ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ «ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ»,

соответствующей направлению подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

22.06.01 Технологии материалов

совокупности программ аспирантуры с направленностями (профилями)

05.16.02 МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ

05.16.09 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ (МАШИНОСТРОЕНИЕ)

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2020

Программа вступительного испытания по специальной дисциплине, соответствующей направлению подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 22.06.01 Технологии материалов, программы аспирантуры с направленностью (профилем): 05.16.09 Материаловедение (машиностроение), 05.16.02 Металлургия черных, цветных и редких металлов разработана на основании федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования уровней магистратуры и специалитета. Программа вступительного испытания одобрена на Совете электромеханического факультета и Совете факультета переработки минерального сырья.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРОГРАММЕ ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ «ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ»

Основной целью вступительного испытания в аспирантуру по специальной дисциплине является выявление компетенций в различных областях, таких как:

- понимание методологических основ дисциплины;
- знание общих закономерностей электронного и атомного строения металлов и сплавов;
- знание основ теории дефектов кристаллического строения;
- знание механизмов и кинетики фазовых и структурных превращений в металлах и сплавах в твердом состоянии;
- знание видов термической обработки, режимов их проведения и происходящих при этом фазовых или структурных превращениях;
- знание основных разновидностей термомеханической обработки, режимов ее проведения и влияния на структуру и свойства сталей и сплавов;
- знание основных разновидностей химико-термической обработки, режимов ее проведения и влияния на структуру и свойства поверхностных слоев сталей и сплавов;
- знание технологии и современного оборудования для закалки, отжига, отпуска и других видов термической обработки сталей и сплавов;
- знание углеродистых, специальных сталей и сплавов, титана, меди, алюминия и их сплавов;
- знание механических свойств металлов;
- знание неметаллических материалов.
- знание основ физико-химического анализа пирометаллургических процессов;
- знание характера взаимосвязей, строения и физико-химических свойств веществ;
- знание основных закономерностей процессов выщелачивания, способов экспериментального определения природы лимитирующей стадии и интенсификации процесса;
- знание методов сорбции и экстракции, основ теории и технологии этих процессов;
- знание закономерностей кристаллизации солей;
- знание методов осаждения малорастворимых соединений;
- знание методов осаждения металлов из растворов (цементация, восстановление водородом);

- знание понятий электрометаллургии и электрохимии;
- иметь представление о строении двойного электрического слоя на границе электрод – электролит, о кинетике электродных процессов разряда и ионизации, влиянии кинетики на структуру, состав и качество получаемых катодных осадков и порошков;
- знание процессов производства меди, никеля, цинка и свинца;
- знание важнейших физико-химических закономерности процессов, используемых в металлургии этих металлов;
- знание принципиальных взаимосвязей технологических процессов и эксплуатируемого оборудования;
- знание основных технологических процессов и аппаратов металлургии благородных металлов;
- знание важнейших физико-химические закономерностей технологических процессов;
- знание современного состояния экономики редких металлов и ее динамики (обеспеченность сырьем, области применения, объемы производства и потребления, цены, перспективы), а также источники этой информации;
- знание теоретических основ и технологийпроизводства Mo, W, Ti, Re, Se, Ge, Ga, U;
- знание принципов производства V, Nb, Ta, In, Tl, Te, Ra, РЗЭ, Li, Rb, Cs, Be;
- знание принципов технологических решений экологических задач.
- знание состояние и перспективы развития сырьевой базы алюминиево-магниевой промышленности; в общих чертах знать источники сырья для производства других легких металлов;
- знание физико-химические основ и технологий получения глинозема из бокситов, нефелинов, алунитов и бесщелочных алюмосиликатов;
- знание теории и технологии производства алюминия методом электролиза криолит-глиноземных расплавов, включая автономные блоки – производство электродов и фторсолей, рафинирование алюминия;
- знание теоретических основ и технологии получения магния методом электролиза хлоридных расплавов и методом силикотермии, технологию рафинирования магния;
- знание методов защиты окружающей среды, технологий переработки отходов, основные направления ресурсосбережения.

СОДЕРЖАНИЕ ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ «ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ (МЕТАЛЛУРГИЯ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ)»

На вступительном испытании соискатель должен продемонстрировать основные компетенции, сформированные в результате освоения учебной дисциплины «Теория и технология термической и химико-термической обработки», «Теория металлургических процессов», «Металлургия цветных, редких и благородных металлов» и смежных с ними дисциплин в высшем учебном заведении при обучении по программам специалитета, магистратуры.

СТРУКТУРА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ

Вступительное испытание включает:

1) Устные ответы на три вопроса из списка вопросов для вступительного испытания.

2) Беседа с членами экзаменационной комиссии по вопросам, связанным с научным исследованием соискателя.

1. РАЗДЕЛЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ (МАШИНОСТРОЕНИЕ), РАССМАТРИВАЕМЫЕ В ХОДЕ ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ

Раздел 1. Строение металлов и сплавов

Основные типы связи атомов в твердых телах. Металлическая связь. Электронное строение и физические свойства металлов. Поверхность Ферми и зоны Бриллюэна. Твердые растворы замещения, внедрения и вычитания. Упорядоченные твердые растворы. Электронные соединения, фазы Лавеса, сигма-фазы, фазы внедрения.

Правило фаз. Диаграммы состояния двойных и тройных систем с непрерывным рядом твердых растворов, с эвтектическими, перитектическими и монотектическими равновесиями, с конгруэнтно и инконгруэнтно плавящимися промежуточными фазами, с полиморфизмом компонентов. Термодинамический анализ диаграмм состояния. Отклонения от равновесия при кристаллизации сплавов в системах разного типа.

Раздел 2. Дефекты кристаллического строения

Основные типы кристаллических решеток. Типы дефектов кристаллического строения. Точечные дефекты. Дислокации. Дефекты упаковки. Вектор Бюргерса. Плотность дислокаций. Скольжение и переползание дислокаций. Зарождение и размножение дислокаций, источник Франка-Рида. Сила Пайерлса-Набарро. Взаимодействие дислокаций между собой и с примесными атомами. Атмосферы Котрелла, Снука, Сузуки. Дислокационные сетки и малоугловые границы. Высокоугловые границы. Миграция границ и зернограничное проскальзывание.

3. Фазовые и структурные превращения в металлах и сплавах в твердом состоянии

Механизмы миграции атомов. Законы Фика. Коэффициент диффузии. Структурно чувствительные процессы диффузии. Классификация фазовых и структурных превращений. Фазовые превращения I и II рода. Гомогенный и гетерогенный механизмы зарождения. Строение и механизм движения поверхностей раздела фаз.

Сдвиговое (бездиффузионное) и нормальное (диффузионное) превращения. Термодинамический и кристаллографический анализ сдвигового (мартенситного) превращения. Механизм и кинетика сдвиговых и нормальных превращений. Эвтектоидное превращение. Механизм и кинетика эвтектоидного превращения. Диаграммы фазовых превращений (термокинетические, изотермические и др.).

Упорядочение твердого раствора. Дальний и ближний порядок. Изменение свойств сплавов при упорядочении.

Образование и распад метастабильных фаз. Распад пересыщенного

твердого раствора. Спинодальный распад. Термодинамика образования промежуточных фаз. Структурные изменения при старении (кластеры, зоны Гинье-Престона, промежуточные метастабильные фазы, модулированные структуры). Когерентные, частично когерентные и некогерентные выделения. Формы выделений. Непрерывный и прерывистый распад.

4. Термомеханическая обработка

Структурные изменения при пластической деформации. Динамическая полигонизация и динамическая рекристаллизация. Возврат и рекристаллизация после горячей деформации. Высокотемпературная и низкотемпературная термомеханическая обработка. Термомеханическая обработка дисперсионно-твердеющих сплавов.

5. Термическая обработка

Классификация видов термической обработки.

Гомогенизационный отжиг. Изменение структуры и свойств сплавов при гомогенизационном отжиге.

Дорекристаллизационный и рекристаллизационный отжиги. Отдых. Полигонизация. Первичная, собирательная и вторичная рекристаллизация. Механизм и кинетика отдыха, полигонизации и рекристаллизации, влияние на них предшествующей пластической деформации, примесей, температуры и продолжительности отжига. Параметры полигонизованной и рекристаллизованной структур.

Критическая степень деформации. Диаграммы рекристаллизации. Закономерности и природа изменения механических и физических свойств при отжиге после холодной деформации. Текстура деформации, первичной, собирательной и вторичной рекристаллизации. Анизотропия свойств текстурованных металлов.

Отжиг для уменьшения остаточных напряжений. Механизм снижения остаточных напряжений при нагревании.

Фазовые превращения при нагреве. Структурная наследственность.

Закалка без полиморфного превращения. Изменение структуры и свойств при закалке.

Закалка с полиморфным превращением. Микроструктура и субструктура мартенсита. Упрочнение и изменение пластичности при закалке на мартенсит. Критическая скорость охлаждения при закалке, прокаливаемость.

