

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования «Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»

УТВЕРЖДАЮ
Первый проректор-проректор
по научной работе

_____ А.В. Коржов

«_____» _____ 2022 г.

ПРОГРАММА

кандидатского экзамена по специальной дисциплине:

Научная специальность: 2.6.2. «Металлургия черных, цветных и редких
металлов»

Разработчики:

1. Рощин В. Е., д.т.н., профессор, г.н.с. НИЛ ВТМ
2. Гамов П.А., к.т.н., доцент, зав. кафедрой ПМЛТ
3. Салихов С.П., к.т.н., доцент каф. ПМЛТ

Челябинск 2022 г.

1. ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К КАНДИДАТСКОМУ ЭКЗАМЕНУ

1. Теория процессов производства черных, цветных и редких металлов
2. Технологические основы процессов производства черных, цветных и редких металлов
3. Производство первичного металла
4. Металлургические печи
5. Технология производства цветных и редких металлов

2. ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К СДАЧЕ КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА

С УЧЕТОМ ОТРАСЛИ НАУКИ

1. Теория процессов производства черных, цветных и редких металлов

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. Влияние основных компонентов металлического расплава на свойства стали. Генезис свойств металла.

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 (выбор стандартного состояния, методы определения, применение). Расчеты равновесия в растворах. Фазовые переходы. Диаграммы фазового равновесия двухкомпонентных систем. Диаграммы состояний Me-O, Me-S. Образование новых фаз. Растворы газов в металлах.

Термодинамика поверхностных явлений. Поверхностное натяжение, методы его определения. Связь между поверхностным натяжением и адсорбцией.

Кинетика металлургических реакций

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

1.2. Теория пирометаллургических процессов

Строение и свойства жидких металлов

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

Строение жидких шлаков

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

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

Твердофазные процессы

Общее понятие о твердофазных процессах и их роли в металлургических технологиях. Точечные дефекты твердых тел. Механизм и термодинамика образования точечных дефектов. Нестехиометрия кристаллов. Твердые растворы металлов и оксидов, изоморфные примеси.

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

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

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

Реакции в твердых телах при взаимодействии с внешней средой. Многозвенные процессы. Способы описания. Твердое тело в контакте с жидкостью или газом.

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 теории спекания. Основные механизмы твердофазного спекания. Особенности спекания эвтектических систем. Особенности жидкофазного спекания. Механизм растворения-осаждения, диффузия в жидкой фазе.

Основы процессов восстановления

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

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. Эффективный и пограничный слой. 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. Кинетика ликвации несмешивающихся фаз.

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.

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

Термодинамические свойства расплавленных солей

Парциальные и интегральные термодинамические характеристики, связь между ними, уравнение Гиббса—Дюгема. Активность и коэффициент активности, избыточные функции.

Статические, динамические и кинетические методы определения давления пара. Определение парциальных термодинамических свойств по результатам измерений электродвижущих сил. Химические цепи, их конструкции. Химические цепи с катионпроводящими стеклянными мембранами. Концентрационные цепи, диффузионные потенциалы в расплавленных солях. Цепи, концентрационные по отношению к электродам (цепи «амальгамного типа»). Электроды сравнения для расплавленных солей.

Взаимодействие расплавленных солей с металлами и газами

Растворимость металлов в солях, методы изучения, природа растворов. Свойства систем металл—соль. Термодинамика равновесия металл—соль. 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. Энергия кристаллической решетки, теплота растворения и теплота гидратации ионов в зависимости от заряда и размера ионов.

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

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

Общая характеристика процессов ионного обмена. Основные характеристики сорбентов. Ионообменное равновесие. Изотермы ионного обмена. Кинетика и механизм ионного обмена. Гелевый и пленочный типы кинетики. Динамика сорбции в колонках. Особенности процессов сорбции из пульп и сорбционного выщелачивания. Разделение элементов методом ионообменной хроматографии. Вытеснительная и элюэнтная хроматография. Ионообменные мембраны, их характеристика и электрохимические свойства. Области применения электролиза с ионитовыми мембранами.

Общая характеристика процессов экстракции, примеры их использования. Основные типы органических экстрагентов и разбавителей. Количественные характеристики экстракции. Типы экстракционных процессов. Сольватный и гидратно-сольватный механизмы экстракции. Методы определения состава экстрагируемых комплексов.

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

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

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. Поведение примесей при осаждении и 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. Кинетика и механизм восстановления ионов металлов водородом до элементарной формы, до соединений низшей валентности.

