

**ПРОГРАММА  
ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ ПО  
СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ  
«ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАУКИ О МАТЕРИАЛАХ,  
МЕТАЛЛУРГИЯ»**

Конкурсная группа: **Химические технологии, науки о  
материалах, металлургия**

Научные специальности:

**2.6.1. МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ  
ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**

**2.6.2. МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И  
РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ**

**2.6.4. ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ**

Программа вступительного испытания по специальной дисциплине, соответствующая научным специальностям 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов, 2.6.2. Металлургия черных, цветных и редких металлов, 2.6.4. Обработка металлов давлением группы научных специальностей 2.6. Химические технологии, науки о материалах, металлургия, разработана на основании федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования уровней магистратуры и специалитета.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
К ПРОГРАММЕ ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ ПО  
СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ «ХИМИЧЕСКИЕ  
ТЕХНОЛОГИИ, НАУКИ О МАТЕРИАЛАХ, МЕТАЛЛУРГИЯ»**

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 механизмов и кинетики фазовых и структурных превращений в металлах и сплавах в твердом состоянии;
- 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 методов осаждения металлов из растворов;
- знание понятий электрометаллургии и электрохимии;
- знание процессов производства меди, никеля, цинка и свинца;
- знание принципиальных взаимосвязей технологических процессов и эксплуатируемого оборудования;
- знание важнейших физико-химических закономерностей технологических процессов;
- знание современного состояния экономики и ее динамики (обеспеченность сырьем, области применения, объемы производства и потребления, цены, перспективы), а также источники этой информации;
- знание состояние и перспективы развития сырьевой базы металлургической промышленности;
- знание производства первичного металла;
- знание подготовки сырья к плавке;
- знание производства чугуна в доменных печах;
- знание внедоменного получения первичного металла;
- знание кристаллизация и разливы стали;
- знание особенностей производства стали в различных сталеплавильных агрегатах;
- знание электросталеплавильного производства;
- знание теории и практики внепечной обработки стали;
- знание производства ферросплавов;
- знание оборудования металлургических печей;
- знание теории обработки металлов давлением;
- знание теории продольной прокатки на гладкой бочке;
- знание теории процессов производства сварных труб;
- знание теории волочения, прессования,ковки, штамповки;
- знание технологии производства продукции методами обработки металлов давлением;
- знание технологии прокатного производства;
- знание технологии производства сварных труб;
- знание технологии волочильного производства;
- знание технологии прессования;
- знание технологииковки;
- знание технологии объемной штамповки;
- знание теории и технологии производства чугуна, стали, проката, цветных металлов;
- знание методов системного и критического анализа, методик

разработки стратегии действий для выявления и решения проблемных ситуаций;

- знание основных этапов жизненного цикла, разработки и реализации проекта, методы разработки и управления проектами;

- знание методов защиты окружающей среды, технологий переработки отходов, основные направления ресурсосбережения;

- знание современных и перспективных уровней требований к качеству продукции;

- знание отечественных и международных нормативных баз в части требований к металлопродукции, научную проблематику, методов и средств планирования и проведения научных исследований.

## **РАЗДЕЛЫ, РАССМАТРИВАЕМЫЕ В ХОДЕ ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ**

### **РАЗДЕЛ 1. МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**

#### **1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТАЛЛОВЕДЕНИЯ**

##### **1.1 Строение металлов и сплавов**

Основные типы связи атомов в твердых телах. Металлическая связь. Электронное строение и физические свойства металлов.

Твердые растворы замещения, внедрения и вычитания. Упорядоченные твердые растворы. Электронные соединения, фазы Лавеса,  $\sigma$ -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.

##### **1.2 Кристаллография и дефекты кристаллического строения**

Основные типы кристаллических решеток. Элементарные ячейки. Индексы направлений и плоскостей в кристаллической решетке. Анизотропия свойств кристаллов.

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 Коттрелла, Снука, Сузуки. Дислокационные сетки и малоугловые границы. Высокоугловые границы. Миграция границ и зернограничное проскальзывание. Двойники.