Бейнитное превращение. Строение бейнита. Изотермическая закалка.

Старение. Природа упрочнения при старении. Влияние температуры и продолжительности старения на механические и физические свойства сплавов. Перестаривание, ступенчатое старение. Влияние температуры нагрева под закалку и скорости охлаждения на формирование структуры и свойств сплавов при старении.

Отпуск. Изменение микроструктуры, субструктуры и фазового состава при отпуске. Обратимая и необратимая отпускная хрупкость.

6. Химико-термическая обработка

Элементарные процессы при химико-термической обработке. Структура диффузионных слоев и ее связь с диаграммой состояния. Азотирование, цементация, нитроцементация, алитирование, хромирование, борирование,

сульфидирование, силицирование.

7. Углеродистые стали, специальные стали

Влияние примесей и газов на свойства стали. Конструкционная сталь общего назначения. Инструментальная сталь. Холоднокатаная сталь.

Конструкционные легированные стали. Хрупкость, улучшение. Стали для пружин. Шарикоподшипниковые стали. Пороки легированных сталей. Причины образования дефектов, их устранение.

Инструментальные стали. Штамповые стали. Быстрорежущие стали.

Нержавеющие стали. Хромистые стали. Коррозия и коррозионное растрескивание. Высокопрочные стали аустенитного класса. Жаростойкие и жаропрочные стали и сплавы.

Износостойкие стали и сплавы.

8. Титан, алюминий медь и их сплавы

Титан и его свойства, модификации. Влияние примесей. Легирование. Промышленные сплавы. Коррозионная стойкость титана и его сплавов.

Алюминий и его свойства. Сплав с медью. Влияние постоянных примесей. Механизм старения. Влияние легирующих элементов. Деформируемые алюминиевые сплавы. Дюралюминий. Силумин.

Медь и ее свойства. Сплавы меди с цинком, оловом, алюминием.

9. Механические свойства металлов

Напряженное и деформированное состояние. Нормальные и касательные напряжения, схемы. Удлинения и сдвиги. Упругая, пластическая деформации. Скольжение и двойникование.

Остаточные напряжения, причины возникновения и методы контроля, хрупкое и вязкое состояние при разрушении металлов.

Статические испытания. Испытания на растяжение. Испытания на изгиб, кручение. Твердость металла и определение твердости.

Динамические испытания. Испытания на усталость. Испытания на ползучесть и длительную прочность.

Определение износа, его типы и механизмы, факторы, определяющие износ.

10. Неметаллические материалы в машиностроении

Классификация полимерных материалов. Пластические массы, классификация и свойства. Старение и стойкость пластмасс.

Композиционные конструкционные и антифрикционные материалы. Химическое строение, процессы отверждения и свойства полимерных матриц. Армирующие материалы, структура и свойства, технологии изготовления.

Силикатные материалы. Виды стёкол. Стеклокристаллические материалы. Керамика, свойства, состав, применение.

Лакокрасочные и клеящие материалы. Классификация лакокрасочных материалов, технология нанесения покрытий. Классификация клеящих материалов, природа, состав, применение в машиностроении, методы испытания клеевых соединений.

РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основная литература

1. Солнцев, Ю.П. Материаловедение: Учебник для вузов. Изд. 4-е, перераб. и доп. / Солнцев Ю.П., Пряхин Е.И. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2007. - 784 с.

2. Гуляев, А.П. Металловедение. Учебник / А.П. Гуляев. - М.: Металлургия, 1986. - 541 с.

3. Новиков, И.И. Кристаллография и дефекты кристаллической решетки. Учебник / И.И. Новиков, К.М. Розин. - М.: Металлургия, 1990. - 335 с.

4. Новиков, И.И. Теория термической обработки металлов. Учебник / И.И. Новиков. - М.: Металлургия, 1992. - 271 с.

Дополнительная литература

1. Новиков, И.И. Металловедение, термическая обработка и рентгенография / И.И. Новиков, Г.Б. Строганов, А.И. Новиков. - М.: МИСиС, 1994. – 479 с.

2. Колачев, Б.А. и др. Технология термической обработки цветных металлов и сплавов: Учебник / Б.А. Колачев [и др.]. - М.: Металлургия, 1992. - 271 с.

3. Арзамасов Б.Н., Макаров В.И., Мухин Г.Г. и др. Материаловедение: Учебник для вузов. Под общей редакцией Арзамасова Б.Н., Мухина Г.Г. / Б.Н. Арзамасов [и др.]. - 8-е изд., перераб. и доп. - М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. - 648 с.

4. Пряхин Е.И. Материаловедение [Электронный ресурс] : учебник / Е.И. Пряхин. — Электрон. текстовые данные. — СПб. : Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2014. — 424 с. — 978-5-94211-699-6. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/71696.html

Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:

Библиотеки

Библиотека Горного университета	www.spmi.ru/node/891
Российская государственная библиотека	www.rsl.ru
Российская национальная библиотека	www.nlr.ru
Библиотека Академии наук	www.rasl.ru
Библиотека по естественным наукам РАН	www.benran.ru
Всероссийский институт научной и технической информации (ВИНИТИ)	www.viniti.ru

Государственная публичная научно-техническая библиотека	www.gpntb.ru
Научная библиотека Санкт-Петербургского государственного университета	www.geology.pu.ru/library/
Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU	elibrary.ru

Специальные интернет-сайты

Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам»	window.edu.ru/window/ library?p_rubr=2.2.74.9

2. РАЗДЕЛЫ МЕТАЛЛУРГИИ ЧЁРНЫХ ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ, РАССМАТРИВАЕМЫЕ В ХОДЕ ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ

1. Металлургии чёрных цветных и редких металлов

1.1. Введение. Теория металлургических процессов – научная основа современной металлургии. Основные задачи курса. Роль физической химии и физики в становлении дисциплины. Классификация металлургических процессов, основные приемы, процессы и реакции при выделении цветных металлов из полиметаллических руд и их глубокой очистке от примесей. Значение пиропроцессов в развитии металлургии цветных металлов и роль российских ученых в создании теории основ металлургии. Место термодинамики и кинетики процессов в гомогенных и гетерогенных системах как основных приемов анализа металлургических процессов.

1.2. Состав и свойства газовой фазы. Характеристика газовой фазы. Термодинамика взаимодействия газовых реагентов с кислородом. Оценка состояния равновесия. Взаимодействие CO, H_2, SO_2, CH_4 с кислородом. Равновесный состав как функция давления. Кинетика и механизм реакций горения водорода и окиси углерода. Пределы самовоспламенения смесей. Механизм и кинетика взаимодействия компонентов водяного газа.

1.3. Процессы взаимодействия углерода с газовой фазой. Окисление и газификация углерода. Термодинамический анализ горения углерода с кислородом и водяным паром. Разновидности углерода. Оценка состояния равновесия. Направление процесса. Кинетика и механизм горения твердого углерода. Схема гетерогенного процесса. Особенности протекания процесса в кинетических и диффузионных областях. Выявление лимитирующих стадий и путей интенсификации процесса. Тепловое воспламенение и тушение твердых материалов. Особенности стационарного протекания эндотермической гетерогенной реакции.

1.4. Теория образования и диссоциации химических соединений. Диссоциация соединений переменного состава при постоянной температуре. Диссоциация соединений с образованием конденсированных фаз постоянного состава. Влияние агрегатных превращений на процессы диссоциации соединений металлов. Диссоциация соединений, образующих растворы. Механизм и кинетика диссоциации соединений.

1.5. Процессы окисления металлов. Термодинамика, кинетика и механизм окисления твердых металлов. Структура окалины на металлах. Окисление расплавленных металлов.

1.6. Процессы восстановления соединений металлов. Газовое восстановление оксидов нелетучих металлов. Восстановление оксидов летучих

металлов. Восстановление хлоридов металлов. Восстановление оксидов из расплавов. Раскисление металлов. Алюмотермия и силикотермия. Восстановление в условиях плазменных температур. Роль вакуума при восстановлении летучих металлов.

1.7. Процессы в сульфидных системах. Взаимодействие сульфидов с газами. Условия образования и диссоциации сульфидов. Механизм и кинетика окисления сульфидов. Обжиг сульфидов. Спекание. Взаимодействие между оксидами и сульфидами одного металла. Реакции между сульфидами и сульфатами. Основы теории плавки сульфидов. Современные теории механизма окисления сульфидов.

1.8. Процессы, основанные на использовании свойств систем металл - галогенид. Взаимодействие оксидов с галогенами, хлоридами других элементов. Роль углеродсодержащих добавок при хлорировании окислов. Основы хлорирующего обжига. Сегрегация.