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. Электрохимическая поляризация. Концентрационная поляризация. Фазовая поляризация.

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. Термодинамика теплосиловых установок.

Механика жидкостей и газов

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

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

температуры и концентраций в неизотермических струях, сопутствующие процессу выгорания горючих компонентов.

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. Автомоделность. Моделирование движения газов в печах.

Тепло- и массообмен

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

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

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

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

Нагрев, плавление и затвердевание металла

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

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

Нагрев и плавление тел в расплаве.

Гидродинамика жидкой ванны

Гидродинамика барботажного слоя. Взаимодействие на поверхности раздела фаз. Движение капель и пузырей в барботажном слое.

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. Факторы, определяющие интенсивность процессов смешения в практических условиях.

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. Технологические основы процессов производства черных, цветных и редких 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. Горение топлива. Газодинамика агломерационного процесса. Теплообмен в слое и тепловые балансы процесса. Поведение попутных элементов. Технология агломерационного производства. Ресурсосбережение. Рециклинг материалов. Металлургические свойства агломерата. Энергозатраты на производство агломерата. Выбросы в окружающую среду в агломерационном производстве. Экономика процесса.

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

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

Производство чугуна в доменных печах

Доменная печь. Основные процессы. Нагрев и разложение шихты.

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

Науглероживание железа и формирование чугуна. Качество чугуна. Шлакообразование в доменных печах. Свойства шлака. Влияние шлакового режима на ход доменной плавки.

Поведение серы в доменных печах. Термодинамика и кинетика процессов десульфурации. Внедоменная обработка чугуна.

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. Порозность слоя. Распределение шихты на колошнике печи. Движение расплавов. Изменение давления газа по высоте доменной печи и эффективность повышения давления в рабочем пространстве печи.

Ресурсосбережение и методы интенсификации процесса. Нагрев дутья. Кислород в доменной плавке. Комбинированное дутье. Вдувание пылеугольного топлива. Горение восстановительных газов. Использование доменных печей для утилизации техногенных материалов. Экономика доменной плавки.

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. Устройство и режим работы воздухонагревателя.

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

Внедоменное получение первичного металла

Твердофазные процессы производства первичного металла. Сырье и топливо. Физико-химические особенности процесса. Степень металлизации. Пирофорность и методы ее подавления. Качество металлизированного 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. Энергозатраты и выбросы в окружающую среду.

Особенности переработки комплексных руд и техногенных материалов при внедоменном получении металлов и сплавов.

2.2. Металлургия стали

Очищение от примесей. Кристаллизация и разливка стали

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

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

Раскисление стали

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

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

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

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). Роль формы существования водорода в шлаках, массоперенос его в шлаках. Шлаковый режим. Практика борьбы с водородом в стали.

Азот в стали, влияние азота на служебные свойства низкоуглеродистых сталей, старение стали и азота, азот как легирующий элемент и заменитель дорогостоящих компонентов сталей.

Растворимость азота в железе и его сплавах, влияние на нее температуры и состава сплава. 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. Поведение азота в ваннах

сталеплавильных агрегатов (кислородных конвертерах, мартеновских, двухванных и дуговых печах).

Переход азота в жидкий металл в зоне дуг. Обезуглероживание ванны и его влияние на поведение азота. Пути обеспечения низкого содержания азота в стали. Защитная (против азота) роль передельных шлаков. Защитные среды от повторного перехода азота в сталь.

Кристаллизация и разливка стали

Гомогенное и гетерогенное зарождение кристаллов. Механизм роста кристаллов. Влияние теплоотвода. Дендритный рост. Коэффициент распределения примеси между твердой и жидкой фазами. Концентрационное переохлаждение. Кристаллизация в интервале температур. Двухфазная зона. Влияние условий теплообмена на ширину двухфазной зоны. Переход от дендритной кристаллизации к объемной.

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

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.

Современные тенденции в области повышения выхода годного от стального слитка.

Слиток «полуспокойной» стали.

Особенности формирования слитков, отлитых на МНЛЗ. Пороки литых заготовок, их причины и меры, принимаемые для ограничения развития отдельных видов пороков. Тепловые потоки от затвердевающего металла к кристаллизатору. Тепловая работа зоны вторичного охлаждения.

Особенности технологии выплавки стали для разливки на МНЛЗ. Пути повышения качества непрерывно-литых слэбов и заготовок.