### **1.3 Кристаллизация металлов и сплавов**

Структура и свойства жидких металлов. Гомогенное и гетерогенное зарождение кристаллов, критический размер зародыша. Диаграммы состояния двойных и тройных систем. Кристаллизация твердых растворов и промежуточных фаз. Эвтектическая кристаллизация. Перитектическое превращение. Влияние скорости кристаллизации на строение сплавов. Строение металлического слитка. Модифицирование структуры литых сплавов. Образование метастабильных фаз при кристаллизации. Бездиффузионная кристаллизация. Металлические стекла. Методы получения монокристаллов из расплава.

### **1.4 Фазовые и структурные превращения в металлах и сплавах в твердом состоянии**

Механизмы миграции атомов. Законы Фика. Коэффициент диффузии. Структурно чувствительные процессы диффузии. Диффузия во внешних силовых полях.

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. Перитектоидное превращение. 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.

### **1.5 Термическая обработка**

Классификация видов термической обработки.

Гомогенизационный отжиг. Дорекристаллизационный и рекристаллизационный отжики. 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, механизм ее образования. Анизотропия свойств текстурованных металлов.

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

Фазовые и структурные превращения при нагреве. Аустенитизация. Структурная наследственность.

Фазовые и структурные превращения при охлаждении. Диаграммы изотермического превращения и термокинетические диаграммы.

Перлитное превращение. Отжиги – перекристаллизационный, нормализация, изотермический, патентирование, сфероидизирующий, графитизирующий.

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. Закаливаемость и 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.

## **1.6 Термомеханическая обработка. Химико-термическая обработка**

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.

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. Термоводородная обработка.

## **1.7 Технология термической обработки**

Современное оборудование для закалки, отжига, отпуска, химико-термической и других видов термической обработки сталей и сплавов.

Агрегаты непрерывного отжига и закалки. Автоматизация полного цикла термической обработки.

Способы достижения высоких скоростей нагрева и охлаждения изделий при термической обработке. Внутренние напряжения и деформация изделий при термической обработке. Нагрев при термической обработке изделий в защитных средах и вакууме.

Дефекты термической обработки. Газонасыщение и его влияние на структуру и свойства сплавов. Методы борьбы с поводками и короблением.

### **1.8 Упругая и пластическая деформация. Разрушение**

Диаграммы деформирования моно- и поликристаллов, многофазных сплавов. Механизмы упругой и пластической деформации. Деформационное упрочнение, влияние на него температуры и скорости деформации. Теория предела текучести. Эффект Баушингера. Упрочнение при образовании твердых растворов и при выделении избыточных фаз (когерентных и некогерентных).

Влияние размера зерна на механические свойства. Сверхпластичность. Неупругость.

Хрупкое и вязкое разрушение. Схемы зарождения трещин. Распространение трещин при хрупком и вязком разрушении. Природа хладноломкости. Порог хладноломкости. Строение изломов.

Ползучесть. Механизмы и стадии ползучести. Релаксация напряжений. Кратковременная и длительная прочность. Влияние состава и структуры сплавов на ползучесть.

Усталостная прочность. Диаграммы усталости. Механизм усталости. Факторы, влияющие на усталостную прочность. Контактная усталость. Износ.

### **1.9 Методы исследования и контроля структуры и свойств металлов**

Методы изучения микроструктуры. Световая микроскопия. Методы количественной металлографии. Электронная микроскопия (метод реплик, дифракционная микроскопия фольг, сканирующая микроскопия, микродифракция). Рентгеноструктурный и электронографический анализ. Микрорентгеноспектральный анализ. Локальный анализ состава по электронным спектрам.

Методы измерения физических свойств (термический анализ, калориметрия, дилатометрия, измерение плотности, резистометрия, магнитный анализ и др.). Методы определения коррозионных свойств.

Механические свойства металлов и сплавов. Методы их измерения. Статические и динамические испытания. Испытания на ползучесть, длительную прочность и релаксацию напряжений. Усталостные испытания.

### **1.10 Промышленные сплавы (основы легирования и термической обработки, свойства, области применения)**

Стали. Классификация стали по структуре, составу, назначению. Конструкционные стали, их основные подклассы. Инструментальные стали, их основные подклассы. Конструкционные стали и сплавы с особыми свойствами (коррозионно-стойкие, жаростойкие, жаропрочные). Чугуны и их классификация. Модифицирование чугунов.