1.9. Металлургические расплавы. Сходство и различие вещества в твердом и жидком состоянии. Современные теории строения жидкостей. Расплавленные смеси окислов. Строение шлаковых расплавов. Катионы – модификаторы и сеткообразователи. Микронеоднородность шлаковых систем. Диаграммы состояния основных шлаковых систем цветной металлургии. Поверхностное натяжение как отражение строения шлаковых систем. Влияние основных компонентов на величину поверхностного натяжения шлаков. Физико-химические свойства и строение расплавленных сульфидов. Деление сульфидов на ионные жидкости и полупроводники. Металлизированные штейны. Активность компонентов в оксидных и сульфидных системах. Основные физико-химические характеристики расплавленных металлов. Энергетическая характеристика границы контакта металл – шлак, штейн – шлак. Образование двойного электрического слоя. Контактная граница металл – ионный проводник. Распределение зарядов двойного слоя. Межфазное натяжение в системах металл – шлак, штейн – шлак. Влияние состава шлака и штейна на изменение межфазного натяжения. Влияние температуры на межфазное натяжение.

1.10. Потери цветных металлов со шлаками. Скорость осаждения и всплывания дисперсной фазы в жидкой среде. Коалисценция в расплавах. Распределение штейна и шлака, металла и шлака. Механизм перехода ценных компонентов через границу раздела. Потери металлов при плавках. Зависимость потерь металлов от вязкости, удельного веса, температуры, состава шлаков.

1.11. Кристаллизационные методы рафинирования металлов. Ликвация и ликвационное рафинирование металлов. Кинетика процесса. Направленная кристаллизация. Равновесный и эффективный коэффициенты распределения примесей при кристаллизации. Зонная плавка. Выращивание монокристаллов.

1.12. Процессы, основанные на испарении и конденсации. Величины давления паров металлов, оксидов, сульфидов. Термодинамика испарения простых веществ и растворов. Механизм и кинетика процесса испарения. Факторы, влияющие на скорость процесса испарения. Зародышеобразование новой фазы. Кипение расплавов. Молекулярный режим испарения. Потери металлов в виде паров при восстановительном процессе. Отгонка металла из шлака при фьюминговании.

Теория процессов конденсации чистых паров и смеси паров с

неконденсируемыми газами. Конденсация в жидкость и в кристаллическую фазу.

Основные закономерности процессов перегонки жидкостей. Вакуумное рафинирование металлов.

2. Теория электрометаллургических процессов, рассматриваемые в ходе вступительного испытания

2.1. Введение. Предмет и содержание дисциплины. Электрохимические процессы. Основные электрохимические и электрометаллургические производства. Краткий исторический обзор развития электрометаллургии цветных металлов.

2.2. Двойной электрический слой на границе электрод - электролит. Скачок потенциала на границе электрод – электролит. Ток обмена. Двойной электрический слой (Д.Э.С.). Модель Гельмгольца, теория Гуи-Чампена, теория Штерна. Плотная и диффузионная часть Д.Э.С., их потенциалы. Специфическая адсорбция на заряженной поверхности электрода. Электрокапиллярные явления. Электрометры, электрокапиллярные кривые. Нулевая точка металла. Сорбция и десорбция поверхностно-активных веществ. Емкость Д.Э.С., методы ее измерения и использования для определения потенциалов нулевого заряда, расчета адсорбции поверхностно-активных ионов и величины поверхности электродов.

2.3. Электродные потенциалы и электродвижущие силы. Равновесные электродные потенциалы. Стандартный потенциал. Формула Нэрнста. Использование стандартных потенциалов для описания химического равновесия в растворе.

Классификация электродов. Электроды первого рода, второго рода. Электроды сравнения. Стеклянный электрод, мембранные электроды. Измерение pH. Амальгамные электроды. Элемент Вестона.

Окислительно-восстановительные или редокс-потенциалы. Их измерение и расчет с учетом ионной силы раствора и коэффициентов активности. Потенциометрический метод изучения стойкости и состава комплексных соединений металлов.

Гальванический элемент и его электродвижущая сила. Методы и аппаратура для измерения электродвижущих сил. Концентрационные элементы с переносом и без переноса. Диффузионный потенциал. Электролитические ключи.

2.4. Электролиз водных растворов. Основные закономерности. Прохождение электрического тока через электрохимическую систему. Катодные и анодные процессы, активные и пассивные электроды. Законы электролиза. Электрохимический эквивалент. Выход по току. Кулонометры. Возможные случаи несоблюдения закона Фарадея. Понятие о гальваностегии и гальванопластике. Электроанализ и кулонометрия.

Электропроводность электролитов. Измерение и расчет электропроводности. Подвижность ионов. Числа переноса и методика их определения. Принцип кондуктометрии.

Напряжение разложения. Расчет по термодинамическим данным и практическое определение. Обратная электродвижущая сила. Удельный расход энергии при электролизе, выход по энергии.

2.5. Кинетика электродных процессов. Электродная поляризация. Понятие об электродной поляризации. Влияние плотности тока. Стационарный потенциал. Поляризационная кривая. Аппаратура и методы снятия (получения)

поляризационных кривых.

Диффузионные ограничения. Концентрационная поляризация. Предельная плотность тока. Вывод уравнения концентрационной поляризации. Случаи растворимого анода. Восстановление нескольких катионов. Принцип полярографии. Основное уравнение полярографии для ртутного капельного электрода. Принцип амперометрического титрования.

Электрохимическая поляризация (перенапряжение). Перенапряжение при выделении водорода на катоде. Гипотезы. Уравнение Тафеля. Теория замедленного разряда, ее становление. Основное уравнение для перенапряжения выделения водорода. Влияние различных факторов (материал и состояние поверхности электрода, pH и ионный состав раствора, наличие в растворе поверхностно-активных веществ, величина тока, температура раствора и др.) на перенапряжение водорода.

Определение природы электродной поляризации. Влияние скорости перемешивания электролита на концентрационную поляризацию. Применение вращающегося дискового электрода для определения коэффициентов диффузии разряжающихся ионов. Влияние температуры электролита на скорость электродной разрядки. Эффективная энергия активации электродного процесса. Температурно-кинетический метод определения природы электродной поляризации.

2.6. Электродные процессы при осаждении металлов из растворов. Качество осадков и порошков. Характеристика катодных отложений и требования к осадкам. Закономерности образования отдельных кристаллов и поликристаллических осадков. Поляризация при выделении кристаллической фазы на катоде. Факторы, влияющие на структуру осадка. Условия и особенности образования компактных и порошкообразных катодных осадков.

Катодные процессы в растворах комплексных солей металлов. Особенности кинетики электроосаждения металлов из комплексных электролитов.

Совместный разряд ионов на катоде. Область электрохимической устойчивости воды. Совместный разряд ионов металла и водорода, ионов основного и примесного металла. Электрохимическая очистка электролита от примесей. Получение сплавов.

Особенности ртути как катодного материала. Амальгамы. Деполяризация при разряде ионов металла на ртути. Перенапряжение выделения водорода на ртути. Амальгамная металлургия. Ртутный электрод в промышленности.

Анодные процессы. Анодное растворение металлов с образованием хорошо растворимых соединений. Пассивация металлов. Нерастворимые аноды. Реакции анодного окисления. Выбор материала анодов.

2.7. Электролиз расплавленных солей. Электродное равновесие в расплавах. Сложность измерения электродных потенциалов и электродвижущих сил в расплавленных солях. Электрохимические ряды металлов в расплавах. Напряжение разложения расплавленных солей. Особенности поляризации в расплавах.

Выход по току и удельный расход энергии. Взаимодействие электродных продуктов между собой и с расплавом электролита. Влияние температуры.

Влияние физико-химических свойств электролита (плотности, вязкости, поверхностного натяжения, давления пара и др.) на процесс электролиза. Специфические явления при электролизе расплавов. Критическая плотность тока.

Анодный эффект.

Основы получения алюминия, магния и натрия электролизом расплавов.

3. Теория гидрометаллургических процессов

3.1. Введение. Цель и задачи курса. История развития гидрометаллургических процессов и возрастание их роли в связи с повышением требований к комплексному использованию сырья, качеству продукции, защите окружающей среды. Роль гидрометаллургии в современном металлургическом производстве. Основные процессы гидрометаллургии. Задачи теории гидрометаллургических процессов. Понятие о технологических схемах.

3.2. Химизм и термодинамика процессов выщелачивания. Химизм процессов выщелачивания, не сопровождающихся изменением степени окисления компонентов. Простое растворение. Реакции нейтрализации. Обменные реакции, сопровождающиеся образованием малорастворимых соединений или газообразных веществ.

Химизм окислительно-восстановительных процессов выщелачивания. Выщелачивание, сопровождающееся окислением катиона, аниона или как катиона, так и аниона. Выщелачивание, сопровождающееся восстановлением катиона или аниона. Окислители и восстановители, применяемые в гидрометаллургии.

Технологические аспекты выщелачивания. Подготовка сырья к процессам выщелачивания. Методы выщелачивания. Прямоточный и противоточный процессы.