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. Теоретические основы перемешивания сталеплавильной ванны при продувке ее сверху.

Реакционная зона конвертера, ее температурный режим, образование бурого дыма, окислительные процессы в реакционной зоне, роль реакционной зоны в процессах шлакообразования, теплообмен в реакционной зоне.

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.

Служба футеровки конвертера.

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

Перспективы кислородно-конвертерного процесса.

Аргонокислородная продувка. Получение нержавеющей стали в конвертерах.

Марки стали, выплавляемой в кислородных конвертерах.

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

Новые направления в конструировании конвертера и кислородно-конвертерных цехов. Техника безопасности при работе в кислородно-конвертерных цехах.

Математическое моделирование и управление конвертерными процессами.

Энергозатраты и выбросы в окружающую среду при конвертерных процессах.

Теория и технология подовых процессов производства стали

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

Методы повышения стойкости ванны.

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.

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

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

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

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

Применение порошкообразных материалов. Техника безопасности при работе в мартеновских цехах. Современные тенденции в конструировании мартеновских и двухванных печей.

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.

Физико-химические особенности процесса дефосфорации.

Продувка металла порошками.

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). Поведение огнеупоров при 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. Мероприятия по охране окружающей природы. Техничко-экономические показатели переплавных процессов.

Энергозатраты и выбросы в окружающую среду электросталеплавильных производств.

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). Выбор и отсеивание фактора ППС (обоснование вида уравнений, допущение при включении этих уравнений в состав математического описания). Статистические, динамические, стохастические 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 выплавки, разливки и внепечной обработки стали (структурные схемы, функционирование, эффективность).

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.

Энергозатраты на производство ферросплавов и выбросы в окружающую среду.

3. Metallургические 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.

Основы механизации и автоматизации печей.

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.

Борьба с выбросами вредных веществ в водоемы. Осветление, химическая обработка и охлаждение оборотной воды.

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. Перспективные виды огнеупорных материалов: волокнистые материалы.

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. Условия, обеспечивающие оптимальное газораспределение в шахтных печах.

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. Импульсное отопление.

Нагревательные колодцы. Тепловой и температурный режимы. Нагрев холодного и горячего посада. Нагрев слитков с жидкой сердцевиной; использование дутья, обогащенного кислородом. Шлакоудаление и стойкость подины. Регенеративные нагревательные колодцы; рекуперативные нагревательные колодцы с отоплением из центра подины и с верхней горелкой. Особенности теплообмена в нагревательных колодцах и математическое описание нагрева слитков.

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 для светлой термической обработки холоднокатаных листов и ленты. Колпаковые печи для термообработки плотномотанных и распущенных рулонов. Протяжные горизонтальные и башенные печи. Контактный нагрев. Особенности теплообмена и нагрева металла в жидких средах.

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. Математическое описание нагрева металла по ходу конвертерной плавки.

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. Конструкции, тепловой и температурный режим плавки.

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. Особенности конструкции и тепловой работы.

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, шпелызы).

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. Основные технико-экономические показатели. Выбросы в окружающую среду.

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

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

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

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

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. Техничко-экономические показатели.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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. Техничко-экономические показатели плавки.

Рафинирование черного свинца и переработка полупродуктов. Теория и практика.

Способы переработки шлаков, пыли.

Новые направления в металлургии свинца.

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

Техника безопасности при производстве свинца и охрана окружающей среды.

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 черного цинка.

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

направления совершенствования процесса. Техника безопасности и охрана окружающей среды.

Переработка полупродуктов цинкового производства. Комплексное использование цинкосодержащего сырья.

Энергозатраты и выбросы в окружающую среду.

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. Современное состояние и направления дальнейшего развития техники и технологии цианистого процесса.

Специальные процессы переработки руд и концентратов сложного состава.

Аффинаж золота, серебра и металлов платиновой группы.

Теоретические основы и технология электролитического аффинажа золота и серебра.

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

Энергозатраты и выбросы в окружающую среду.

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. Технология электролитического получения магния. Конструкция электролизеров. Сравнительная их характеристика. Технология обслуживания. Устройство цехов электролиза, отсос хлора и катодных газов. Техника безопасности и мероприятия по охране окружающей среды. Техно-экономические показатели электролиза. Рафинирование магния-сырца переплавкой с флюсами. Электролитическое рафинирование магниевых ломов и отходов. ГОСТ на магний, комплексное использование магниевого сырья.

