырья. Пути повышения комплексного использования сульфидного медно-никелевого сырья.

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 драгметаллов в главных переделах технологических схем.

Основные принципы переработки арсенидных руд, проблема вывода мышьяка.

Энергетические проблемы и экономика различных технологических процессов переработки никелевых руд и концентратов.

3.4. Переработка свинцовых концентратов.

Агломерирующий обжиг свинцовых концентратов. Восстановительная плавка свинцового агломерата. Поведение свинца и металлов-спутников при плавке. Техничко-экономические показатели плавки.

Рафинирование черного свинца и переработка промпродуктов.

Способы переработки шлаков, пылей. Переработка вторичного свинцового сырья. Электротермические процессы.

Теория и практика процесса КИВЦЭТ-ЦС.

Автоклавные и гидрометаллургические способы переработки свинцовых концентратов. Их преимущества и недостатки. Схемы попутного извлечения серы и металлов-спутников при переработке свинцовых концентратов. Пылеулавливание. Методы и оборудование пылеулавливания. Показатели работы пылеулавливателей.

Преимущества и недостатки применения расплавленной ванны в металлургии свинца, КИВЦЭТ-ЦС, процесс QSZ.

Техника безопасности при производстве свинца и охрана окружающей среды.

3.5 Переработка цинковых концентратов

Сравнение эффективности пиро- и гидрометаллургических методов получения цинка.

Обжиг цинковых концентратов.

Пирометаллургические методы получения цинка. Электротермия цинка. Особенности получения цинка в шахтных печах.

Рафинирование черного цинка.

Гидрометаллургия цинка, Выщелачивание цинковых огарков и очистка растворов от примесей. Электроосаждение цинка. Совершенствование процессов получения цинка. Техника безопасности и охрана окружающей среды.

Переработка промпродуктов цинкового производства. Комплексное использование цинкосодержащего сырья.

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. Амальгамирование платины.

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

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 и ионообменными 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.

Переработка упорных мышьяксодержащих руд и концентратов.

Аффинаж золота, серебра и металлов платиновой группы, электролитический аффинаж.

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

3.7. Технология производства легких цветных металлов и сплавов

3.7.1. Получение магния

Свойства и применение магния. Характеристика исходных материалов. Получение безводного хлористого магния и бишофита. Обезвоживание карналлита, получение искусственного карналлита.

Состав и свойства электролитов. Гидродинамика электрода и катодный выход по току. Влияние примесей и добавок в электролит на катодный процесс. Образование шлама. Техника электролитического получения магния. Конструкция электролизеров, их сравнительная характеристика. Технология обслуживания. Устройство цехов электролиза. Отсос хлора и катодных газов. Техника безопасности и мероприятия по охране окружающей среды. Техничко-экономические показатели электролиза. Рафинирование магния-сырца переплавкой с флюсами. Электролитическое рафинирование магниевых лома и отходов. Комплексное использование магниевого сырья.

3.7.2. 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. Принципиальная технологическая схема способа Байера. Технологические параметры основных переделов и характеристика оборудования.

Переработка алюмосиликатов и высококремнистых бокситов гидрощелочным способом. Основные реакции. Технологические параметры основных переделов. Принципиальные технологические схемы. 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.

Комплексная переработка нефелинов. Характеристика нефелинов и нефелино-сиенитовых 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.

Производство фтористых солей и электродов. Производство криолита кислотным способом: основные реакции, технологическая схема и аппаратура. Производство электродов. Теория электролиза криолито-глиноземных расплавов. Свойства и строение электролитов. Основные диаграммы состояния. Механизм катодного процесса, поведение натрия, катодный выход по току. Анодный процесс. Потенциалопределяющие 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. 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.

Технология самообжигающего 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 его анализы. ГОСТ на алюминий.

Электролитическое рафинирование алюминия. Свойства и применение алюминия высокой чистоты.

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, плазменных, отражательных печах. Роль флюсов при плавке отходов и лома алюминия. Методы рафинирования расплавов от неметаллических и металлических примесей.

3.7.3 Получение титана

Свойства и применение титана. Исходное сырье и материалы. Получение ильменитовых концентратов. Сопутствующие металлы. Технология и особенности электротермического получения титановых шлаков. Технология переработки рутиловых концентратов, получение синтетического диоксида титана. Строение и структура титановых шлаков, структура оксидных соединений титана.