Термодинамика простого растворения. Характеристика воды как растворителя.

Термодинамика процессов выщелачивания, сопровождающегося обменными химическими реакциями. Методы расчета констант равновесия. Влияние температуры и давления на равновесный состав систем. Понятие о термодинамике дефектных кристаллов.

Термодинамика процессов выщелачивания, сопровождающихся окислительно-восстановительными реакциями. Окислительно-восстановительное равновесие воды и водных растворов. Eh – pH –диаграммы (диаграммы Пурбе), их построение и анализ. Влияние комплексообразования на потенциалы систем.

3.3. Кинетика процессов выщелачивания. Общая характеристика выщелачивания как гетерогенного процесса, протекающего с участием двух и более фаз. Общее уравнение кинетики процесса выщелачивания и его анализ. Особенности процесса выщелачивания при участии газовой фазы.

Закономерности внешней и внутренней диффузии. Правило Пиллинга – Бедвордса. Закономерности протекания процесса в области химической кинетики. Определение природы лимитирующей стадии.

Выщелачивание дисперсного материала. Влияние формы зерен на изменение величины поверхности в процессе выщелачивания и скорость процесса.

Влияние дефектов кристаллической решетки на скорость процессов выщелачивания. Понятие о механоактивации.

Катализаторы процесса выщелачивания. Неорганические катализаторы. Биокатализаторы. Понятие о бактериальном выщелачивании и его применении

при кучном и подземном выщелачивании.

Химизм, кинетика и механизм выщелачивания металлов, оксидов и сульфидов. Примеры.

3.4. Основы теории процессов ионного обмена и экстракции. Общие сведения о сорбентах и ионообменных материалах. Неорганические ионообменники, активированные угли, синтетические смолы и их характеристика.

Равновесие ионного обмена. Селективность ионного обмена. Изотермы сорбции. Влияние состава и pH раствора на коэффициенты распределения и разделения.

Кинетика ионного обмена. Понятие о пленочной и гелевой кинетике. Ионный обмен в колонках. Сорбционное извлечение металлов из пульп.

Элюирование и хроматография. Фронтальная хроматография. Вытеснительная хроматография. Элюентная хроматография. Изменение знака заряда иона за счет комплексообразования как метод элюирования.

Электродиализ и его использование для опреснения воды , регенерации реагентов и получения чистых веществ.

Общие сведения о методах жидкостной экстракции. Типы экстрагентов и их характеристика. Растворители и их влияние на процесс экстракции. Требования к качеству экстрагентов и растворителей, связанные с техникой безопасности и защитой окружающей среды.

Особенности равновесия реакций в процессах экстракции нейтральными, катионообменными и анионообменными экстрагентами. Понятие о синергетном эффекте при использовании двух экстрагентов.

Кинетика процессов экстракции и разделения органической и водной фаз. Принципы аппаратурного осуществления процессов экстракции. Экстракторы типа смеситель–отстойник, колонные и центробежные экстракторы.

Примеры использования процессов экстракции в цветной металлургии.

3.5. Осаждение металлов из растворов. Восстановление металлов водородом. Зависимость потенциала системы H^+/H_2 от парциального давления водорода и pH раствора. Механизм и кинетика процессов восстановления меди в сернокислом и аммиачном растворах. Теоретические основы осаждения водородом электроотрицательных металлов – никеля и кобальта. Применение других газообразных восстановителей – CO и SO_2.

Осаждение металлов из растворов неорганическими и органическими реагентами–восстановителями. Избирательное осаждение золота в хлоридных и палладия в сульфатных растворах солями Fe (II). Осаждение благородных металлов формиатом натрия.

Цементация металлов как процесс внутреннего электролиза. Теоретический и реальный пределы цементации. Механизм и кинетика процесса. Побочные процессы и их подавление.

Особенности цементации электроотрицательных металлов. Применение амальгам. Цементация галлия галламой алюминия. Влияние образования химических соединений и сплавов на полноту и скорость осаждения металлов при цементации.

Методы исследования процесса цементации. Построение и анализ поляризационных кривых. Определение катодного (анодного) контроля процесса. Изменение скорости цементации по мере обеднения раствора.

Принципы аппаратурного оформления процесса цементации и формы цементирующего металла (стружка, дробь, листы, порошок, жидкие сплавы – амальгамы, галлама).

3.6. Закономерности осаждения труднорастворимых соединений и кристаллизации солей.

Закономерности осаждения труднорастворимых соединений и кристаллизации солей.

Кристаллизация солей. Равновесие в системах соль-вода. Двойные системы. Методы кристаллизации солей. Изотермическая и изогидрическая кристаллизация. Расчет выхода продуктов при кристаллизации по диаграмме состояния.

Тройные системы. Изображение изотермических сечений тройных систем с помощью треугольника Гиббса и диаграммы Шрейнемакерса. Анализ процессов кристаллизации солей в тройных системах.

Механизм и кинетика процессов кристаллизации солей. Понятие о гомогенном и гетерогенном зародышеобразовании. Роль затравки. Перекристаллизация.

Общие закономерности осаждения труднорастворимых соединений. Растворимость и произведение растворимости труднорастворимых соединений. Влияние температуры, избытка одноименных ионов, ионной силы раствора, процессов комплексообразования и pH раствора (в случае осаждения солей слабых кислот и слабых оснований) на растворимость малорастворимых соединений.

Явление изоморфизма при осаждении труднорастворимых соединений. Закон Хлопина. Другие причины загрязнения осадков. Влияние затравки на скорость формирования и качество осадка. Процессы промывки, репульпации и переосаждения.

Закономерности гидратообразования. PH начала осаждения как функция ПР и активности ионов в растворе. Влияние степени окисления иона на эту функцию.

Разделение металлов методом гидролиза. Соосаждение гидроксидов.

Осаждение основных солей. Диаграмма Громова – Доброхотова.

Осаждение халькогенидов металлов. Влияние pH раствора на растворимость халькогенидов. Возможность образования халькогеносолей при избытке осадителя. Влияние комплексообразователей.

4. Металлургия тяжёлых цветных металлов

4.1. Введение в металлургию меди и современные эколого-экономические требования к технологии. Основные этапы развития металлургии меди в России. Характеристика медных руд как комплексного сырья. Современные принципиальные технологические схемы комплексного использования медных руд.

4.2. Штейновые плавки медных руд и концентратов. Разновидности автогенных плавок: шахтные, во взвешенном состоянии, в жидкой ванне. Штейны и шлаки при переработке медных руд и концентратов. Технико-экономические и экологические показатели плавок.

4.3. Производство черновой меди и ее огневое рафинирование. Сущность и общая характеристика конвертирования медных штейнов в горизонтальных конвертерах. Теория и практика огневого рафинирования

конвертерной меди.

4.4. Электрохимическое рафинирование и основы гидрометаллургии меди. Общие вопросы теории электролиза меди. Конструкция электролизной ванны. Технико-экономические показатели процесса. Факторы, определяющие режим и технологические показатели основных приемов гидрометаллургической технологии переработки медного сырья.

4.5. Введение в металлургию никеля. Основные этапы развития металлургии никеля в России и за рубежом. Главные свойства никеля, соединений и минералов. Методы подготовки никелевых руд и концентратов к металлургической переработке.

4.6. Альтернативные технологии переработки окисленных никелевых руд. Восстановительно-сульфидирующая плавка агломерата. Восстановительная плавка на ферроникель. Комбинированные пиро-, гидрометаллургические способы переработки окисленных никелевых руд.

Раздел 7. Альтернативные способы переработки сульфидных медно-никелевых руд. Электроплавка медно-никелевых шихт на штейн. Автогенные технологии переработки медно-никелевых руд и концентратов на штейн.

4.8. Производство никелевого и медно-никелевого файнштейнов и их переработка. Конвертирование никелевых и медно-никелевых штейнов. Особенности поведения кобальта. Обзор промышленных способов разделения медно-никелевых файнштейнов. Окислительный обжиг никелевого файнштейна и никелевого концентрата до закиси никеля. Восстановительный обжиг технической закиси никеля и восстановительная электроплавка восстановленного продукта.

4.9. Электрохимическое рафинирование чернового никеля. Общая характеристика технологической схемы электрохимического рафинирования никеля. Очистка электролита от примесей. Конструкция и обслуживание основного оборудования. Технико-экономические показатели процесса.

4.10. Введение в металлургию цинка. Краткая история развития производства цинка в России, странах дальнего и ближнего зарубежья. Физико-химические свойства цинка и его соединений. Применение, масштабы производства и потребления цинка.

Цинковые минералы, руды и концентраты. Вторичное цинксодержащее сырье. Краткая характеристика методов переработки цинксодержащего сырья.

