ПРОГРАММА
вступительных экзамена по специальности
05.16.02 «Металлургия черных, цветных и редких металлов»
по техническим наукам

Введение

Настоящая программа базируется на следующих разделах: основы термодинамики, физико-химические основы металлургических процессов, теория пиро- и гидро- металлургических процессов, механика жидкостей и газов, тепло- и массобменные процессы, конструкции металлургических печей, технология производства черных, цветных и редких металлов, автоматизированное управление процессами производства, охрана окружающей среды.

Программа разработана на основе кандидатского минимума по специальности **05.16.02 «Металлургия черных, цветных и редких металлов»** по техническим наукам Высшей аттестационной комиссии Министерства образования Российской Федерации по металлургии и металловедению при участии Московского государственного институтом стали и сплавов (технологического университета).

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, изобарно-изотермический и изохорно-изотермический потенциал). Термодинамика сплавов. Идеальные и реальные растворы. Термодинамическая активность. Расчеты равновесия в растворах. Фазовые переходы. Диаграммы фазового равновесия двухкомпонентных систем. Диаграммы состояний Me-O, Me-S.

Кинетика металлургических реакций

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

1.2. Теория пирометаллургических процессов

Строение и свойства жидких металлов

Жидкое состояние как промежуточное между твердым и газообразным. 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. Понятие емкостей шлаков. Способы расчета активности в шлаковых системах.

Твердофазные процессы

Общее понятие о твердофазных процессах и их роли в металлургических технологиях. Точечные дефекты твердых тел.

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. Ферритообразование в металлургических процессах. Низкотемпературные превращения в системе Fe-O. Образование сложных алюмосиликатов, аморфные твердые тела.

Основы процессов восстановления

Структура и свойства оксидов черных, цветных и редких металлов. Термодинамика восстановления оксидов. Особенности восстановления монооксидом углерода, водородом и твердым углеродом.

Науглероживание элементов

Диаграммы состояния Me-C. Активность углерода в науглероженном металле. Стадии науглероживания.

Процессы взаимодействия в системах металл-шлак

Вязкость жидких металлов и сплавов. Диффузионная подвижность компонентов в жидких металлах и сплавах. Внешний и внутренний массоперенос. Конвективная диффузия в жидкости. Физические свойства шлаков. Способы оценки окисленности и основности шлаков. Электропроводность жидких металлов и шлаков. Явления смачивания и растекания на межфазных границах. Основы кинетики окислительных процессов. Окисление углерода. Окисление сульфидов и взаимодействие и оксидов. Расслаивание в жидких сульфидно-оксидных системах. Растворимость металлов и сульфидов в шлаках.

Основы процессов испарения и конденсации

Очистка металлов ректификацией. Кристаллизационные методы очистки металлов. Строение солей с промежуточным типом связи.

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.

Термодинамические свойства расплавленных солей

Парциальные и интегральные термодинамические характеристики, связь между ними, уравнение Гиббса-Дюгема. Активность и коэффициент активности, избыточные функции. Статические, динамические и кинетические методы определения давления пара. Определение парциальных термодинамических свойств по результатам измерений электродвижущих сил. Химические цепи, их конструкции.

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.

1.3. Теория гидрометаллургических процессов

Термодинамика простого растворения ионных кристаллов в воде. Свойства воды как растворителя, взаимодействие ионов с молекулами воды.

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 - pH и их использование для термодинамического анализа равновесий в системах, содержащих твердые фазы и растворы.

Кинетика и механизм процессов выщелачивания. Стадии выщелачивания, внешнедиффузионная, внутридиффузионная и кинетическая области протекания процесса. Обобщающее выражение для скорости взаимодействия в системе твердое-жидкость.

Закономерности протекания процесса во внешнедиффузионной области. Основные положения теории массопередачи. Теория пограничного слоя жидкости, примыкающего к

поверхности твердого тела. Молекулярная и конвективная диффузия. Признаки протекания процесса во внешнедиффузионной области.

Закономерности протекания процесса во внутридиффузионной области. Зависимость скорости выщелачивания твердого вещества от наличия дефектов в его кристаллической решетке.