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. Комбинированные способы: гидрохимический и спекания – параллельный и последовательный варианты. Их преимущества перед отдельной переработкой.

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

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

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

Теория электролиза криолитоглиноземных расплавов. Свойства и строение электролитов и термодинамика основных реакций на электродах. Основные диаграммы состояния. Механизм катодного процесса, поведение натрия в катодном разряде, катодный выход по току. Анодный процесс. 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. Описание конструкции электролизеров и сравнение их технических данных. Новые направления в конструировании электролизеров и способы их питания глиноземом. Пуск ванн, их обслуживание. Нарушение нормальной работы электролизеров. Влияние электромагнитных сил на работу электролизеров.

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

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

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

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

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

Энергозатраты на производство алюминия и выбросы в окружающую среду.

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

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

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

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

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

Комплексное использование титанового и циркониевого сырья.

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

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

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

Производство компактных титана и циркония методом плавки.

Порошковая металлургия титана и циркония.

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

Рассеянные редкие металлы

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

Редкоземельные и радиоактивные металлы

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

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

Легкие редкие металлы

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

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

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

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

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

3. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

3.1 ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Баймаков Ю.В., Журин А.И. Электролиз в гидрометаллургии. М.: Metallurgy, 1982.
2. Белоусов В.В. Теоретические основы гидроочистки. М.: Metallurgy, 1988.
3. Борбат В.Ф. Metallurgy платиновых металлов. М.: Metallurgy, 1977.
4. Ванюков А.В., Зайцев В.Я. Теория пирометаллургических процессов. М.: Metallurgy, 1993.
5. Ванюков А.В., Уткин Н.И. Комплексная переработка медного и никелевого сырья. Челябинск: Metallurgy, 1988.
6. Вегман Е.Ф. Теория и технология агломерации. М.: Metallurgy, 1974.
7. Вольдман Г.М., Зеликман А.Н. Теория гидрометаллургических процессов. М.: Metallurgy, 1970.
8. Гасик М.И., Лекишев Н.П. Теория и технология электрометаллургии ферросплавов. М.: Интермет-Инжиниринг, 1999.
9. Глишков М.А., Глишков Г.М. Общая теория печей. М.: Metallurgy, 1990.
10. Глишков М.А. Тепловая работа сталеплавильных ванн. М.: Metallurgy, 1970.
11. Григорян В.А., Белянчиков Л.Н., Стомахин Л.Я. Теоретические основы электросталеплавильных процессов. М.: Metallurgy, 1987.
12. Доменное производство: Справочник. Т. 1 / Под ред. Е.Ф. Вегмана. М.: Metallurgy, 1989.
13. Зайцев В.Я., Мергулис Е.В. Metallurgy свинца и цинка. М.: Metallurgy, 1985.
14. Зеликман А.Н., Коршунов Б.Г. Metallurgy редких металлов. М.: Metallurgy, 1991.
15. Карабасов Ю.С., Чижикова В.М. Физико-химические восстановления железа из оксидов. М.: Metallurgy, 1986.
16. Китаев Б.И., Ярошенко Ю.Г., Суханов Е.Л. Теплофизика доменного производства. М.: Metallurgy, 1978.
17. Кнюппель Г. Раскисление и вакуумная обработка стали. М.: Metallurgy, 1984.
18. Левин А.И. Электрохимия цветных металлов. М.: Metallurgy, 1982.
19. Масленицкий И.Н., Чугаев Л.В. Metallurgy благородных металлов М.: Metallurgy, 1997.
20. Metallurgy стали / Под ред. В.И. Явойского и Г.Н. Ойса. М.: Metallurgy, 1973.
21. Metallurgy чугуна / Е.Ф. Вегман, Б.Н. Жеребин, А.Н. Похвиснев и др. М.: Metallurgy, 1989.
22. Набойченко С.С., Смирнов В.И. Гидрометаллургия меди. М.: Metallurgy, 1974.
23. Николаев И.В., Москвитин В.И., Фомин Б.А. Metallurgy легких металлов. М.: Metallurgy, 1997.
24. Паволоцкий Д.Я., Кудрин В.А., Вишкарёв А.Ф. Внепечная обработка стали. М.: Изд-во МИСиС, 1995.
25. Пирометаллургическая переработка комплексных руд / Л.И. Леонтьев, Н. А. Ватолин, С.В. Шаврин и др. М.: Metallurgy, 1997.