Магниетермический (процесс Кролля) и натриетермический способы получения титановой губки. Теория и технология хлорирования оксидных соединений титана. Процессы и аппараты хлорирования. Способы конденсации парогазовых смесей, аппаратура и технология конденсации. Очистка тетрахлорида титана от примесей (ректификация, дистилляция, очистка химреагентами и низшими хлоридами). Очистка тетрахлорида титана от ванадия (строение жидких хлоридов, химия очистки от ванадия).

Металлотермическое получение титановой губки. Технология и аппаратура. Непрерывные и полунепрерывные процессы получения губчатого титана. Йодидный метод получения титана. Электролиз соединений титана.

3.8 Технология производства редких и радиоактивных металлов

3.8.1 Тугоплавкие редкие металлы

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

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 оксидов вольфрама и молибдена водородом, практика процесса. Основы производства компактных вольфрама и молибдена методом порошковой металлургии и дуговой, электроннолучевой плавки. 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 (тантал-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 титана и ниобия восстановлением хлоридов. Физико-химические основы различных способов производства титана и ниобия.

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

Комплексное использование циркониевого сырья. Общий обзор способов получения циркония с учетом особенностей свойств этого металла.

Физико-химические свойства и практика магнийтермического способа производства циркония из хлоридов. Электролитический способ получения циркония.

Электролитическое рафинирование циркония.

Производство компактного циркония методом плавки. Порошковая металлургия циркония.

Техника безопасности и охрана окружающей среды в производстве циркония.

3.8.2 Рассеянные редкие металлы

Общая характеристика рассеянных редких металлов, источники их получения. Экономическое значение комплексности использования сырья. Технология попутного извлечения галлия в производстве глинозема, индия – в производстве цинка и свинца; таллия, селена и теллура – при переработке сульфидного сырья цветных металлов; германия – при переработке медного сырья и углей; рения – в производстве меди и молибдена.

3.8.3 Редкоземельные и радиоактивные металлы

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

Электролитические и металлургические способы получения редкоземельных металлов.

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

3.8.4 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 электролитические 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, вакуумтермическим способом. Способы рафинирования лития.

Техника безопасности в производстве бериллия и лития.

3.8.5 Ванадий. Физико-химические свойства ванадия и его соединений.

Ванадийсодержащее сырье и способы его переработки. Минералы и руды ванадия. Получение ванадийсодержащих шлаков. Переработка ванадийсодержащих шлаков. Переработка других видов ванадийсодержащего сырья. Феррованадий. Технология производства феррованадия.

3.8.6 Производство лигатур и комплексных ферросплавов

Требования к рудам и их выбор. Восстановители и флюсы. Некоторые способы подготовки сырьевых материалов к плавке.

Производство феррониобия, ферросиликованадия, ферромолибдена и комплексных лигатур на их основе.

3.8.7. Геотехнологические способы добычи полезных ископаемых

Определение и основные характеристики процесса подземного и кучного выщелачивания (плотность орошения, пауза в орошении, концентрация растворителя). Основные экологические требования при организации подземного и кучного выщелачивания.

Химизм и кинетика растворения медных минералов (халькопирита, халькозина, хризоколлы, малахита и азурита) при кучном и подземном выщелачивании.

Химизм выщелачивания свинцовых и цинковых минералов.

Осаждение металлов из растворов после подземного или кучного выщелачивания.

Участие микроорганизмов в процессах выщелачивания сульфидных руд.

Кучное выщелачивание меди на рудниках Коунрад и Николаевский (Казахстан) и Бингем-Каньое (США).

Технологическая схема подземного выщелачивания свинца и цинка на руднике Кок-Су (Казахстан). Получение товарных цинковых и свинцовых продуктов. Извлечение серебра и кадмия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юсфин Ю.С., Пашков Н.Ф. *Металлургия железа. Учебник для вузов.* – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007.
2. Юсфин Ю.С., Пашков Н.Ф. *Металлургия железа.* - М.: ИКЦ «Академкнига», - 2007.
3. Воскобойников В.Г. *Общая металлургия.* - М.: Металлургия, 2002
4. А.А., Пашков Н.Ф. *Новые процессы получения металла,* - М.: Металлургия, 1994.
5. Вегман Е.Ф., Гупта С.К., Литвиненко В.И. *Металлургическая переработка железных руд.* - М.: Металлургия, 1990.
6. Гиммельфарб Кунаев А.М., Бейсембаев Б.Б. и др. *Кучное выщелачивание медных руд окисленной зоны Актогайского месторождения.* В кн.: Проблемы развития