Особенности механизма и обобщенное уравнение скорости процесса с участием газообразного реагента.

Общая характеристика процессов ионного обмена. Основные характеристики сорбентов. Ионообменное равновесие. Изотермы ионного обмена. Кинетика и механизм ионного обмена. Общая характеристика процессов экстракции, примеры их использования. Основные типы органических экстрагентов и разбавителей.

Кинетика экстракции и реэкстракции.

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

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

Зависимость pH 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.

Области применения кристаллизации в гидрометаллургии.

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.

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

Термодинамика процесса осаждения металлов газами-восстановителями. Особенности термодинамики процесса при выделении металла из аммиачных растворов.

1.4. Теория электрометаллургических процессов

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. Кинетика электродных процессов. Поляризация электродов, основные виды поляризации.

Электролиз

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

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.

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

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

Основы теории подобия 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.

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.

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.

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.

Гидродинамика жидкой ванны

Гидродинамика барботажного слоя. Взаимодействие на поверхности раздела фаз. Газовая струя в жидкой ванне. Подача газа через фурму, расположенную под уровнем жидкости.

Горение

Общая характеристика видов топлива, применяемых в металлургии. Общая характеристика процессов горения. Смесеобразование. Смешение в турбулентных струях.

Возникновение пламени. Цепное самовоспламенение. Пределы воспламенения. Тепловая теория воспламенения. Концентрационные пределы воспламенения.

Горение газообразного топлива. Горение отдельных составляющих газообразного топлива. Кинетическое горение. Диффузионное горение.

Горение жидкого топлива. Распыливание. Воспламенение. Горение капли.

Горение твердого топлива. Летучие. Горение углерода.

Коксование

Требования к углям, идущим на коксование. Тепловая работа и конструкция коксовых батарей.

Сушка

Характеристики сушимого материала и сушильных агентов. Тепло- и массообмен в процессе сушки. Использование *h*-*d*-диаграмм для расчетов процессов сушки.

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. Предельная степень обогащения. Энергозатраты на дробление, грохочение и обогащение. Выбросы в окружающую среду при дроблении, грохочении и обогащении.

Окускование 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.

Получение железорудных окатышей. Физико-химические процессы при формировании сырых окатышей и их упрочнении. Поведение попутных элементов. Технология производства 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. Кинетика восстановления в доменных печах и влияние различных факторов на скорость восстановления. Показатели развития процесса восстановления в доменных печах.

Науглероживание железа и формирование чугуна. Качество чугуна. Шлакообразование в доменных печах. Свойства шлака.

Горение топлива у фурм доменной печи. Верхняя и нижняя ступени теплообмена. Тепловые балансы плавки. Движение газа и материалов в доменной печи. Формирование газа и его движение в слое.

Конструкция доменных печей. Профиль печи. Футеровка и кожух. Система охлаждения. Чугунная и шлаковая летки. Воздушные фурмы. Засыпной аппарат.

Оборудование доменных цехов. Подача материалов к доменной печи. Устройства для уборки чугуна и шлака. Разливочная машина. Очистка доменного газа.

Управление доменной плавкой. Эксплуатация доменной печи.

Внедоменное получение первичного металла

Твердофазные процессы производства первичного металла. Сырье и топливо. Физико-химические особенности процесса. Степень металлизации. Качество металлизованного сырья. Агрегаты для твердофазного получения первичного металла. Энергозатраты и выбросы в окружающую среду. Экономика производства.

Жидкофазные процессы. Физико-химические особенности жидкофазных процессов. Сырье и топливо. Качество продукции. Агрегаты для жидкофазного восстановления.

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.

Термодинамика окисления кремния, марганца и хрома. Кинетика совместного окисления. Физико-химические основы окисления фосфора и удаление серы.

Раскисление стали

Термодинамика раскисления стали. Раскислительная способность отдельных раскислителей. Анализ изотерм раскисления. Зависимость активности кислорода от концентрации раскислителя. Раскисление комплексными раскислителями.

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. Свойства основных раскислителей.

