

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

**УТВЕРЖДАЮ**

Заместитель председателя

Приемной комиссии,

Директор по учебной работе

М.В. Румянцев



**ПРОГРАММА**

**вступительного испытания в аспирантуру  
по направлению 22.06.01 Технологии материалов  
программа (профиль) 05.16.02 Metallургия черных,  
цветных и редких металлов**

## **Введение**

Настоящая программа включает материал специальных учебных дисциплин, в числе которых теория металлургических процессов, металлургическая теплотехника, металлургия черных металлов и металлургия цветных металлов.

### **1. Теоретические основы металлургии**

#### ***1.1. Теория пирометаллургических процессов***

*Термодинамика и кинетика процессов диссоциации химических соединений.* Термодинамика процессов диссоциации химических соединений (на примере оксидов металлов).

Конденсатный и газообразный тип диссоциации химических соединений. Давление диссоциации оксида - критерий прочности соединения металла с кислородом. Расчет величины давления диссоциации оксидов, карбонатов и т.д. Влияние фазовых переходов и понижения давления остаточных газов на прочность соединений в системах Me-O, Me-S и т.д. Диссоциация оксидов металлов, входящих в состав сложных химических соединений.

Термодинамика диссоциации высших и низших оксидов. Принцип и правило А.А. Байкова. Термодинамический анализ и фазовые диаграммы систем Fe-O, и Si-O.

Термодинамика диссоциации оксидов в системах с взаимной растворимостью Me и MeO. Термодинамика диссоциации оксидов металлов при наличии растворителя.

Кинетика и механизм диссоциации химических соединений (на примере карбонатов металлов). Условия появления и роста зародыша новой фазы в недрах старой. Автокаталитический характер процессов диссоциации химических соединений.

*Термодинамика и кинетика процессов горения газообразных восстановителей.* Термодинамические закономерности реагирования  $H_2$  и CO с кислородом. Термодинамические закономерности реагирования углерода с кислородом: взаимодействия C с  $O_2$ , реакция газификации углерода, взаимодействие углерода с водяным паром. Кислородный потенциал системы ( $\pi_0$ ).

Цепной механизм реакции горения водорода и CO в кислороде. Пределы воспламенения. Кинетика и механизм окисления графита в кислороде.

*Металлургические процессы, основанные на окислительно-восстановительных реакциях.* Термодинамика восстановления металлов из оксидов газами (CO,  $H_2$ ). Расчет состава равновесной газовой фазы. Влияние температуры и природы восстанавливаемого металла на равновесие. Восстановление высших и низших оксидов.

Термодинамика восстановления металлов из оксидов углеродом (карботермия). Роль реакции газификации углерода. Аналитический и графический анализ равновесия в системе C-CO-Me-MeO-CO<sub>2</sub>.

Восстановление металлов из шлаковых расплавов. Восстановление ме-

таллов углеродом из оксидов, имеющих газообразный тип диссоциации.

Металлотермия. Классификация металлотермических процессов. Металлотермия в системах с "чистыми" и "смешанными" конденсированными фазами. Правило С.Ф. Жемчужного. Расчет полноты восстановления и содержания металла-восстановителя в металле.

Окислительное рафинирование металлов. Термодинамика процесса. Расчет остаточного содержания элементов-примесей в металле. Влияние шлакообразования на полноту рафинирования металла. Окислительное рафинирование меди от железа и никеля. Обезуглероживание стали. Окислительное рафинирование с применением химически активных добавок.

Раскисление металлов. Требования к раскислителям. Расчет остаточного содержания кислорода в металле после раскисления.

Раскисление металлов шлаками. Раскисление металлов путем их вакуумирования. Кинетика и механизм реакций восстановления металлов из соединений.

*Металлургические шлаки.* Классификация и роль шлаков в металлургических процессах. Основность и кислотность шлаков. Катионы и анионы в шлаковых системах. Кремнекислородные комплексы в силикатных шлаках. Строение твердых шлаков. Строение оксидных расплавов. Молекулярная и ионная теория шлаковых расплавов. Теория регулярных ионных расплавов.

Макрофизические свойства жидких шлаков: плотность, вязкость, электропроводность, поверхностное и межфазное натяжение. Диффузия в шлаковых расплавах.

Диаграммы фазового равновесия двойных и тройных оксидных систем, составляющих основу шлаков черной и цветной металлургии.