4.11. Обжиг цинковых концентратов. Цель обжига цинковых концентратов и его особенности при последующей переработке продукта обжига пиро- и гидрометаллургическими методами. Дополнительные сведения по теории обжига сульфидных цинковых концентратов. Оборудование, применяемое для обжига цинковых концентратов. Технико-экономические показатели обжига цинковых концентратов. Использование вторичного тепла. Утилизация газов для производства серной кислоты. Управление процессом обжига.

4.12. Пирометаллургия цинка. Общая характеристика пирометаллургического (дистилляционного) метода получения цинка. Теоретические основы дистилляции цинка (термодинамика и кинетика восстановления оксида цинка). Теоретические основы конденсации паров цинка. Практика получения цинка пирометаллургическим способом Технико-экономические показатели процесса.

Теоретические основы и практика рафинирования цинка ликвацией и

ректификацией. Химические способы рафинирования цинка. Технико-экономические показатели рафинирования чернового цинка. Управление процессами получения цинка пирометаллургическим способом.

4.13. Гидроэлектрометаллургия цинка. Общая характеристика гидроэлектрометаллургического метода получения цинка. Технологические схемы получения цинка гидрометаллургическим методом. Теоретические основы выщелачивания цинкового огарка. Роль нейтрального и кислого циклов выщелачивания. Термодинамика и кинетика процесса выщелачивания. Поведение отдельных компонентов огарка при выщелачивании. Очистка растворов сульфата цинка от примесей. Аппаратура, применяемая для классификации и выщелачивания огарка, очистки растворов от примесей, разделения жидкого и твердого. Технологические схемы выщелачивания цинкового огарка. Общее описание процесса электроосаждения цинка из сульфатных растворов. Процессы, протекающие на катоде и на аноде. Поведение примесей при электроосаждении цинка. Практика процесса. Конструкция ванны. Устройство катодов и анодов. Способы охлаждения электролита. Выемка и сдирка катодного цинка. Технико-экономические показатели электролиза раствора сульфата цинка. Переплавка катодного цинка. Автоклавное выщелачивание цинковых концентратов. Управление процессами производства цинка гидрометаллургическим методом.

4.14. Переработка полупродуктов цинкового производства. Характеристика полупродуктов производства цинка пиро- и гидрометаллургическими способами и методы их переработки. Переработка цинковых кеков пирометаллургическим методом. Методы переработки цинковых кеков, основанные на высокотемпературном выщелачивании.

Физико-химические свойства кадмия и его соединений. Применения кадмия и масштабы его производства. Сырье для производства кадмия и методы его переработки. Переработка медно-кадмиевых кеков гидрометаллургическим методом. Выщелачивание медно-кадмиевого кека и очистка раствора от примесей. Выделение кадмия из раствора цементацией цинком и электролизом. Переплавка и рафинирование кадмия.

4.15. Введение в металлургию свинца. Краткая история развития производства свинца в России, странах дальнего и ближнего зарубежья. Физико-химические свойства свинца и его соединений. Применение, масштабы производства и потребления свинца. Свинцовые минералы, руды и концентраты. Вторичное свинецсодержащее сырье. Краткая характеристика промышленных методов переработки свинецсодержащего сырья.

4.16. Выплавка свинца из свинцовых концентратов. Теоретические основы реакционной плавки. Практика и технико-экономические показатели получения свинца реакционным способом в горнах, короткобарабанных печах и в электропечи.

Двухступенчатый (универсальный) метод переработки свинцовых концентратов. Технологическая схема переработки свинцовых концентратов двухступенчатым методом. Общая характеристика агломерирующего обжига сульфидных свинцовых концентратов. Дополнительные сведения о теории процесса агломерирующего обжига. Поведение отдельных компонентов шихты в процессе агломерирующего обжига. Практика агломерирующего обжига свинцовых концентратов Управление процессом аглообжига. Технико-

экономические показатели процесса. Использование газов аглообжига для производства серной кислоты.

Общее описание восстановительной плавки свинцового агломерата в шахтной печи. Основные процессы и температурные зоны печи. Поведение отдельных компонентов шихты при плавке. Реакции, протекающие в слое шихты по высоте печи. Горение углеродистого топлива. Характеристика продуктов плавки свинцового агломерата. Конструкция шахтных печей для восстановительной плавки свинцового агломерата и практика их обслуживания. Загрузка печи. Выпуск жидких продуктов плавки. Пуск и остановка печи. Технико-экономические показатели процесса. Управление процессом шахтной плавки.

Автогенные процессы переработки свинцовых концентратов. Предпосылки и необходимость разработки и внедрения автогенных процессов переработки свинцовых концентратов. Варианты аппаратурного оформления переработки свинцовых концентратов автогенным способом в агрегатах КИВЦЭТ-ЦС, КФ-КФ, ПЖВ, Q-S-L и др. Технико-экономические показатели автогенных процессов и перспективы их промышленного внедрения.

4.17. Рафинирование чернового свинца. Общая технологическая схема рафинирования свинца огневым способом. Теоретические основы и практика предварительного обезмеживания свинца. Теоретические основы и практика тонкого обезмеживания свинца. Переработка медных съемов (шликеров).

Очистка свинца от теллура. Теоретические основы и практика рафинирования свинца от мышьяка, сурьмы, олова окислительным и щелочным методами. Переработка щелочных плавов. Теоретические основы и практика обессеребривания свинца вмешиванием в расплав цинка. Переработка серебристой пены.

Теоретические основы и практика рафинирования свинца от цинка окислительным, щелочным, хлорным и вакуумным способами.

Теоретические основы и практика обезвисмучивания свинца пирометаллургическим способом. Окончательное рафинирование свинца и его разливка. Принцип работы и устройство агрегатов для непрерывного рафинирования чернового свинца. Электролитическое рафинирование чернового свинца. Процессы, протекающие на катоде и на аноде. Состав электролита и его регенерация. Практика и технико-экономические показатели процесса. Переработка шлама.

4.18. Переработка полупродуктов и отходов свинцового производства. Основы гидрометаллургии свинца. Характеристика полупродуктов свинцового производства. Методы переработки цинксодержащих шлаков свинцовой шахтной плавки. Переработка медно-свинцового штейна и шпейзы. Переработка пылей свинцового производства.

Характеристика твердых, жидких и газообразных отходов цинкового и свинцового производств. Обеспыливание, утилизация и обезвреживание газов. Очистка сточных вод. Организация водооборота.

Подготовка свинцовых концентратов к выщелачиванию Растворители и практика выщелачивания. Выделение свинца из раствора.

5. Металлургия благородных металлов

5.1. Оборудование и схемы дробления и измельчения руд благородных металлов. Рудные и россыпные месторождения золота. Важнейшие минералы

золота. Состав и крупность самородного золота. Классификация золотосодержащих руд по вещественному составу и технологическим свойствам.

Основные типы руд и месторождений серебра. Важнейшие минералы серебра.

География добычи и производства благородных металлов в России и за рубежом.

Схемы дробления и измельчения, применяемые на золотоизвлекательных фабриках. Оборудование для дробления и измельчения. Гравитационные аппараты для извлечения свободного золота. Схемы золотоизвлекательных фабрик, применяющих гравитационный метод.

5.2. Цианирование руд и концентратов. Термодинамика цианистого процесса. Кинетика и механизм растворения золота и серебра в цианистых растворах. Факторы, влияющие на скорость цианирования в заводских условиях. Гидролиз цианистых растворов и защитная щелочь.

Цианирование просачиванием. Кучное выщелачивание. Подземное выщелачивание. Цианирование перемешиванием. Агитаторы с механическим, пневматическим и пневмомеханическим перемешиванием. Сгущение и фильтрование выщелоченных пульп. Особенности цианирования концентратов.

Термодинамика цементации благородных металлов из цианистых растворов. Электрохимический механизм процесса. Факторы, определяющие полноту и скорость цементации. Практика и аппаратурное оформление процесса осаждения золота и серебра цинковой пылью Переработка золотоцинковых осадков с получением чернового металла.

5.3. Сорбционно-экстракционные процессы извлечения золота и серебра из растворов и пульп. Сущность сорбционного выщелачивания. Особенности сорбции золота из цианистых растворов и пульп. Поведение примесей. Изотерма сорбции. Факторы, влияющие на емкость ионита по золоту. Селективность ионитов.

Устройство пачуков для сорбции из пульп. Схема цепи аппаратов сорбционного выщелачивания. Регенерация ионита. Динамика элюирования. Десорбция золота, серебра и примесей. Практика и аппаратурное оформление регенерации ионита. Электроэкстракция золота и серебра из тиомочевинных растворов. Устройство электролизера с катодами из волокнистых углеродных материалов. Технико-экономические показатели сорбционного процесса.

Сорбционное выщелачивание с применением активных углей. Особенности аппаратурного оформления процесса. Регенерация углей. Достоинства и недостатки активных углей как сорбентов благородных металлов. Возможности экстракционных методов для выделения золота из цианистых растворов и пульп.