Газы в стали и методы борьбы с ними

Водород в стали, его влияние на свойства стали, пороки, вызываемые присутствием водорода в стали и его выделением из раствора в отдельную фазу. Растворимость водорода в железе и стали, влияние температуры, аллотропических превращений и химического состава на растворимость водорода.

Поведение водорода в процессе выплавки стали (в мартеновских печах, кислородных конвертерах, дуговых печах).

Азот в стали, влияние азота на служебные свойства низкоуглеродистых сталей, старение стали и азота, азот как легирующий элемент и заменитель дорогостоящих компонентов сталей. Температурные условия формирования и диссоциации нитридов. Кинетика массообмена азота между газовой фазой и металлом, тормозящее звено процесса в разных условиях взаимодействия жидких металлов и газов.

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.

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

Пороки слитков «кипящего» металла, методы ограничения их развития. Внутренние и внешние дефекты слитка спокойной стали, управление распределением сегрегатов, газов, неметаллических включений, пути повышения плотности слитка.

Слиток «полуспокойной» стали.

Особенности формирования слитков, отлитых на МНЛЗ. Пороки литых заготовок, их причины и меры, принимаемые для ограничения развития отдельных видов пороков.

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

Истечение газовой струи из сопла. Механизм и основные закономерности взаимодействия газовой струи с жидкой металлической ванной.

Кинетика растворения твердых металлов в жидких расплавах.

Термодинамика и кинетика окисления элементов металлической ванны при кислородно-конвертерных процессах. Окисление углерода. Окисление шлакообразующих компонентов ванны. Поведение серы при кислородно-конвертерном процессе.

Особенности конвертерного процесса с продувкой кислородом через дно. Комбинированная продувка. Проблемы переработки скрапа в конвертерах.

Перспективы кислородно-конвертерного процесса.

Аргонокислородная продувка. Получение нержавеющих сталей в конвертерах.

Марки стали, выплавляемой в кислородных конвертерах.

Качество кислородно-конвертерной стали в сравнении с мартеновской и электросталью.

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.

Шихтовка плавок в мартеновских и двухванных большегрузных печах. Теплопередача в ванне в процессе завалки шихты, прогрева и плавления скрапа.

Шлакообразование в большегрузных мартеновских печах, работающих с применением жидкого чугуна. Рафинирующая и защитная роль шлака во время плавления.

Окисление углерода в агрегатах подового типа. Природа и кинетика окисления углерода при скрап-процессе.

Сера в шихте подовых сталеплавильных агрегатов. Десульфурация чугунов. Поведение серы в процессе плавки.

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

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

Электросталеплавильное производство

Современное состояние и перспективы развития электросталеплавильного производства.

Современные методы расчета при плавке в дуговых электропечах.

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

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

Физико-химические основы вакуумной плавки: раскислительная способность углерода, поведение неметаллических включений, дегазация, взаимодействие металла с футеровкой, раскисление, испарение.

Открытая и вакуумная индукционная плавка (ИП и ВИП). Технология плавки. Интенсификация технологического процесса при ИП и ВИП.

Вакуумный дуговой переплав (ВДП). Влияние электрического режима на процессы рафинирования. Строение жидкой ванны и динамика ее изменения. Структура металла при ВДП и пути управления ее формированием. Основные дефекты слитков ВДП и пути их предупреждения.

Электрошлаковый переплав (ЭШП). Состав шлаков при ЭШП. Механизм рафинирования металла от неметаллических включений.

Плазменная плавка и плазменно-дуговой переплав (ПДП). Особенности горения плазменной дуги. Взаимодействие металла с газами в условиях плазменной дуги. Легирование металла азотом. Плавка стали в плазменной печи с керамическим тиглем.

Электронно-лучевой переплав (ЭЛП). Температурный режим. Особенности формирования слитка при ЭЛП. Техника безопасности при работе в электросталеплавильных цехах.

Теория и практика внепечной обработки стали

Неравномерность состава и температуры металла в ковше. Способы гомогенизации металла: продувка аргоном и электромагнитное перемешивание. Дегазация и удаление включений при гомогенизации. Кавитационная продувка.

Десульфурация стали в ковше: обработка синтетическими шлаками и продувка порошками. Сульфидная емкость шлаков. Механизм процессов десульфурации при продувке порошкообразными материалами. Управление процессами десульфурации. Варианты безокислительной дефосфорации стали.