*Термодинамический анализ металлургических процессов с участием сульфидов металлов.* Свойства серы. Природа связи Me-S. Особенности диссоциации сульфидов. Фазовые диаграммы Me-S. Взаимодействия в системе Me-S-O. Теория процессов обжига, плавка сульфидных концентратов. Построение и использование изотермических диаграмм парциальных давлений для анализа равновесия в системах Me-S-O.

Взаимодействие сульфидов и оксидов металлов. Взаимодействие сульфидов с металлами и оксидами. Рафинирование металлов от серы и серой. Кинетика и механизм окисления сульфидов.

*Ликвационное рафинирование металлов.* Ликвационные процессы в металлургии. Уравнение Стокса, границы его применимости. Ликвационное рафинирование металлов (свинца, олова). Расчет по диаграммам фазовых равновесий чистоты и выхода продуктов при ликвации. Ликвационное рафинирование металлов с применением активных добавок.

*Рафинирование металлов кристаллизационными методами.* Особенности кристаллизации в системах с твердыми растворами, равновесная и неравновесная кристаллизация. Равновесный и эффективный коэффициент распределения примеси. Методы очистки металлов направленной кристаллизацией, уравнение связи, основные параметры процесса и их оптимизация. Сопоставительный анализ процессов направленной кристаллизации.

*Процессы испарения и конденсации в металлургии.* Термодинамика испарения индивидуальных веществ.

Уравнения Клапейрона-Клаузиуса, Томсона-Кельвина. Законы Рауля, Коновалова, Дальтона.

Перегонка двухкомпонентных жидкостей. Расчет равновесных составов жидкой и паровой фаз. Диаграммы жидкость-пар для систем с неограниченной взаимной растворимостью компонентов в жидком состоянии. Ректификация. Особенности испарения металлов в вакууме. Перегонка металлов в вакууме, ее отличительные особенности.

Испарение металлов при производстве сплавов. Потери ценных компонентов с парогазовой фазой, пути их снижения. Решение экологических проблем.

### ***1.2. 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.

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

Кинетика и механизм процессов выщелачивания. Стадии выщелачивания, внешнедиффузионная, внутридиффузионная и кинетическая области протекания процесса.

Зависимость скорости выщелачивания твердого вещества от наличия дефектов в его кристаллической решетке.

Особенности механизма 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. Ионнообменное равновесие. Изотермы ионного обмена. Кинетика и механизм ионного обмена. Динамика сорбции в колонках. Особенности процессов сорбции из пульп и сорбционного выщелачивания. Разделение элементов методом ионнообменной хроматографии. Вытеснительная и элюентная хроматография. Ионнообменные мембраны, их характеристика и электрохимические свойства.

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

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

Области применения кристаллизации в гидрометаллургии.

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

Механизм образования зародышей кристаллизации. Гомогенное и гетерогенное зародышеобразование. Механизм роста кристаллов. Поведение примесей при осаждении и кристаллизации.

Выделение металлов цементацией. Термодинамические, кинетические процессы и механизм цементации. Побочные процессы при цементации.

Термодинамика процесса осаждения металлов газами-восстановителями.

### ***1.3. Теория электрометаллургических процессов***

*Электродвижущие силы и электродные потенциалы.* Возникновение скачка потенциалов и двойного электрического слоя на границе металл-электролит. Теория строения двойного электрического слоя. Гальванические элементы. Термодинамика гальванического элемента. Классификация электродов. Кинетика электродных процессов. Перенапряжение электродов, основные виды.

*Электролиз.* Катодные и анодные процессы. 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. Катодный выход по току и потери металла. Анодный эффект, сущность и механизм возникновения. Особенности процессов на электродах в расплавленных солях.

### ***1.4. 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. Элементы теории пограничного слоя. Турбулентность пристеночная и свободная.

Струйное движение газов.

*Тепло- и массообмен.* Стационарные и нестационарные процессы теплообмена. Основные дифференциальные уравнения переноса тепла и массы. Молекулярная теплопроводность и диффузия.

Конвективный тепло- и массообмен. Вынужденная и естественная кон-

векция. 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.

Радиационный теплообмен.

## **2. Производство черных, цветных и редких металлов**

### **2.1. Подготовка шихтовых материалов**

*Дробление и измельчение.* Цель и характеристика процессов. Способы дробления и измельчения. Устройство и принцип работы дробилок для крупного, среднего и мелкого дробления. Мельницы для измельчения материалов. Устройство и принцип работы барабанных мельниц.

*Грохочение и классификация.* Цель и способы разделения сыпучих материалов по крупности. Устройства и принцип работы грохотов и типы. Теоретические основы классификации. Устройство классификаторов и их типы.