Сплавы с особыми физическими свойствами: высоким и низким электросопротивлением, магнитно-твердые и магнитно-мягкие стали и сплавы, сплавы с особыми упругими и тепловыми свойствами. Сверхпроводящие сплавы. Сплавы с эффектом запоминания формы.

Аморфные сплавы. Наноструктурные материалы.

Алюминий и его сплавы. Титан и его сплавы. Медь и ее сплавы. Магний и его сплавы. Бериллий и его сплавы. Сплавы на основе тугоплавких металлов.

### **1.11 Порошковые и композиционные материалы**

Определение композиционных материалов. Классификация и методы производства композиционных материалов. Процессы образования прочной связи между компонентами (адгезия, диффузия, рекристаллизация, механическая связь). Волокнистые композиционные материалы с металлической и неметаллической матрицей. Дисперсионно упрочненные и многослойные композиционные материалы.

Физические процессы при твердофазном и жидкофазном спекании. Особенности фазово-структурных превращений в порошковых материалах. Конструкционные, инструментальные, антифрикционные, фрикционные, высоко пористые, электротехнические порошковые материалы.

### **1.12 Коррозия и защита материалов**

Классификация коррозионных процессов: по механизму процесса, условиям протекания и характеру разрушения. Химическая коррозия. Газовая и горячая коррозия. Показатели коррозии. Защита металлов и сплавов от газовой коррозии. Теории жаростойкого легирования. Термодиффузионное насыщение, металлические и неметаллические покрытия, защитные атмосферы. Химическая коррозия в жидких средах.

Электрохимическая коррозия металлов и сплавов. Электродные потенциалы. Анодные и катодные процессы. Коррозионные процессы с кислородной и водородной деполяризацией. Пассиваторы и депассиваторы. Важнейшие виды электрохимической коррозии: атмосферная, подземная, морская, в жидких расплавах, щелевая, точечная, межкристаллитная.

## **РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК К РАЗДЕЛУ 1**

### **Основная литература:**

1. Горбатенко, В.П. Материаловедение: Учебник для технологических и

- механических специальностей высших учебных заведений / В.П. Горбатенко, Т.В. Новоселова. – Невинномысск: ЭльДирект, 2018.- 324 с.:
2. Большаков, Вл.И. Оборудование термических цехов, технологии термической и комбинированной обработки металлопродукции / Вл.И. Большаков, И.Е. Долженков, А.В. Зайцев.- Днепропетровск: «РИА Днепр-VAL», 2010. – 619 с.
  3. Новиков, И.И. Теория термической обработки металлов. Учебник для ВУЗов / И.И. Новиков. - Москва: Металлургия, 1992. - 271 с.
  4. Арзамасов, Б.Н. Материаловедение: Учебник для ВУЗов./ Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин и др./Под общей редакцией Арзамасова Б.Н., Мухина Г.Г. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001.- 648 с.
  5. Гольдштейн, М.И. Специальные стали. Учебник для вузов / М.И. Гольдштейн, С.В. Грачев, Ю.Г. Векслер. – Москва: Металлургия, 1999.- 408 с.
  6. Колачев, Б.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов: Учебник для вузов. - 4-е изд., перераб и доп. / Б.А. Колачев, В.А. Ливанов, В.И. Елагин. - Москва: МИСИС, 2005. - 432 с.
  7. Коррозия и защита материалов от коррозии [Электронный ресурс] / В.И. Алимов, Л. А. Рябичева, В. В. Дядичев, С. Г. Менюк, А. В. Дядичев. - Симферополь : ООО «Антиква», 2019. - 1 файл. - Систем. требования: Acrobat Reader. <http://ed.donntu.org/books/19/cd9315.pdf>.
  8. Золотаревский, В.С. Механические свойства металлов. Учебник для вузов / В.С.Золотаревский. – М.: МИСИС, 1999. – 398 с.