Раскисление и дегазация стали в вакууме. Способы вакуумирования и их сравнительная эффективность. Вакуумное обезуглероживание. Влияние вакуумирования на качество стали. Понятие «чистая сталь».

Проблема непрерывных процессов производства стали. Технологические преимущества непрерывных процессов в сравнении с периодическими. Наиболее опробованные и перспективные варианты непрерывного сталеплавильного процесса. Комбинирование непрерывного сталеплавильного процесса с непрерывной прокаткой. Перспективы непрерывных сталеплавильных процессов.

2.3. Автоматизированное управление процессами производства

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

Математическая модель, задачи, этапы математического моделирования ППС. Методы построения математических моделей ППС (экспериментальный, детерминированный подход, стохастические.

Методы получения рабочей информации о ППС. Локальные системы автоматического контроля и регулирования параметров ППС. Автоматическая система управления технологическим процессом (АСУТП).

2.4. Производство ферросплавов

Современное состояние и перспективы развития ферросплавной промышленности; классификация процессов получения ферросплавов.

Карботермические процессы. Физико-химические основы восстановления оксидов углерода. Восстановление кремния. Роль монооксида кремния и карбида кремния. Восстановление марганца из оксидов и силикатов. Роль карбидов марганца. Восстановление хрома и других элементов из оксидов хромовой руды.

Технология получения промежуточных кремниевых сплавов. Производство особонизкоуглеродистых сплавов силикотермическим методом.

Металлотермические процессы, физико-химические основы металлотермии. Методика расчета шихты и составления теплового баланса металлотермического процесса.

Вакуумно-термические процессы, физико-химические основы. Вакуумная плавка и обработка жидких ферросплавов под вакуумом.

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

3. Металлургические печи

3.1. Оборудование печей

Устройства для сжигания газообразного топлива. Горелки без предварительного смешения, с улучшенным смешением и с предварительным смешением. Радиационные трубы.

Устройства для сжигания жидкого топлива, форсунки низкого и высокого давления. Газомазутные горелки.

Устройства для утилизации тепла отходящих газов.

Регенеративные теплообменники. Устройство, тепловая работа и расчет регенеративных теплообменников. Виды насадок. Регенераторы мартеновских печей. Кауперы.

Рекуперативные теплообменники. Температурное поле рекуператоров. Рекуператоры металлические и керамические: тепловая работа, преимущества и недостатки. Расчет рекуператоров.

Теплосиловые устройства. Котлы-утилизаторы и турбинные установки.

Испарительное охлаждение доменных, мартеновских и нагревательных печей. Охлаждение конвертерных газов.

3.2. Защита воздушного и водного бассейнов от вредных выбросов

Теоретические основы и общая характеристика газоочистных устройств. Сухая механическая очистка газов; очистка газов фильтрацией; мокрая очистка газов; электрическая очистка газов. Очистка газов доменного и сталеплавильного производства.

Очистка газов печей цветной металлургии.

3.3. Огнеупорные материалы

Требования к огнеупорным материалам, применяемым в печах черной и цветной металлургии. Физические и рабочие свойства огнеупорных материалов, используемых в металлургических печах.

3.4. Печи черной металлургии

Топливные печи. Шахтные печи

Гидродинамика и теплообмен в плотном подвижном слое. Поля скоростей в шахтных печах при различных способах ввода дутья: фурменном, щелевом и центральном.

Пламенные нагревательные печи

Тепловая работа нагревательных печей. Особенности теплообмена в рабочем пространстве пламенных печей. Схемы движения металла и продуктов сгорания. Тепловой и температурный режимы работы печей. Способы отопления и транспортировки металла.

Нагревательные колодцы. Тепловой и температурный режимы. Нагрев холодного и горячего посада. Нагрев слитков с жидкой сердцевиной; использование дутья, обогащенного кислородом. Шлакоудаление и стойкость подины.

Толкательные печи. Конструкции и режимы работы противоточных печей. Влияние глиссажных труб на тепловую работу печи. Рейтеры. Особенности теплообмена и математическое описание нагрева металла. Прямо противоточные толкательные печи.