*Обогащение руд.* Физические основы и показатели процесса обогащения. Методы обогащения рудного сырья. Устройство аппаратов для обогащения руд. Обезвоживание концентратов мокрого обогащения.

*Усреднение шихтовых материалов.* Цель и показатели усреднения. Методы усреднения химического состава и физических свойств руд при добыче, на складах, в бункерах.

*Окускование мелких руд и концентратов.* Общее представление об агломерационном процессе, его схема. Характеристика компонентов агломерационной шихты, подготовка ее к спеканию, смешивание и окомкование, загрузка на спекательные тележки. Зажигание шихты и ход процесса спекания, его показатели. Изменение температуры и других характеристик процесса во времени и по высоте спекаемого слоя.

Схема производства окатышей: подготовка материалов, состав шихты, получение сырых окатышей, обжиг окатышей - сушка, подогрев, обжиг, охлаждение. Схема газовых потоков обжиговой машины и тепловые зоны обжига.

### **2.2. Производство чугуна**

*Характеристика железных руд.* Железорудные минералы. Требования к качеству железных руд. Принципы металлургической и экономической оценки рудного сырья. Факторы, определяющие рентабельность промышленной переработки руды данного месторождения.

*Комплексные руды.* Основные рудные минералы и типы комплексных руд. Требования черной металлургии к комплексным рудам.

*Топливо доменной плавки.* Требования, предъявляемые к доменному топливу. Процесс производства кокса, устройство коксовых печей (батарей), технология коксохимического производства. Качество доменного кокса: технический анализ, физические и механические свойства. «Заменители» кокса в доменной плавке: природный газ, коксовый газ, мазут, пылеугольное топли-

во, их состав и характеристика.

*Флюсы доменной плавки.* Роль флюсов в доменной плавке. Типы флюсов: основные, кислые, глиноземистые. Требования к химическому составу флюсов. Заменители руд и флюсов. Возможность замены руд и флюсов отходами различных производств. Характеристика отходов передельных металлургических и других производств: чугунный скрап, мартеновские, конвертерные, сварочные и другие шлаки, окалины, пиритные огарки, колошниковая пыль, шламы газоочисток и др.

*Восстановительные процессы в доменной печи.* Восстановление оксидов железа. Прямое и косвенное восстановление. Влияние соотношения степеней прямого и косвенного восстановления на расход кокса в доменной плавке. Восстановление оксидов железа водородом. Восстановление в доменной печи марганца, кремния, фосфора и других элементов. Факторы, способствующие или затрудняющие восстановление этих элементов.

*Десульфурация чугуна.* Источники поступлений серы в доменную печь, ее поведение в различных зонах печи. Распределение серы между чугуном, шлаком и газом. Основная реакция перехода серы из чугуна в шлак. Факторы, способствующие протеканию этой реакции. Внедоменная десульфурация чугуна.

*Образование чугуна и шлака.* Размягчение железорудных материалов при нагревании. Процесс науглероживания железа. Первичный и конечный шлак. Влияние химического состава шлака на его температуру плавления и вязкость. Влияние шлакового режима на ход доменной плавки и состав чугуна.

*Горение топлива в доменной печи.* Значение и особенности процесса горения топлива в доменной печи. Зона горения, ее структура.

Влияние различных химических процессов на изменение количества и состава газа на различных горизонтах печи. Количество и состав колошникового газа.

*Теплообмен в доменной печи.* Понятие о теплоемкостях потоков газа и материала в доменной печи, изменение их по высоте рабочего пространства печи. Изменение температуры газов и материалов по высоте печи. Определяющая роль нижней ступени теплообмена в установлении удельного расхода кокса в доменной плавке.

*Устройство и оборудование доменных печей и цехов.* Доменная печь. Профиль рабочего пространства. Фундамент. Огнеупорная футеровка. Охлаждение печи. Устройство леток и фурменных приборов. Засыпный и распределительный аппараты. Устройства для загрузки шихтовых материалов в печь: бункерная эстакада, оборудование для сортировки компонентов шихты их взвешивания и подачи на колошник.

### **2.3. Сталеплавильное производство**

*Очистка 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. Физико-химические основы окисления фосфора и удаления серы.

*Раскисление стали.* Термодинамика раскисления стали. Раскислительная способность отдельных раскислителей. 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. 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. 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.

Растворимость азота в железе и его сплавах, влияние на нее температуры и состава сплава. Поведение азота в ваннах сталеплавильных агрегатов (кислородных конвертерах, мартеновских, двухванных и дуговых печах).