#### **Дополнительная литература**

1. Горбатенко, В.П. Специальные стали и сплавы: учебное пособие / В.П. Горбатенко. – Донецк: ДОННТУ, 2016. – 141 с. (электронный ресурс).
2. Горбатенко, В.П. Металловедение: учебное пособие / В.П. Горбатенко. - Донецк: ДОННТУ, 2016. – 180 с. (электронный ресурс).
3. Ситкевич, М.В. Технология термической обработки [Электронный ресурс]: учеб.пособие / М.В.Ситкевич. – Минск: Белорусский национальный университет, 2015. - 1 файл. - Систем. требования: Acrobat Reader. <http://ed.donntu.org/books/cd9288.pdf>.
4. Солнцев, Ю.П. Материаловедение / Ю.П. Солнцев, Е.И. Пряхин, Ф. Войткун. – Москва: МИСиС, 1999. – 600 с.
5. Новиков, И.И. Металловедение, термическая обработка и рентгенография / И.И. Новиков, Г.Б. Строганов, А.И. Новиков. – Москва: МИСиС, 1994. - 479 с.
6. Лившиц, Б.Г. Физические свойства металлов и сплавов / Б.Г. Лившиц, В.С. Крапошин, Я.Л. Линецкий. – Москва: Металлургия, 1980. – 320 с.
7. Новиков, И.И., Розин К.М. Кристаллография и дефекты кристаллической решетки. Учебник / И.И. Новиков, К.М. Розин. - Москва: Металлургия, 1990. - 335 с.
8. Лахтин, Ю.М. Материаловедение: Учебник для вузов / Ю.М. Лахтин, В.П.



Леонтьева.- 3-е изд. - Москва: Машиностроение, 1990.- 528 с.

9. Балоян, Б.М. Наноматериалы. Классификация, особенности свойств, применение и технологии получения. Учебное пособие / Б.М. Балоян, А.Г. Колмаков, М.И. Алымов, А.М. Кротов. – Москва: Международный университет природы, общества и человека «Дубна». Филиал «Угреша», 2007.- 125 с.

10. Лившиц, Б.Г. Металлография / Б.Г. Лившиц. - Москва: Металлургия.- 1990. – 336 с.

11. Филиппов, М.А. Методология выбора металлических сплавов и упрочняющих технологий в машиностроении [Электронный ресурс]: учебное пособие / М.А. Филиппов, В.Р. Бараз, М.А. Гервасьев, М.М. Розенбаум -2-е изд., исп. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2013.– 1 файл. - Систем. требования: Acrobat Reader. <http://ed.donntu.org/books/cd9306.pdf>.

12. Зенин, Б.С. Современные технологии поверхностного упрочнения и нанесения покрытий. [Электронный ресурс] : учебное пособие для вузов / Б.С. Зенин, А.И. Слосман; ФГБОУВПО «Нац. исслед.Томск. политех. ун-т». – 2-е изд. – 3 Мб. - Томск: Изд-во Томского политехнического ун-та, 2012. - 1 файл. – Систем. требования: Acrobat Reader. <http://ed.donntu.org/books/cd7481.pdf>.

13. Попова, Л.М. Введение в нанотехнологию: учебное пособие. [Электронный ресурс] / СПбГТУРП, СПб., 2013. - 1 файл. - Систем. требования: Acrobat Reader. <http://ed.donntu.org/books/19/cd9297.pdf>.

14. Носков, Ф. М. Технология и оборудование термической и химико-термической обработки. Теория и технология термической обработки металлов и сплавов [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Ф.М.Носков, Л.И.Квеглис, М.В.Носков.–Красноярск: Сиб.федер.ун-т,2018.– 1 файл. - Систем. требования: Acrobat Reader. <http://ed.donntu.org/books/cd9303.pdf>.

15. Башнин, Ю.А. Технология термической обработки. / Ю.А. Башнин, Б.К. Ушаков, А.Г. Секей. – Москва: Металлургия, 1986. – 424 с.

## **РАЗДЕЛ 2. МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЁРНЫХ ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ**

### **2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТАЛЛУРГИИ**

#### **2.1. Физико-химические основы металлургических процессов**

Строение вещества. Основы теории твердого тела. Кристаллическая структура простых и сложных окисных фаз.