Печи с шагающим подом (балками). Конструкции, режимы работы, особенности нагрева металла, математическое описание нагрева металла.

Печи с кольцевым подом. Конструкции, тепловой и температурный режимы, особенности теплообмена и нагрева металла.

Печи для скоростного нагрева металла. Физические основы скоростного нагрева металла, импульсный нагрев. Секционные печи и печи конвективного (ударного) нагрева.

Пламенные термические печи

Печи для темной термической обработки горячекатаного проката; садочные печи; печи с цепным конвейером и роликовым подом. Особенности теплообмена и нагрева металла.

Печи с теплогенерацией за счет химической энергии жидкого чугуна

Теплотехника сталеплавильных процессов.

Тепловой баланс рабочего пространства сталеплавильного агрегата. Предварительный нагрев скрапа и его значение. Влияние тепловых потерь на температуру ванны в допродувочный период.

3.5. Печи цветной металлургии

Топливные печи

Шахтные печи для плавки окисленных никелевых руд. Шахтные печи для свинцовой плавки. Конструкция и особенности тепловой работы. Отражательные печи для плавки на штейн.

Анодные и вайербарсовые печи. Конструкции, тепловой и температурный режим.

Трубчатые вращающиеся печи. Конструкции, тепловой и температурный режим.

Нагревательные печи. Конструкции, тепловой и температурный режим.

Печи с полной или частичной теплогенерацией за счет химической энергии сырьевых материалов

Общая характеристика процессов, протекающих при обжиге сульфидов в кипящем слое. Газодинамический режим работы печей. Температурный и тепловой режимы обжига сульфидных материалов. Время пребывания материала в кипящем слое.

Печи для обжига сульфидных материалов в кипящем слое. Печи для обжига цинковых, медных и молибденовых концентратов.

Конвертеры заводов цветной металлургии. Конструкции, тепловой и температурный режим работы.

Печи для автогенной плавки медных концентратов на штейн и черновую медь.

Плавка в жидкой ванне. Печь А.В. Ванюкова для плавки руд и концентратов.

3.6. Печи машиностроительных заводов

Тепловая работа и конструкции топливных плавильных печей машиностроительных заводов.

Нагревательные печи кузнечных цехов. Печи с полным сжиганием топлива. Печи для малоокислительного нагрева металла.

Термические печи машиностроительных заводов. Печи для термической обработки тяжелых и крупногабаритных изделий. Печи для термической обработки автотракторных деталей. Термические печи специального назначения.

Сушила. Установки для сушки сыпучих материалов. Барабанные сушила. Сушила для сушки в пневмопотоке и в кипящем слое. Установки для сушки изделий. Сушила с конвективным режимом работы. Сушила с радиационным режимом работы.

Установки для сушки в высокочастотном (микроволновом) поле.

3.7. Печи огнеупорного производства

Гидродинамика, тепловой и температурный режим, конструкции шахтных, вращающихся, тоннельных и других печей заводов по производству огнеупорных изделий.

3.8. Электрические печи

Общая характеристика электрических печей применяемых в черной, цветной металлургии и машиностроении. Теплотехнические особенности работы печей различной конструкции. Характеристики внешнего теплообмена. Тепловой баланс.

Дуговые печи сталеплавильные печи; дуговые вакуумные печи; рудовосстановительные печи; плазменные печи.

Индукционные печи. Канальные и тигельные печи; вакуумные печи; установки для плавки во взвешенном состоянии, нагревательные установки.

Печи сопротивления. Печи прямого и косвенного действия; вакуумные печи сопротивления; плавильные печи сопротивления.

Специальные печи. Установки диэлектрического нагрева; установки электронного нагрева; установки нагрева излучением оптического квантового генератора; оптические печи; установки для зонной плавки.

4. Технология производства цветных и редких металлов

4.1. 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, шпейзы).

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.

4.2. 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.

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.

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.

Гидрометаллургия меди. Подготовка сырья к гидрометаллургической переработке. Химизм основных реакций выщелачивания. Практика кучного, бактериального и автоклавного выщелачивания.