5.4. Схемы и практика работы золотоизвлекательных фабрик. Типовая схема переработки золотых руд. Роль гравитационных методов и их место в технологической схеме. Технологические схемы с применением фильтрационных и сорбционных методов. Сравнение технико-экономических показателей различных схем. Техника безопасности на золотоизвлекательных предприятиях. Очистка сточных вод от цианидов.

5.5. Вторичная металлургия благородных металлов. Характеристика вторичного сырья, его опробование. Методы переработки вторичного золото- и серебросодержащего сырья. Извлечение золота и серебра из анодных шламов электролиза меди.

5.6. Аффинаж золота и серебра. Основные виды сырья, поступающие на аффинаж. Приемная плавка. Хлорный процесс. Электролитическое рафинирование серебра. Процессы на аноде и катоде. Ванны с вертикальным и горизонтальным расположением электродов. Основные параметры электролиза.

Электролитическое рафинирование золота. Процессы на аноде и катоде. Применение асимметрического тока. Конструкция ванны. Основные параметры электролиза.

5.7. Переработка платиновых шламов. Сульфидные медно-никелевые руды как сырьевой источник платиновых металлов. Форма нахождения платины, палладия и редких платиноидов в сульфидных рудах. Поведение платиновых металлов при обогащении. Причины и основные каналы потерь платиноидов в процессах металлургической переработки сульфидных концентратов.

Переработка платиносодержащих шламов. Химический и вещественный состав шламов. Химическое обогащение шламов методов сульфатизации и методом сульфатизирующего обжига с последующим электролитическим растворением вторичных анодов.

6. Металлургия редких металлов

6.1. Введение. Распространенность элементов в земной коре. Понятие о редких элементах. Термин “редкие металлы” и его условность. Техническая классификация редких элементов.

История развития производства редких металлов. Роль редких металлов в развитии науки и техники. Масштабы производства и потребления. Цены. Тенденции развития производства редких металлов.

6.2. Тугоплавкие редкие металлы. Общая характеристика группы. Место тугоплавких металлов в периодической системе Д.И.Менделеева. Характеристика свойств тугоплавких металлов, определивших основные области их применения.

Тугоплавкие редкие металлы IV группы периодической системы (титан, цирконий, гафний).

История открытия и создания производства этих металлов. Производство, потребление, применение, цены. Перспективы развития производства. Химические и физические свойства элементов и их соединений, используемые в технологии их производства.

Распространенность в природе. Минералы и руды. Обогащение руд. Характеристика концентратов титана и циркония.

Металлургия титана. Общие контуры технологии. Теоретические основы процесса хлорирования. Подготовка рудных концентратов к хлорированию. Методы удаления железа из ильменитовых концентратов и их сравнительная оценка. Хлорирование титановых шлаков и рутиловых концентратов в шахтных хлораторах. Хлорирование в расплавах. Состав продуктов хлорирования, улавливание газообразных продуктов. Сопоставление методов хлорирования. Очистка тетрахлорида титана.

Теоретические основы металлотермии титана. Выбор восстановителей. Технология и аппаратура магние- и натриетермических методов. Вакуумтермическая сепарация и гидрометаллургическое удаление хлоридов и избытка восстановителя. Сравнительная характеристика методов. Контуры методов переработки титановой губки.

Техника безопасности при использовании методов хлорной металлургии и металлотермии.

Металлургия циркония и гафния (обзор). Методы переработки циркониевых концентратов. Гидрометаллургические способы. Метод хлорирования. Перспективы использования плазмы для вскрытия цирконовых концентратов. Методы разделения циркония и гафния. Получение металлических циркония и гафния из их соединений. Методы металлотермии и электролиза расплавленных сред. Контуры технологических схем получения циркония и гафния.

Тугоплавкие редкие металлы V группы периодической системы (ванадий, тантал, ниобий)

Особенности геохимии ванадия. Минералы и руды. Ванадий как сопутствующий элемент комплексного сырья. Минералы, руды и концентраты тантала и ниобия.

Металлургия ванадия (обзор). Поведение при переработке титаномагнетитов. Теоретические основы и технология извлечения ванадия из руд и конвертерных шлаков. Методы получения диванадийпентоксида, феррованадия и металлического ванадия.

Металлургия тантала и ниобия (обзор). Теоретические основы и технология получения чистых соединений тантала и ниобия. Выбор метода в зависимости от состава перерабатываемого сырья. Методы разделения тантала и ниобия. Методы получения металлов.

Тугоплавкие металлы VI группы периодической системы (вольфрам и молибден).

Исходное сырье. Особенности геохимии вольфрама и молибдена. Минералы и руды. Методы обогащения руд. Кондиционные и некондиционные концентраты.

Методы получения легирующих добавок. Производство ферросплавов и молибдата кальция.

Получение чистых триоксидов молибдена и вольфрама. Переработка кондиционных молибденовых концентратов методом возгонки. Обжигово-аммиачный метод. Азотнокислый метод.

Теоретические основы и технология вскрытия вольфрамовых концентратов. Методы спекания и автоклавного выщелачивания. Метод кислого выщелачивания шеелитовых концентратов. Выбор метода в зависимости от состава сырья.

Методы разделения вольфрама и молибдена. Получение ПВА и триоксида вольфрама.

Получение металлических порошков молибдена и вольфрама из их триоксидов восстановлением водородом. Техника безопасности при работе с водородом.

Основы порошковой металлургии Получение прессованных изделий из порошков и методы термической и механической обработки заготовок. Производство проволоки и ленты. Перспективы развития порошковой металлургии.

Плавка тугоплавких металлов.

Электродуговая плавка с нерасходуемым и расходуемым электродом. Электронно-лучевая плавка. Поведение примесей в процессе высокотемпературных вакуумных плавок. Качество получаемых металлов.

6.3. Редкие рассеянные элементы. Общая характеристика группы.

Место РРЭ в периодической системе элементов. Сравнительная характеристика свойств РРЭ, определяющая их склонность к рассеянию в природе и при переработке рудного сырья. Комплексное использование сырья – общий принцип получения РРЭ.

РРЭ III группы периодической системы (галлий, индий, таллий).

Распространенность в природе. Особенности геохимии галлия, индия, таллия. Поведение при обогащении и металлургическом переделе различных видов сырья.

Металлургия галлия. Попутное извлечение галлия из алюминиевого сырья. Особенности нефелинов как наиболее выгодного сырья для извлечения галлия, концентрирующегося в поташных маточниках. Теоретические основы и выделение галлия из алюминатных растворов. Осаждение галлиевых концентратов карбонизацией, цементация на галламах, электролиз с жидким и твердым катодом. Перспективы использования других видов сырья.

Методы рафинирования галлия, получение металла высокой чистоты.

Металлургия индия и таллия (обзор). Попутное извлечение индия и таллия при переработке пылей и возгонов свинцово-цинковых заводов. Методы концентрирования индия и таллия из сульфатных растворов: гидролиз, цементация, экстракция и др. методы. Приемы амальгамной металлургии. Получение технических индия и таллия и методы их рафинирования. Перспективы использования других видов сырья.

РРЭ IV группы периодической системы. Металлургия германия.

Исходное сырье. Распространенность в природе. Особенности геохимии германия. Поведение германия при переработке различных видов сырья. Теоретические основы концентрирования германия пиро- и гидрометаллургическими методами. Переработка богатых германиевых руд. Переработка возгонов металлургических заводов, отходов ТЭЦ и коксохимического производства. Другие перспективные источники извлечения германия.

Переработка германиевых концентратов. Получение и очистка тетрахлорида и диоксида германия. Восстановление диоксида германия. Производство полупроводниковых монокристаллов германия.

РРЭ VI группы периодической системы (селен и теллур).

Особенности геохимии селена и теллура. Минералы. Рассеянные формы. Поведение при переработке сульфидного сырья при обогащении, на металлургических и химических предприятиях. Основные продукты – концентраторы.

Технология производства. Методы извлечения из электролитных шламов. Теоретические основы и технология методов сульфатизации, обжигово-селенидного и др. Методы извлечения из сернокислотных шламов и полупродуктов свинцово-цинкового производства. Получение чистых селена и теллура.

РРЭ VII группы периодической системы. Металлургия рения.

Источники сырья. Особенности геохимии рения. Поведение при обогащении и металлургической переработке сульфидного сырья.

Технология производства рения. Методы концентрирования рения из растворов: сорбция, экстракция, осаждение малорастворимых соединений. Извлечение рения из промывной серной кислоты и полупродуктов

молибденового производства. Восстановление перрената аммония водородом. Переработка вторичного сырья.

6.4. Легкие редкие металлы. Легкие редкие металлы (литий, рубидий, цезий, бериллий).

Общая характеристика группы.

Место легких редких металлов в периодической системе. Сравнительная характеристика их основных свойств. Области применения. Объемы производства. Цены.