Термодинамическая система и термодинамические параметры. Термодинамическое равновесие. Законы термодинамики. Термодинамические потенциалы (внутренняя энергия, энтальпия, энтропия, изобарно - изотермический и изохорно-изотермический потенциал). Термодинамика сплавов. Идеальные и реальные растворы. Термодинамическая активность (выбор стандартного состояния, методы определения, применение). Расчеты равновесия в растворах. Фазовые переходы. Диаграммы фазового равновесия двухкомпонентных систем. Растворы газов в металлах.

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

#### **2.2. Теория пирометаллургических процессов.**

Строение и свойства жидких металлов. Жидкое состояние как промежуточное между твердым и газообразным. Термодинамика процессов плавления и кристаллизации.

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

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

Диффузия в твердых телах. Температурная зависимость коэффициентов диффузии. Твердофазные химические реакции, их классификация. Кинетика процессов в твердых телах.

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

Общая теория окислительно-восстановительных реакций в твердом теле.

Основы теории спекания. Основные механизмы твердофазного спекания. Особенности жидкофазного спекания. Механизм растворения – осаждения, диффузия в жидкой фазе.

Основы процессов восстановления. Структура и свойства оксидов черных, цветных и редких металлов. Термодинамика восстановления оксидов. Особенности восстановления монооксидом углерода, водородом и твердым углеродом. Реакция газификации углерода и ее влияние на восстановительные процессы. Особенности восстановления элементов из сложных соединений и растворов. Механизм и кинетика процессов восстановления. Лимитирующая стадия процесса. Внешняя диффузия газа. Адсорбция. Диффузия газа в порах куска. Диффузия газа через слой продукта восстановления. Влияние различных факторов на скорость восстановления.

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

Процессы взаимодействия в системах «металл-шлак». Вязкость жидких металлов и сплавов. Диффузионная подвижность компонентов в жидких металлах и сплавах. Внешний и внутренний массоперенос. Физические свойства шлаков. Способы оценки окисленности и основности шлаков. Электропроводность жидких металлов и шлаков. Основы кинетики окислительных процессов. Окисление углерода. Окисление сульфидов и взаимодействие с оксидами. Расслаивание в жидких сульфидно-оксидных системах. Растворимость металлов и сульфидов в шлаках. Кинетика ликвации несмешивающихся фаз.

Основы процессов испарения и конденсации. Очистка металлов ректификацией. Кристаллизационные методы очистки металлов. Строение солей с промежуточным типом связи.

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

Термодинамические свойства расплавленных солей. Парциальные и интегральные термодинамические характеристики. Активность и коэффициент активности, избыточные функции.

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

### **2.3. Теория гидрометаллургических процессов.**

Термодинамика простого растворения ионных кристаллов в воде. Свойства воды как растворителя; взаимодействие ионов с молекулами воды. Энергия кристаллической решетки, теплота растворения и теплота гидратации ионов в зависимости от заряда и размера ионов.

Оценка термодинамической вероятности протекания процессов выщелачивания. Методы расчета изменения свободной энергии Гиббса и константы равновесия для реакций растворения металлов, оксидов,

сульфидов, реакций с образованием твердой фазы.

Кинетика и механизм процессов выщелачивания. Стадии выщелачивания. Области протекания процесса. Обобщающее выражение для скорости взаимодействия в системе "твердое - жидкость".

Общая характеристика процессов ионного обмена. Основные характеристики сорбентов. Ионообменное равновесие. Изотермы ионного обмена. Кинетика и механизм ионного обмена.

Общая характеристика процессов экстракции, примеры их использования. Основные типы органических экстрагентов и разбавителей. Количественные характеристики экстракции. Типы экстракционных процессов.

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

Области применения кристаллизации в гидрометаллургии.

Механизм образования зародышей кристаллизации. Гомогенное и гетерогенное зародышеобразование. Механизм роста кристаллов. Кинетика, стадии процесса, уравнение скорости массовой кристаллизации. Поведение примесей при осаждении и кристаллизации.

Понятие о выделении металлов цементацией. Термодинамика, кинетика и механизм цементации. Побочные процессы при цементации.