4.3. 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.

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

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

Особенности конвертирования медно-никелевых штейнов. Разделение файнштейна. Способы переработки медного и никелевого концентратов, полученных при флотации файнштейна. Отличия технологической схемы производства кобальта при переработке сульфидного и окисленного 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 драгоценных металлов по главным переделам технологических схем.

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

4.4. Переработка свинцовых концентратов

Агломерирующий обжиг свинцовых концентратов. Теория и практика.

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

Рафинирование чернового свинца и переработка полупродуктов. Теория и практика.

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.

4.5. 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 чернового цинка.

Гидрометаллургия цинка. Выщелачивание цинковых огарков и очистка растворов от примесей. Теоретические основы этих процессов. Электроосаждение цинка.

Переработка полупродуктов цинкового производства. Комплексное использование цинкосодержащего сырья.

4.6. 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. 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.

4.7. 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: получение искусственного карналлита, обезвоживание во вращающихся СКН и печах. 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.

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 Al_2O_3-Na_2O-H_2O. 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.

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.

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.

Технология электролитического получения алюминия. Описание конструкции электролизеров и сравнение их технических данных.

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 элетролизеров, связь между плотностью тока и удельными потерями тепла. Планировка цехов электролиза и электролизных корпусов. Газоотсос и вентиляция, регенерация фторсолей.

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

Металлургия вторичного алюминия. Технология подготовки лома и отходов к плавке. Плавка алюминия и его сплавов в электрических и пламенных отражательных печах.

4.8. 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). Варианты процессов получения вольфрама и молибдена восстановлением галогенидов. Методы получения монокристаллов вольфрама и молибдена.

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 металлотермического, карботермического и электролитического спо-

собов. 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.

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.

Рассеянные редкие металлы

Общая характеристика рассеянных редких металлов, источников их получения. 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.

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, вакуумтермическим способом. Способы рафинирования лития.

Основная литература

1. Баймаков Ю.В., Журин А.И. Электролиз в гидрометаллургии. М.: Металлургия, 1982.
2. Белоусов В.В. Теоретические основы гидроочистки. М.: Металлургия. 1988.
3. Борбат В.Ф. Металлургия платиновых металлов. М.: Металлургия, 1977.
4. Ванюков А.В., Зайцев В.Я. Теория пирометаллургических процессов. М.: Металлургия, 1993.
5. Ванюков А.В., Уткин Н.И. Комплексная переработка медного и никелевого сырья. Челябинск: Металлургия, 1988.

6. Вегман Е.Ф.Теория и технология агломерации. М.: Металлургия, 1974.
7. Вольдман Г.М., Зеликман А.Н. Теория гидрометаллургических процессов. М.: Металлургия, 1970.
8. Гасик М.И., Лекишев Н.П. Теория и технология электрометаллургии ферросплавов. М.: Интермет-Инжиниринс, 1999.
9. Глинков М.А., Глинков Г.М. Общая теория печей. М.: Металлургия, 1990.
10. Григорян В.А., Белянчиков Л.Н., Стомахин Л.Я. Теоретические основы электросталеплавильных процессов. М.: Металлургия, 1987.
11. Доменное производство: Справочник. Т. 1 / Под ред. Е.Ф. Ветмана. М.: Металлургия, 1989.
12. Зайцев В.Я., Мергулис Е.В. Металлургия свинца и цинка. М.: Металлургия, 1985.
13. Зеликман А.Н., Коршунов Б.Г. Металлургия редких металлов. М.: Металлургия, 1991.
14. Карабасов Ю.С., Чижикова В.М. Физико-химические восстановления железа из оксидов. М.: Металлургия, 1986.
15. Левин А.И. Электрохимия цветных металлов. М.: Металлургия, 1982.
16. Масленицкий И.Н., Чугаев Л.В. Металлургия благородных металлов М.: Металлургия, 1997.
17. Металлургия чугуна / Е.Ф. Вегман, Б.Н. Жеребин, А.Н. Похвиснев и др. М.: Металлургия, 1989.
18. Николаев И.В., Москвитин В.И., Фомин Б.А. Металлургия легких металлов. М.: Металлургия, 1997.
19. Пирометаллургическая переработка комплексных руд / Л.И. Леонтьев, Н. А. Ватолин, С.В. Шаврин и др. М.: Металлургия, 1997.
20. Плавка в жидкой ванне / В.А. Ванюков, В. П. Быстров, А.Д. Васкевич и др. М.: Металлургия, 1988.
21. Процессы и аппараты цветной металлургии / С.С. Набойченко, Н.Г. Агеев, В.П. Дорошкевич и др. Екатеринбург: УГТУ—УПИ, 1997.
22. Рамм А.Н. Современный доменный процесс. М.: Металлургия, 1980.
23. Рысс М.А. Производство ферросплавов. М.: Металлургия 1985.
24. 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.
25. Теплотехника металлургического производства. Т 1. Теоретические основы / В.А. Кривандин, В.А. Арутюнов, В.В. Белоусов и др. М.: Изд-во МИСиС, 2002.
26. 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.
27. Техническая термодинамика / В.И. Лобанов, Г.П. Ясников, Я.М. Гордон, А.С. Телегин. М.: Металлургия, 1992.
28. Худяков И.Ф., Кляйн С.Э., Агеев Н.Г. Металлургия меди, никеля, и сопутствующих элементов и проецирование цехов. М.: Металлургия, 1993.
29. Юсфин Ю.С., Гиммельфарб А.А., Пашков А.Ф. Новые процессы получения металла. Металлургия железа. М.: Металлургия, 1994.