26. Писи Дж.Г., Давенпорт В.Г. Доменный процесс. Теория и практика. М.: Металлургия, 1984.
27. Плавка в жидкой ванне / В.А. Ванюков, В. П. Быстров, А.Д. Васкевич и др. М.: Металлургия, 1988.
28. Процессы и аппараты цветной металлургии / С.С. Набойченко, Н.Г. Агеев, В.П. Дорошкевич и др. Екатеринбург: УГТУ—УПИ, 1997.
29. Рамм А.Н. Современный доменный процесс. М.: Металлургия, 1980.
30. Рысс М.А. Производство ферросплавов. М.: Металлургия 1985.
31. Сергеев В.В., Безукладников А.Б., Мальшин В.М. Металлургия титана. М.: Металлургия, 1979.
32. Старк С.Б. Газоочистные аппараты и установки в металлургической промышленности. М.: Металлургия, 1990.
33. 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.
34. Теплотехника металлургического производства. Т 1. Теоретические основы / В.А. Кривандин, В.А. Арутюнов, В.В. Белоусов и др. М.: Изд-во МИСиС, 2002.
35. 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.
36. Техническая термодинамика / В.И. Лобанов, Г.П. Ясников, Я.М. Гордон, А.С. Телегин. М.: Металлургия, 1992.
37. Худяков И.Ф., Кляйн С.Э., Агеев Н.Г. Металлургия меди, никеля, и сопутствующих элементов и проектирование цехов. М.: Металлургия, 1993.
38. Юсфин Ю.С., Гиммельфарб А.А., Пашков А.Ф. Новые процессы получения металла. Металлургия железа. М.: Металлургия, 1994.
39. Явойский В.И. Теория процессов производства стали. М.: Металлургия, 1985.

Электронная основная литература

Наименование	Наименование ресурса	Доступность
Электрометаллургия и металлургия стали [Текст]: учебник для вузов по направлению 150400.68 - "Металлургия" / В.Е. Рошин, А. В.Рошин; Юж.-Урал. гос. ун-т ; Челябинск : Издательский Центр ЮУрГУ , 2013, URL http://www.lib.susu.ru/ftd?base=SUSU_METHOD&key=000504476	Электронный каталог ЮУрГУ	Интернет/ Авторизованный
Основы металлургического производства: учебник / В.А. Бигеев, К.Н. Вдовин, В.М. Колокольцев, В.М. Салганик. — Санкт-Петербург: Лань, 2017. — 616 с. — ISBN 978-5-8114-2486-3. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система «Лань»: [сайт]. — URL: https://e.lanbook.com/book/90165 (дата обращения: 26.11.2019). — Режим доступа: для авториз. пользователей.	Электронно-библиотечная система Издательства Лань	Интернет/ Авторизованный
Лякишев, Н.П. Металлургия ферросплавов: учебное пособие / Н.П. Лякишев, М.И. Гасик, В.Я. Дашевский. — Москва: МИСИС, [б. г.]. — Часть 1: Металлургия сплавов кремния, марганца и хрома — 2006. — 117 с. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система «Лань»: [сайт]. — URL: https://e.lanbook.com/book/1842 (дата обращения: 26.11.2019). — Режим доступа: для авториз. пользователей.	Электронно-библиотечная система Издательства Лань	Интернет/ Авторизованный

Наименование	Наименование ресурса	Доступность
Лякишев, Н.П. Металлургия ферросплавов: учебное пособие / Н.П. Лякишев, М.И. Гасик, В.Я. Дашевский. — Москва: МИСИС, [б. г.]. — Часть 2: Металлургия сплавов вольфрама, молибдена, ванадия, титана, щелочноземельных и редкоземельных металлов, ниобия, циркония, алюминия, бора — 2007. — 152 с. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система «Лань»: [сайт]. — URL: https://e.lanbook.com/book/117010 (дата обращения: 26.11.2019). — Режим доступа: для авториз. пользователей.	Электронно-библиотечная система Издательства Лань	Интернет/Авторизованный
Семин, А.Е. Инновационное производство высоколегированной стали и сплавов: теория выплавки стали в индукционных печах: учебное пособие / А.Е. Семин, Н.К. Турсунов, К.Л. Косырев. — Москва: МИСИС, 2017. — 166 с. — ISBN 978-5-906846-92-1. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система «Лань»: [сайт]. — URL: https://e.lanbook.com/book/108099 (дата обращения: 26.11.2019). — Режим доступа: для авториз. пользователей.	Электронно-библиотечная система Издательства Лань	Интернет/Авторизованный