Термодинамика процесса осаждения металлов газами-восстановителями. Кинетика и механизм восстановления ионов металлов водородом до элементарной формы, до соединений низшей валентности.

## **2.4. Теория электрометаллургических процессов**

Электродвижущие силы и электродные потенциалы. Возникновение скачка потенциалов и двойного электрического слоя на границе «металл-электролит». Теория строения двойного электрического слоя. Электрокапиллярные явления. Гальванические элементы. Термодинамика гальванического элемента. Классификация электродов. Электроды сравнения. Электродные потенциалы, ряд напряжений металлов. Кинетика электродных процессов. Поляризация электродов, основные виды поляризации. Электрохимическая поляризация. Концентрационная поляризация. Фазовая поляризация.

Электролиз. Катодные и анодные процессы; основные законы электролиза. Характеристики электролиза: Совместный разряд ионов (термодинамическая и кинетическая оценка).

Особенности электрохимии расплавленных сред. Растворимость в расплавленных солях металлов и газов. Термодинамика гальванических элементов в расплавленных солях. Кинетика электродных процессов в расплавах. Катодный выход по току и потери металла. Механизм потери металла. Выход по току при совместном разряде ионов на катоде. Анодный эффект, сущность и механизм возникновения.

## **2.5. Основы теории металлургической теплотехники.**

### **2.5.1. Техническая термодинамика.**

Первый и второй законы термодинамики. Термодинамика рабочего тела. Термодинамика открытых систем. Термодинамика теплосиловых установок.

### **2.5.2. Механика жидкостей и газов.**

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

Струйное движение газов. Свободные, частично ограниченные и ограниченные струи. Струи изотермические и неизотермические. Элементы теории факела. Поля скоростей, температуры и концентраций в неизотермических струях, сопутствующие процессу выгорания горючих компонентов. Газодинамика плотного и взвешенного слоев. Особенности движения газов; общая постановка задачи; расчет полей скоростей и давлений в слое.

### **2.5.3. Основы теории подобия и моделирование металлургических печей**

Множители преобразования и связь между ними для потока реальной жидкости. Гидродинамическое и тепловое подобие. Критерии и связь между ними. Основная теорема подобия. Автомодельность. Моделирование движения газов в печах.

### **2.5.4. Тепло- и массообмен.**

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

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

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

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

### **2.5.5. Нагрев, плавление и затвердевание металла.**

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

Физическая картина и особенности теплообмена при протекании

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

Нагрев и плавление тел в расплаве.

#### **2.5.6. Гидродинамика жидкой ванны.**

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

Газовая струя в жидкой ванне. Подача газа через фурму, расположенную под уровнем жидкости.

#### **2.5.7 Горение.**

Общая характеристика видов топлива, применяемых в металлургии. Общая характеристика процессов горения. Горение газообразного топлива. Горение отдельных составляющих газообразного топлива. Кинетическое горение. Диффузионное горение. Горение жидкого топлива. Распыливание. Воспламенение. Горение капли. Горение твердого топлива. Летучие. Горение углерода. Требования к углям, идущим на коксование. Тепловая работа и конструкция коксовых батарей. Характеристики сушимого материала и сушильных агентов.

### **3 ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ**

#### **3.1. Производство первичного металла**

##### **3.1.1. Подготовка сырья к плавке**

Классификация железорудных материалов. Месторождения руд чёрных металлов. Флюсы. Топливо. Техногенное сырьё

Схема подготовки железорудных материалов к плавке. Отличия в подготовке бедных и богатых руд. Дробление и измельчение. Обогащение руд. Грохочение. Показатели обогащения. Предельная степень обогащения. Энергозатраты на дробление, грохочение и обогащение. Выбросы в окружающую среду при дроблении, грохочении и обогащении.

Окускование железорудных материалов. Агломерация железных руд. Физико-химические основы агломерации. Удаление воды и конденсация влаги. Разложение карбонатов и гидратов. Твердофазные химические реакции. Плавление шихты и кристаллизация расплава. Формирование агломерата. Горение топлива. Газодинамика агломерационного процесса. Теплообмен в слое и тепловые балансы процесса. Поведение попутных элементов. Технология агломерационного производства. Ресурсосбережение. Рециклинг материалов. Металлургические свойства агломерата. Энергозатраты на производство агломерата. Выбросы в окружающую среду в агломерационном производстве. Экономика процесса.