Легкие редкие металлы I группы периодической системы (литий, рубидий, цезий).

Исходное сырье. Распространенность в земной коре. Особенности геохимии лития, рубидия и цезия. Минералы и руды. Обогащение литиевых руд. Обогащение рубидиевых и цезиевых руд. Комплексное сырье, содержащее щелочные редкие металлы. Поведение этих металлов при переработке комплексного сырья и продукты их концентрирования. Рапа озер и морей, минеральные воды, морская вода – крупнейший источник редких щелочных металлов.

Металлургия лития. Вскрытие литиевых руд и концентратов. Методы спекания со щелочными реагентами и сульфатами, кислотного разложения, хлорирования. Очистка растворов от примесей. Методы выделения лития из растворов. Осаждение малорастворимых соединений, экстракция. Примеры технологических схем производства лития.

Производство металлического лития. Методы металлотермии и электролиза расплавленных солей. Прямое получение лития из сподуменовых концентратов. Рафинирование чернового лития.

Металлургия рубидия и цезия. Переработка поллуцитовых концентратов. Очистка растворов от примесей. Методы выделения цезия.

Попутное извлечение цезия из сложного комплексного сырья. Извлечение рубидия и цезия при переработке лепидолита и других алюмосиликатов. Попутное концентрирование рубидия при переработке нефелиновых концентратов. Перспективы извлечения этих элементов из рапы. Производство металлических рубидия и цезия. Электролитические методы. Прямое получение цезия из поллуцитовых концентратов.

Металлургия бериллия.

Исходное сырье, распространенность в земной коре, особенности геохимии бериллия. Минералы и руды. Обогащение руд.

Переработка бериллиевых руд и концентратов. Методы вскрытия концентратов: спекание, термическая декриптация с последующей сульфатизацией, прямая сульфатизация бертрандитовых руд, методы хлорирования и получения фторбериллатов. Очистка растворов от примесей. Методы выделения бериллия из растворов. Очистка гидроксида бериллия. Получение металлического бериллия методами металлотермии и электролиза расплавленных сред. Рафинирование бериллия.

Техника безопасности при работе с легкими редкими металлами и их соединениями.

6.5. Радиоактивные и редкоземельные редкие металлы. Радиоактивные и редкоземельные редкие металлы (уран, радий, торий, лантан и лантаноиды, иттрий и скандий).

Общая характеристика группы. Место этих элементов в периодической системе. Общность сырья и технологии производства.

Металлургия урана и радия.

Исходное сырье, распространенность в земной коре. Основные черты геохимии урана и радия. Минералы и руды.

Технология производства урана и радия. Методы вскрытия урановых руд. Выбор растворителя, роль окислителя. Кислотное и карбонатное выщелачивание. Поведение радия при выщелачивании урановых руд.

Методы извлечения урана из пульп и растворов: сорбция, экстракция, осаждение малорастворимых соединений. Перспектива извлечения урана из морской воды. Методы очистки соединений урана. Производство металлического урана.

Извлечение радия из отходов уранового производства.

Металлургия тория и редкоземельных элементов.

Исходное сырье. Распространенность в земной коре. Основные черты геохимии тория и РЗЭ. Минералы, руды и их обогащение.

Технология производства. Методы вскрытия концентратов: сульфатизация, хлорирование, спекание со щелочами. Групповое выделение РЗЭ из растворов и их отделение от тория. Принципы методов разделения РЗЭ: изменение степени окисления, экстракция, хроматография.

Получение мишметалла и индивидуальных редких земель.

Технология производства тория. Контуры технологии иттрия и скандия.

Техника безопасности при работе с радиоактивными элементами. Физиологическое действие облучения. Внешнее и внутреннее облучение. Характеристика излучений природных радиоактивных элементов. Методы защиты от радиоактивных излучений.

6.6. Основы критического анализа технологических схем. Понятие о научной классификации технологических задач. Тройная неопределенность технологических задач и методы ее раскрытия. Анализ технологических задач первого и высших диапазонов.

Абсолютные критерии оценки технологических схем и их применение при анализе существующих и создании моделей идеальных технологических схем. Расчет числа минимальных стадий. Понятие об эксергии. Расчет минимальных энергетических затрат. Экологический критерий – минимальная диссипация энергии и вещества.

Разработка методов предупреждения техногенного рассеяния микрокомпонентов – редких элементов и благородных металлов – в рамках действующих технологических схем за счет изыскания внутренних ресурсов (“технологии без технологии”). Примеры.

Принципы разработки моделей идеальных технологических схем на примере технологии производства тугоплавких редких металлов.

7. По металлургии лёгких металлов

7.1. Введение. Классификация легких металлов. Значение легких металлов в современной технике. Содержание курса. Основные направления развития металлургии легких металлов.

7.2. Производство глинозема. Сырьевая база алюминиевой промышленности. Основы геохимии алюминия, важнейшие минералы алюминия. Алюминиевые руды, их месторождения в РФ и других странах. Особенности

развития сырьевой базы алюминиевой промышленности в РФ. Требования к алюминиевому сырью для производства глинозема.

Требования к качеству глинозема. Глинозем как исходный материал для электролитического получения алюминия. Требования к химическому составу глинозема и его физическим свойствам. Классификация металлургического глинозема. Неметаллургический глинозем и области его применения. Стандарты на глинозем.

Способ Байера. Общая аппаратурно-технологическая схема. Теоретические основы процесса Байера. Алюминатные растворы, их структура и свойства. Система Na_2O- Al_2O_3-H_2O. Технология способа Байера. Подготовка сырья. Выщелачивание различных бокситов. Автоклавная установка непрерывного выщелачивания. Сгущение и промывка красного шлама. Интенсификация сгущения на основе флокулянтов. Декомпозиция алюминатных растворов. Теория и технология получения крупнозернистого глинозема. Непрерывная батарея декомпозеров. Выпаривание оборотных щелочных растворов. Каустификация промывных вод. Цикл Байера в системе Na_2O- Al_2O_3-H_2O. Кальцинация гидроксида алюминия во вращающихся печах и КС.

Основные пути усовершенствования способа Байера. Выщелачивание боксита при высоких температурах, разработка и применение эффективного высокопроизводительного оборудования. Попутное извлечение галлия и ванадия. Проблема комплексного использования красных шламов. Анализ технико-экономических показателей производства глинозема по способу Байера в РФ и за рубежом. Проблемы ресурсосбережения.

Способ спекания бокситовых шихт. Физико-химические основы способа. Общая аппаратурно-технологическая схема. Пути усовершенствования процесса спекания на основе использования новых печных агрегатов. Выщелачивание спека в плотном слое (вертикальные аппараты), агитационный и перколяционный методы. Аппаратурно-технологические схемы переработки алюминатных растворов. Физико-химические основы обескремнивания. Технология обескремнивания. Карбонизация алюминатных растворов. Технико-экономический анализ производства глинозема из высококремнистых бокситов по способу спекания.

Комбинированные щелочные способы производства глинозема из бокситов. Сущность комбинирования гидрохимических и спекательных способов. Параллельный вариант Байер-спекание. Последовательный вариант Байер-спекание.

Комплексная переработка нефелинов. Общая схема. Особенности шихтоподготовки и спекания. Выщелачивание нефелиновых спеков, агитационная и проточно-агитационная схемы. Коренное усовершенствование технологии выщелачивания спеков и промывки нефелиновых шламов на основе применения флокулянтов. Переработка алюминатных растворов. Новая карбоалюминатная технология получения глинозема высшего качества из нефелинов. Комплексная переработка гидрогранатовых шламов. Получение соды, поташа, цемента. Новые способы комплексной переработки нефелинов. Технико-экономический анализ способа комплексной переработки нефелинов в условиях рыночной экономики.

Комплексная переработка алунитов. Восстановительно-щелочной способ переработки на глинозем, сульфат калия, серную кислоту и другие продукты.

Обжиг и восстановление алунита в печах КС. Коренное усовершенствование технологии на основе "обращенной" схемы переработки алюминатных растворов и конверсии сульфатных солей. Экономика способа в условиях рыночных отношений.

Гидрохимический способ Пономарева-Сажина. Физико-химические основы способа. Общая технологическая схема. Технология переработки высокомодульных щелочно-алюминатых растворов. Перспективы гидрохимического способа.

Проблемы защиты окружающей среды в производстве глинозема.

7.3. Металлургия алюминия. Общая схема производства алюминия электролизом криолито-глиноземных расплавов.

Производство фтористых солей. Технологическая схема производства криолита и других фтористых солей кислотным методом. Сухой способ производства фтористых солей по способу Пешине. Технико-экономические показатели производства фторсолей.

Производство электродов. Виды электродных изделий. Производство анодной массы. Технология обожженных анодов, технология "сухой" массы. Производство графитированных электродов.