*Особенности производства стали в различных сталеплавильных агрегатах.* Кислородно-конвертерный процесс. Реакционная зона конвертера, ее температурный режим, 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 в кислородно-конвертерных процессах.

Окисление углерода.

Окисление шлакообразующих компонентов ванны.

Поведение серы в кислородно-конвертерном процессе.

Аргонокислородная продувка. Получение нержавеющей сталей в конвертерах.

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

*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 двухваннных 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.

*Электросталеплавильное производство.* Современное состояние и перспективы развития электросталеплавильного производства.

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

Физико-химические особенности процесса дефосфорации.

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

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.

Вакуумный дуговой переплав (ВДП). Влияние электрического режима на процессы рафинирования.

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

Плазменная плавка и плазменно-дуговой переплав (ПДП). Взаимодействие металла с газами в условиях плазменной дуги. Легирование металла азотом.

*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. Варианты безокислительной дефосфорации стали.

Раскисление и дегазация стали в вакууме. Способы вакуумирования и их сравнительная эффективность. Вакуумное обезуглероживание. Влияние вакуумирования на качество стали.

Проблема непрерывных процессов производства стали. Технологические преимущества непрерывных процессов в сравнении с периодическими.

#### ***2.4. Технология производства тяжелых цветных металлов***

Общие принципы извлечения меди, никеля, свинца, цинка из руд и концентратов. Термодинамика и кинетика окисления сульфидов в твердом и жидком состоянии.

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

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

*Переработка медных руд и концентратов.* Разновидности отражательной плавки. 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. Выбросы в окружающую среду.

Переработка штейнов на черновую медь. Использование воздуха, обогащенного кислородом. Показатели процесса.

Автогенные процессы в металлургии меди. Их преимущества и недостатки. 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.

*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. Переработка файнштейна до огневого никеля.

Схема производства металлургического кобальта.

Подготовка окисленных никелевых руд к плавке в электропечах на ферроникель. Теория и практика плавки. Рафинирование черного ферроникеля.

Подготовка сульфидных руд и концентратов к плавке в электрических печах. Теория и практика электроплавки.

Особенности конвертирования медно-никелевых штейнов. Разделение

файнштейна. Способы переработки медного и никелевого концентратов, полученных при флотации файнштейна.

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

*Переработка свинцовых концентратов.* Агломерирующий обжиг свинцовых концентратов. Теория и практика.

Восстановительная плавка свинцового агломерата. Химизм процесса. Поведение свинца и металлов-спутников при плавке.

Рафинирование черного свинца и переработка полупродуктов. Теория и практика.

Способы переработки шлаков, пыли.

Автогенные и гидрометаллургические способы переработки свинцовых концентратов. Пылеулавливание.

Техника безопасности при производстве свинца и охрана окружающей среды.

*Переработка цинковых концентратов.* 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.

## ***2.5. Технология производства золота, серебра и металлов платиновой группы***

Извлечение благородных металлов амальгамацией. Теоретические основы и технология процесса цианирования.

Термодинамика и кинетика процесса осаждения золота и серебра из цианистых растворов цинком и алюминием. Теоретические основы сорбции золота и серебра из цианистых растворов активированным углем, ионно-обменными смолами (анионитами) и жидкостной экстракцией органическими растворителями.

Аффинаж золота, серебра и металлов платиновой группы.

## ***2.6. Технология производства легких цветных сплавов***

*Получение магния.* Характеристика исходных материалов. Теория и технология получения безводного хлорида магния и бинифита. Обезвоживание карналлита.

Состав и физико-химические свойства электролитов. Особенности кинетики электродных процессов. Влияние примесей и добавок в электролит на катодный процесс. Образование шлама. Техника электролитического получения магния. Конструкция электролизеров. Устройство цехов электролиза, отсос хлора и катодных газов. Рафинирование магния-сырца переплавкой с флюсами. Электролитическое рафинирование магниевых ломов и отходов.

*Получение алюминия.* Основные руды алюминия.

Переработка бокситов гидрохимическим способом. Принципиальная технологическая схема способа Байера.

Получение глинозема способом спекания из бокситов. Принципиальная технологическая схема способа спекания.

Комплексная переработка нефелинов. Принципиальная технологическая схема способа спекания. Основная аппаратура.

Производство фтористых солей. Производство криолита кислотным способом: основные реакции, технологическая схема и аппаратура.

Производство электродов: исходные материалы, прессование, обжиг «зеленых» электродов, графитирование.

Теория электролиза криолитоглиноземных расплавов. 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. Конструкции электролизеров. Нарушение нормальной работы электролизеров. Влияние электромагнитных сил на работу электролизеров.