Дополнительная литература

1. Автогенные процессы в цветной металлургии / В.В. Мечев, В.П. Быстров, А.В. Тарасов и др. М.: Металлургия, 1991.
2. Бабаджан А.А. Пирометаллургическая селекция. М.: Металлургия, 1985.
3. Гаврилов В.А., Гасик М.И. Силикотермия марганца. Днепропетровск: Системные технологии, 2001.
4. Гасик М.И. Марганец. М.: Металлургия, 1992.
5. Ефимов В.А., Эльдарханов А.С. Современные технологии разливки и кристаллизации сплавов. М.: Машиностроение, 1998.
6. Жеребин Б.Н. Практика ведения доменной печи. М.: Металлургия, 1980.

7. Зеликман А.Н. Металлургия редких металлов. М.: Металлургия, 1980.
8. Зеликман А. Н. Металлургия тугоплавких редких металлов. М.: Металлургия, 1986.
9. Кобахидзе В. В. Тепловая работа и конструкции печей цветной металлургии. М.: Изд-во МИСиС, 1994.
10. Кривандин В.А., Марков Б.Л. Металлургические печи. М.: Металлургия, 1985.
11. Кривандин В.А., Егоров А.В. Тепловая работа и конструкции печей черной металлургии. М.: Металлургия, 1989.
12. Кудрин В.А. Металлургия стали. М.: Металлургия, 1981.
13. Лякишев Н.П., Гасик М.И. Металлургия хрома. М.: Элиз, 1999.
14. Металлургия стали / Под ред. В.И. Явойского и Ю. В. Кряковского. М.: Металлургия, 1983.
15. Падерин С.Н., Филиппов В.В. Теория и расчеты металлургических систем и процессов. М.: Изд-во МИСиС, 2001.
16. Стефанюк С.Л. Металлургия магния и других легких металлов. М.: Металлургия , 1985.
17. Тарасов В. П. Газодинамика доменного процесса. М.: Металлургия, 1990.
18. Теория металлизации железорудного сырья / Ю.С. Юсфин, В.В. Даньшин, Н.Ф Пашков и др. М.: Металлургия, 1982.
19. Технология низкоуглеродистого ферохрома / В.Н. Карнаухов, Ю.И. Воронов, В.П. Зайко и др. Екатеринбург: Изд-во ИМет Уро РАН, 2001.
20. Толстогузов Н.В. Теоретические основы и технология плавки кремнистых и марганцевых сплавов. М.: Металлургия, 1992.
21. Электрические промышленные печи: дуговые печи и установки специального назначения / А.Д. Свенчанский, И.Т. Жердев, А.И. Кружнин и др. М.,1981.