3.2 ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Автогенные процессы в цветной металлургии / В.В. Мечев, В.П. Быстров, А.В. Тарасов и др. М.: Металлургия, 1991.
2. Алкацев М.И. Процессы цементации в цветной металлургии. М.: Металлургия, 1981.
3. Бабаджан А.А. Пирометаллургическая селекция. М.: Металлургия, 1985.
4. Багров О.Н., Клешко Б.М., Михайлов В.В. Энергия основных производств цветной металлургии. М.: Металлургия, 1979.
5. Бигеев А.М., Бигеев В.А. Металлургия стали. Теория и технология плавки. Магнитогорск: Изд-во МГТУ, 2000.
6. Ванюков В.А., Зайцев В.Я. Шлаки и штейны цветной металлургии. М.: Металлургия, 1969.
7. Включения и газы в сталях / В.И. Явойский, С.А. Близнюков, А.Ф. Вишкарёв и др. М.: Металлургия, 1979.
8. Гаврилов В.А., Гасик М.И. Силикотермия марганца. Днепропетровск: Системные технологии, 2001.
9. Гасик М.И., Марганец. М.: Металлургия, 1992.
10. Гиндин Л.М. Экстракционные процессы и их применение. М.: Наука, 1984.
11. Ефимов В.А., Эльдарханов А.С. Современные технологии разлива и кристаллизации сплавов. М.: Машиностроение, 1998.
12. Жеребин Б.Н. Практика ведения доменной печи. М.: Металлургия, 1980.
13. Жеребин Б. Н., Пареньков А. Е., Бабанков В.В. Неполадки и аварии в работе доменных печей. Екатеринбург: УГТУ—УПИ, 2001.
14. Зеликман А.Н. Металлургия редких металлов. М.: Металлургия, 1980.
15. Зеликман А. Н. Металлургия тугоплавких редких металлов. М.: Металлургия, 1986.
16. Кобахидзе В. В. Тепловая работа и конструкции печей цветной металлургии. М.: Изд-во МИСиС, 1994.
17. Конструкции проектирования агрегатов сталеплавильного производства / В.П. Григорьев, Ю.М. Нечкин, А.В. Егоров и др. М.: Изд-во МИСиС, 1995.
18. Кривандин В.А., Марков Б.Л. Металлургические печи. М.: Металлургия, 1985.

19. Кривандин В.А., Егоров А.В. Тепловая работа и конструкции печей черной металлургии. М.: Металлургия, 1989.
20. Кудрин В.А. Металлургия стали. М.: Металлургия, 1981.
21. Кутателадзе С. С., Стырикович М.А. Газодинамика газожидкостных систем. М.: Энергия, 1976.
22. Лыков А. В. Теория сушки. М.: Энергия, 1968.
23. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.: Высш. школа, 1976.
24. Лякишев Н.П., Гасик М.И. Металлургия хрома. М.: Элиз, 1999.
25. Металлургия стали / Под ред. В.И. Явойского и Ю. В. Кряковского. М.: Металлургия, 1983.
26. Окунев А.И., Костьяновский И.А., Донченко П.А. Флюмингование шлаков. М.: Металлургия, 1966.
27. Падерин С.Н., Филиппов В.В. Теория и расчеты металлургических систем и процессов. М.: Изд-во МИСиС, 2001.
28. Производство глинозема / А.И. Лайнер, Н.И. Еремин, Ю.А. Лайнер и др. М.: Металлургия, 1978.
29. Стефанюк С.Л. Металлургия магния и других легких металлов. М.: Металлургия, 1985.
30. Тарасов В. П. Газодинамика доменного процесса. М.: Металлургия, 1990.
31. Теория металлизации железорудного сырья / Ю.С. Юсфин, В.В. Данышин, Н.Ф. Пашков и др. М.: Металлургия, 1982.
32. Технология низкоуглеродистого ферохрома / В.Н. Карнаухов, Ю.И. Воронов, В.П. Зайко и др. Екатеринбург: Изд-во ИМет Уро РАН, 2001.
33. Толстогузов Н.В. Теоретические основы и технология плавки кремнистых и марганцевых сплавов. М.: Металлургия, 1992.
34. Электрические промышленные печи: дуговые печи и установки специального назначения / А.Д. Свенчанский, И.Т. Жердев, А.И. Кружнин и др. М., 1981.
35. Юсфин Ю.С., Базилевич Т. Н. Обжиг железорудных окатышей. М.: Металлургия, 1973.