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

Энергетические балансы электролизеров, связь между плотностью тока и удельными потерями тепла.

Электролитическое рафинирование алюминия.

## **2.7. Технология производства редких металлов**

*Тугоплавкие редкие металлы.* Вольфрам и молибден. Способы разложения рудных концентратов. Производство чистых трехоксидов молибдена и вольфрама.

Использование ионообменных и экстракционных процессов в гидрометаллургии вольфрама и молибдена. Способы отделения молибдена от вольфрама.

Термодинамика, кинетика и механизм восстановления трехоксидов вольфрама и молибдена водородом, практика процесса. Получение вольфрама и молибдена восстановлением галогенидов.

Тантал и ниобий. Обзор и сопоставление способов разложения рудных концентратов различного типа (танталит-колумбит, лопарит, пирохлор). Основы способов разделения тантала и ниобия.

Обзор и сопоставление способов производства тантала и ниобия. Получение тантала и ниобия восстановлением хлоридов.

Титан, цирконий и гафний. Основы современной технологии производства четыреххлористого титана.

Физико-химические основы способов вскрытия циркониевых концентратов. Способы разделения циркония и гафния.

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

*Рассеянные редкие металлы.* 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 металлы.* Основы процессов получения редкоземельных металлов высокой чистоты. Варианты технологических схем переработки моноцитовых концентратов с получением соединений редкоземельных металлов и тория.

## **Список рекомендованных источников**

### **Основная литература**

1. Погодаев, А.М. Основы теории пирометаллургических процессов / А.М. Погодаев, И.А. Погодаева. – Красноярск: ГУЦМиЗ, 2004. - 136 с.
2. Падерин, С.Н. Теория и расчеты металлургических систем и процессов: учебное пособие для вузов / С.Н. Падерин, В.В. Филиппов. – М.: МИСИС, 2002. - 334 с.
3. Исаева, Л.А. Теория электрометаллургических процессов: учеб. пособие / Л.А. Исаева, Ю.Г. Михалев. – Красноярск: ГОУ ВПО "Гос. ун-т цвет. металлов и золота", 2006. - 156 с.
4. Вольдман, Г.М. Теория гидрометаллургических процессов / Г.М. Вольдман, А.Н. Зеликман. – М.: Интермет Инжиниринг, 2003. - 464 с.
5. Марченко, Н. В. Металлургия тяжелых цветных металлов: учеб. пособие / Н. В. Марченко, Е. П. Вершинина, Э. М. Гильдебрандт. – Красноярск: ИПК СФУ, 2009. - 388 с.
6. Стрижко, Л.С. Металлургия золота и серебра: учеб. пособие для вузов / Л.С. Стрижко. – М.: МИСиС, 2001. - 336 с.
7. Теплотехника металлургического производства. Т 1. Теоретические основы / В.А. Кривандин, В.А. Арутюнов, В.В. Белоусов и др. – М.: Изд-во МИСиС, 2002.
8. 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.

### **Дополнительная литература**

1. Борбат, В.Ф. Металлургия платиновых металлов / В.Ф. Борбат. – М.: Металлургия, 1977.
2. Зеликман, А.Н. Металлургия редких металлов / А.Н. Зеликман, Б.Г. Коршунов. – М.: Металлургия, 1991.
3. Николаев, И.В. Металлургия легких металлов / И. В. Николаев, В.И. Москвитин, Б.А. Фомин. – М.: Металлургия, 1997.
4. Процессы и аппараты цветной металлургии / С.С. Набойченко, Н.Г. Агеев, В.П. Дорошкевич и др. – Екатеринбург: УГТУ - УПИ, 1997.
5. Производство глинозема / А.И. Лайнер, Н.И. Еремин, Ю.А. Лайнер и др. – М.: Металлургия, 1978.

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

7. Автогенные процессы в цветной металлургии / В.В. Мечев, В.П. Быстрое, А.В. Тарасов и др. – М.: Metallurgy, 1991.

8. Металлургия стали / Под ред. В.И. Явойского и Ю. В. Кряковского. – М.: Metallurgy, 1983.

9. Металлургия стали / Под ред. В.И. Явойского и Г.Н. Ойса. – М.: Metallurgy, 1973.

10. Металлургия чугуна / Е.Ф. Вегман, Б.Н. Жеребин, А.Н. Похвиснев и др. – М.: Metallurgy, 1989.

Составитель программы:

Н.В. Белоусова, д-р хим. наук, профессор.

Программа соответствует паспорту номенклатуры специальностей научных работников.