- промышленности на базе рационального использования минерально-сырьевых ресурсов, 1987.
7. Григорян В.А., Белянчиков Л.Н., Стемахин А.Я. Теоретические основы Электросталеплавильного производства. - М., Metallurgy, 1987.
 8. Б.Б., Катков Ю.А. Подземное выщелачивание свинцово-цинковых руд. Алма-Ата: Наука, 1986.
 9. А.В. Электросталеплавильные печи черной металлургии. - М., Metallurgy, 1985.
 10. Егоров Электросталеплавильная сталь и ферросплавов. Под ред. Поволоцкого Д.Я. - М.: Metallurgy, 1984.
 11. Металлургия стали, под ред. В.И.Явойского и Ю.В.Краковского. - М. : Metallurgy, 1983.
 12. Баптизманский В.И., Охотский В.Б. Физико-химические основы кислородно-конвертерного процесса. Киев - Донецк. Изд. «Вища школа», 1981.
 13. Юсфин Ю.С., Данышин В.В., Пашков Н.Ф. Теория металлизации железорудного сырья. - М.: Metallurgy. 1981.
 14. Зайцев В.Я., Маргулис Е.В. Металлургия свинца и цинка. - М.: Metallurgy, 1981.
 15. Явойский В.И., Близнюков С.А., Вишкарев А.Ф.. Включения и газы в сталях - М.: Metallurgy, 1979.
 16. Вегман Е.Ф., Похвинцев А.Н., Юсфин Ю.С., Жеребин Б.Н. Металлургия чугуна. - М.: Metallurgy, 1978, второе изд. 1988.
 17. Старк С.Б. Пылеулавливание и очистка газов в металлургии. - М.: Metallurgy, 1977.
 18. Гасик М.И., Емлин Б.И., Лякишев Н.П. Теоретические и технологические основы Зеликман А.Н., Вольдман Г.М., Белявская Л.В. Теория гидрометаллургических процессов - М.: Metallurgy, 1974.
 19. Г. Кньюпель. Раскисление и вакуумирование стали. - М.: Metallurgy, т. 1, 1974; т.2, 1984.
 20. Вегман Е.Ф. Теория и технология агломерации. - М.: Metallurgy, 1974 г.
 21. Ванюков А.В., Зайцев В.Я. Теория пирометаллургических процессов. - М.: Metallurgy, 1973.
 22. Зеликман А.Н., Меерсон Г.А. Металлургия редких металлов. - М.: Metallurgy, 1973.
 23. Масленицкий И.Н., Чугуев Л.В. Металлургия благородных металлов. - М.: Metallurgy, 1972.
 24. Стрелец Х.Л. Электрохимическое производство магнезии. - М.: Metallurgy, 1972.
 25. Синавер В.В., Цендлер А.А. Гидрометаллургия (Зарубежный опыт). - М.: Цветметинформ, 1971.
 26. Справочник металлурга по цветным металлам. Производство алюминия: Справочное издание / Ред.: Ю.В. Баймаков, А.А. Костюков и др. - М.: Metallurgy, 1971.
 27. Кунаев А.М., Бейсембаев Вольский А.Н., Сергиевская Е.М. Теория металлургических процессов. - М.: Metallurgy, 1970.
 28. Беляев А.И. Металлургия легких металлов. - М.: Metallurgy, 1970.
 29. Ларионов Г.В. Вторичный алюминий. - М.: Metallurgy, 1967.
 30. Основы металлургии, т IV. - М.: Metallurgy, 1967.
 31. Смирнов В.И., Цейдлер А.А., Худяков И.Ф., Тихонов А.И. Металлургия меди, никеля и кобальта, т. I, II - М.: Metallurgy, 1964, 1966.
 32. Баймаков Ю.В., Ветюков М.М. Электролиз расплавленных солей. - М.: Metallurgy, 1966.
 33. Кузнецов С.И.; Деревянкин В.А. Физическая химия процесса производства глинозема по способу Байера - М.: Metallurgizdat, 1964.
 34. Есин О.А., Гельд П.В. Физическая химия пирометаллургических процессов - М.: Metallurgy, ч. 1, 1962; ч. II 1966.
 35. Лоскутов Ф.М. Металлургия свинца и цинка - М.: Metallurgizdat, 1962.

36. Основы металлургии. Т. 1, II - М.: Металлургиздат, 1961, 1962.
37. Зеликман А.Н. Металлургия редкоземельных металлов, тория и урана. - М.: Металлургиздат, 1961.
38. Лайнер А.И. Производство глинозема - М.: Металлургия, 1961
39. Иванов В.И., Нагирняк Ф.И., Степанов Б.А. Бактериальное окисление сульфидных руд. - М.: Микробиология, 1961.