Теоретические основы электролиза алюминия. Физико-химические свойства электролита. Системы: криолит – глинозем, фтористый алюминий – фтористый натрий. Растворимость глинозема в электролите. Напряжение разложения компонентов электролита. Механизм электролиза. Анодный эффект. Выход по току и по энергии. Влияние различных факторов на выход по току и по энергии.

Конструкция алюминиевых электролизеров. Классификация электролизеров по анодному устройству, мощности, подводу тока. Основные конструктивные элементы ванны. Монтаж и демонтаж ванны. Совершенствование конструкции ванн.

Технология электролиза алюминия. Баланс напряжения, тепловой баланс алюминиевой ванны. Цех электролиза алюминия. Основные технологические операции и параметры процесса электролиза. АСУТП "Электролиз". Газоочистные системы, проблемы защиты окружающей среды. Анализ технико-экономических показателей производства алюминия в РФ и за рубежом. Основные направления совершенствования технологии электролиза алюминия. Техника безопасности при электролизе алюминия. Проблемы ресурсосбережения. Защита окружающей среды.

Рафинирование алюминия. Свойства алюминия высокой чистоты и области применения. Принцип рафинирования. Электродные процессы при рафинировании. Конструкция ванны. Технология рафинирования. Основные технико-экономические показатели.

Электротермия алюминия и его сплавов. Разработка двухстадийного алюмотермического способа получения алюминия с использованием плазменного нагрева. Ожидаемые технико-экономические показатели алюмотермического способа получения алюминия, перспективы внедрения.

7.4. Металлургия магния. Свойства магния и его сплавов. Сырьевая база магниевой промышленности в РФ и за рубежом.

Технологические схемы подготовки сырья для получения магния электролизом. Общая характеристика схем. Карналлитовая схема. Переработка

хлор-магниевых щелоков. Титано-магниевая схема. Получение магния из морской воды. Технология безводных хлоридов магния.

Теоретические основы электролиза магния. Физико-химические свойства электролита магниевой ванны. Напряжение разложения компонента электролита. Катодные процессы. Анодные процессы.

Технология электролиза магния. Конструкция магниевых ванн, диафрагменные и бездиафрагменные электролизеры. Основные технологические операции и параметры процесса электролиза. Механизация обслуживания электролизеров. Основные направления усовершенствования технологии магния (поточная автоматическая линия производства магния). Рафинирование магния. Технико-экономические показатели производства магния электролизом хлоридов. Техника безопасности. Способ силикотермии магния (теория и технология).

РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК К РАЗДЕЛУ 2

Основная литература

1. Орлов А.К. Основы печных технологий. Методич указания. СПб.: СПГГИ, 2007.
2. Процессы и аппараты цветной металлургии, учебник для вузов под редакцией проф. С.С.Набойченко. Екатеринбург, УГТУ, 1998.
3. Грейвер Т.Н. Основы методов постановки и решения технологических задач. М.: Издательский дом "Руда и металлы", 1999.
4. Набойченко С.С., Агеев Н.Г., Дрошкевич А.П. и др. Процессы и аппараты цветной металлургии. Екатеринбург: УГТУ, 1997. 565 с.
5. Коротич В.И., Набойченко С.С., Сотников А.М. и др. Начала металлургии. Екатеринбург: УГТУ, 2000. 392 с.
6. Набойченко С.С., Шнеерсон Я.М., Чугаев Л.В., Ни Л.П. Автоклавная гидрометалллургия цветных металлов. Екатеринбург: УГТУ, 2002. 939 с.
7. Резник И.Д., Ермаков Г.П., Шнеерсон Я.М. Никель. Т.1,2,3. М., ООО "Наука и технология", 2001.
8. Котляр Ю.А., Меретуков А.М. Металлургия благородных металлов. М.: МИСиС, 2002.
9. Металлургия редких и рассеянных элементов. М.: РАЕН, отделение металлургии. Серия: Фундаментальные проблемы цветной металлургии на пороге XXI века. Т.III, 1999.
10. Процессы и аппараты цветной металлургии. Учебник для вузов. Екатеринбург: УГТУ, 1997.
11. Грейвер Т.Н. Основы методов постановки и решения технологических задач. М: Издательский дом "Руда и металлы", 1999.
12. Сизяков В.М. Современное состояние и проблемы развития алюминиевой промышленности России. СПб., Записки Горного института. Т.165. 2005.
13. Сизяков В.М. Состояние, проблемы и перспективы развития способа комплексной переработки нефелинов. СПб., Записки Горного института. Т.169. 2005.

14. Александровский С.В., Сизяков В.М., Гопиенко В.Г. и др. Получение дисперсных порошков титана, циркония и скандия и синтез их тугоплавких наносоединений металлотермическим восстановлением хлоридов. М.: Издательский дом "Руда и металлы", 2006. 243 с.

15. Сизяков В.М., Бричкин В.Н. Процессы массовой кристаллизации из растворов
в производстве глинозема. СПб.: СПГГИ, 2005.

16. Сизяков В.М., Бричкин В.Н. Металлургия легких металлов. Производство глинозема. СПб.: СПГГИ, 2003.

17. Набойченко С.С., Агеев Н.Г., Дорошкевич А.П. и др. Процессы и аппараты цветной металлургии. Екатеринбург, Изд-во УГТУ, 1997, с.656.

Дополнительная литература

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

2. Борисоглебский Ю.В. и др. Теория и технология электрометаллургических процессов. Лабораторный практикум. М.: Металлургия, 1994.

3. Левин А.И. Электрохимия цветных металлов. М.: Металлургия, 1982.

4. Левин А.И., Полюсов А.В. Лабораторный практикум по теоретической электрохимии. М.: Металлургия, 1979.

5. Флеров В.Н. Сборник задач по прикладной электрохимии. М.: ВШ, 1987.

6. Процессы и аппараты химической технологии /Основы инженерной химии/. Учебник для вузов под редакцией проф. Н.Н.Смирнова. СПб: Химия, 1996.

7. Ванюков А.В., Уткин Н.И. Комплексное использование медного и никелевого сырья. М.: Металлургия, 1989, с.432.

8. Набойченко С.С., Смирнов В.И. Гидрометаллургия меди. М.: Металлургия, 1974, с.272.

9. Баймаков Ю.В. Журин А.И. Электролиз в гидрометаллургии. М.: Металлургия, 1980, с.336.

10. Орлов А.К. Конвертирование медных штейнов. Огневое и электролитической рафинирование меди. Гидрометаллургия меди. Л.: РИО ЛГИ, 1978, с.100.

11. Худяков И.Ф., Тихонов А.И., Деев В.И., Набойченко С.С.. Металлургия меди, никеля и кобальта М.: Металлургия, 1977, ч.1, с.266, ч.2, с.264.

12. Зайцев В.Я., Маргулис Е.В. Металлургия свинца и цинка. Учебное пособие для вузов. М.: Металлургия, 1985, с.263.

13. Пискунов И.Н., Смирнов Ю.М. Пирометаллургия цинка. Учебное пособие. Л.: РИО ЛГИ, 1978, с.83.

14. Смирнов Ю.М. Гидрометаллургия цинка. Учебное пособие. Л.: РИО ЛГИ, 1978, с.96.

15. Пискунов И.Н., Орлов А.К. Металлургия свинца. Универсальный процесс. Л.: РИО ЛГИ, 1978, с.94.

16. Пискунов И.Н., Орлов А.К. Выплавка свинца реакционным способом, рафинирование чернового свинца и переработка полупродуктов. Л.: РИО ЛГИ, 1979, с.100.

17. Орлов А.К., Смирнов Ю.М. Комплексное использование рудного сырья в металлургии тяжелых металлов. Л.: РИО ЛГИ, 1984, с.70.

18. Металлургия благородных металлов: Учебник для вузов – Масленицкий И.Н., Чугаев Л.В., Борбат В.Ф. и др. Под редакцией Чугаева Л.В. – М.: Металлургия, 1987. 432 с.

19. Меретуков М.А., Орлов А.М. Металлургия благородных металлов (зарубежный опыт). М.: Металлургия, 1991. 416 с.

20. Журналы "Цветные металлы", "Известия вузов, серия "Цветная металлургия", реферативный журнал "Металлургия" за последние 5 лет.

Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:

Библиотеки

Библиотека Горного университета	www.spmi.ru/node/891
Российская государственная библиотека	www.rsl.ru
Российская национальная библиотека	www.nlr.ru
Библиотека Академии наук	www.rasl.ru
Библиотека по естественным наукам РАН	www.benran.ru
Всероссийский институт научной и технической информации (ВИНИТИ)	www.viniti.ru
Государственная публичная научно-техническая библиотека	www.gpntb.ru
Научная библиотека Санкт-Петербургского государственного университета	www.geology.pu.ru/library/
Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU	elibrary.ru

Специальные интернет-сайты

Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам»	window.edu.ru/window/library?p_rubr=2.2.74.9