Электронная дополнительная литература

Наименование	Наименование ресурса	Доступность
Векилов, Ю.Х. Электронная теория металлов: сборник / Ю.Х. Векилов, И.А. Иванов, Ю.Л. Матвеева; под редакцией С.И. Мухина. — Москва: МИСИС, 2013. — 77 с. — ISBN 978-5-87623-703-3. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система «Лань»: [сайт]. — URL: https://e.lanbook.com/book/117105 (дата обращения: 26.11.2019). — Режим доступа: для авториз. пользователей.	Электронно-библиотечная система Издательства Лань	Интернет/ Авторизованный
Романтеев, Ю.П. Металлургия тяжелых цветных металлов: учебное пособие / Ю.П. Романтеев, С.В. Быстров. — Москва: МИСИС, 2010. — 575 с. — ISBN 978-5-87623-173-4. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система «Лань»: [сайт]. — URL: https://e.lanbook.com/book/117036 (дата обращения: 26.11.2019). — Режим доступа: для авториз. пользователей.	Электронно-библиотечная система Издательства Лань	Интернет/ Авторизованный

Наименование	Наименование ресурса	Доступность
Григорян, В.А. Физико-химические расчеты электросталеплавильных процессов: учебное пособие / В.А. Григорян, А.Я. Стомахин, Ю.И. Уточкин. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: МИСИС, 2007. — 318 с. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система «Лань»: [сайт]. — URL: https://e.lanbook.com/book/116968 (дата обращения: 26.11.2019). — Режим доступа: для авториз. пользователей.	Электронно-библиотечная система Издательства Лань	Интернет/ Авторизованный
Дашевский, В.Я. Ферросплавы: теория и технология: учебное пособие / В.Я. Дашевский. — Москва: МИСИС, 2014. — 362 с. — ISBN 978-5-87623-806-1. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система «Лань»: [сайт]. — URL: https://e.lanbook.com/book/117114 (дата обращения: 26.11.2019). — Режим доступа: для авториз. пользователей.	Электронно-библиотечная система Издательства Лань	Интернет/ Авторизованный

4. УСЛОВИЯ ДОПУСКА К ЭКЗАМЕНУ

Аспирантам для сдачи кандидатского экзамена необходимо подать ЗАЯВЛЕНИЕ в отдел аспирантуры. На копии заявления должно быть согласие руководителя аспиранта. К экзамену допускается аспирант, подготовивший диссертацию и автореферат диссертации.

5. ПРОЦЕДУРА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКЗАМЕНА

Подготовка письменного ответа аспирантов осуществляется в установленные расписанием даты и время в учебной аудитории кафедры. Аспиранту выдаётся случайный билет. В состав экзаменационного билета входят 3 вопроса:

Первый вопрос из раздела «ТЕОРИЯ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ».

Второй вопрос из раздела «ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ».

Третий вопрос является дополнительным. Он связан с темой диссертационного исследования и выбирается комиссией из оставшихся разделов программы, вопрос задаётся после обсуждения темы научной работы.

Время, отведенное на письменную подготовку ответов – 60 минут.

После письменной подготовки комиссия заслушивает ответы аспиранта. На ответ по каждому вопросу предоставляется до 10 минут, после чего каждый член комиссии задаёт не менее одного дополнительного вопроса. Прослушав ответы на вопросы в билете и на ответы на дополнительные вопросы, комиссия выставляет оценки по критериям указанным в табл.1. По каждому вопросу из билета комиссия выставляет одну оценку. Итоговая оценка определяется средним арифметическим по 3 оценкам за ответы.

Таблица 1

Показатель	Критерии оценивания
1. Полнота ответа	Выставляется балл, соответствующий одному из критериев: 3 балла – развернутый и полный ответ на вопрос; 2 балла – в целом правильный ответ на вопрос, но с ошибками в изложении отдельных положений; 1 балл – ответ содержит грубые ошибки; 0 баллов – нет ответа на вопрос.
2. Ответы на дополнительные вопросы	Задаются дополнительные вопросы, предполагающих короткие ответы. Выставляется балл, соответствующий одному из критериев: 2 балла – даны верные ответы на все вопросы; 1 балл – даны верные ответы на 1 вопрос и более; 0 балла – нет верных ответов.