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

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

### **3.1.2. Производство чугуна в доменных печах**

Доменная печь. Основные процессы. Нагрев и разложение шихты.

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

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

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

Горение топлива у фурм доменной печи. Верхняя и нижняя ступени теплообмена. Тепловые балансы плавки.

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

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

Конструкция доменных печей. Профиль печи. Футеровка и кожух. Система охлаждения. Чугунная и шлаковая лётки. Воздушные фурмы. Засыпной аппарат. Оборудование доменных цехов. Подача материалов к доменной печи. Устройства для уборки чугуна и шлака. Разливочная машина. Очистка доменного газа. Устройство и режим работы воздухонагревателя.

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

### **3.1.3. Внедоменное получение первичного металла.**

Твердофазные процессы производства первичного металла. Сырьё и топливо. Физико-химические особенности процесса. Степень металлизации. Пирофорность и методы её подавления. Качество металлизированного сырья. Агрегаты для твердофазного получения первичного металла. Энергозатраты и выбросы в окружающую среду. Экономика производства.

Жидкофазные процессы. Физико-химические особенности жидкофазных процессов. Сырьё и топливо. Качество продукции. Агрегаты для жидкофазного восстановления. Энергозатраты и выбросы в окружающую

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

### **3.2. Metallurgy of steel**

**3.2.1. Cleaning from impurities.** Crystallization and casting of steel. Oxidation of impurities in the steelmaking furnace. Thermodynamics of carbon oxidation. Concentration of carbon and oxygen in the steel bath during the process of melting. Kinetics of carbon oxidation. Oxidation of carbon at different interphase boundaries.

Thermodynamics of silicon, manganese and chromium oxidation. Kinetics of simultaneous oxidation. Physico-chemical bases of phosphorus oxidation and removal of sulfur. Influence of slag composition and metal temperature on the coefficient of distribution of phosphorus and sulfur between metal and slag.

Decarburization of steel. Thermodynamics of decarburization of steel. Decarburizing ability of individual decarburizers. Analysis of isotherms of decarburization. Dependence of oxygen activity on decarburizer concentration. Decarburization with complex decarburizers. Kinetics of the birth of non-metallic inclusions, their coagulation and coalescence. Assimilation of inclusions by the slag melt.

Removal of non-metallic inclusions from metal. Role of density and size of inclusions, role of interphase tension at the boundary with metal, influence of thermal convection and movement of metal under the action of evolving gases.

Residual (exogenous and endogenous) inclusions, not removable from metal (crystallization and post-crystallization), their nature, influence on metal properties, ways of reducing their content. Diffusion (extraction) decarburization. Decarburization with carbon. Secondary oxidation of steel and methods of fighting this phenomenon. Properties of main decarburizers.

#### **3.2.2. Gases in steel and methods of fighting them.**

Hydrogen in steel, its influence on steel properties, defects caused by the presence of hydrogen in steel and its removal from the solution into a separate phase. Solubility of hydrogen in iron and steel, influence of temperature, allotropic transformations and chemical composition on the solubility of hydrogen. Behavior of hydrogen during the casting of steel. Role of the form of existence of hydrogen in slags, mass transfer of hydrogen in slags. Slag regime. Practice of fighting hydrogen in steel.

Nitrogen in steel, influence of nitrogen on service properties of low-carbon steels, aging of steel and nitrogen, nitrogen as a hardening element and substitute of expensive components of steels. Solubility of nitrogen in iron and its alloys, influence of temperature and composition of the alloy. Temperature conditions of formation and dissociation of nitrides. Kinetics of mass exchange of nitrogen between the gas phase and metal, the limiting link of the process in various conditions of interaction of liquid metals and gases. Behavior of nitrogen in baths



сталеплавильных агрегатов (кислородных конвертерах, мартеновских, двухванных и дуговых печах). Переход азота в жидкий металл в зоне дуг. Обезуглероживание ванны и его влияние на поведение азота. Пути обеспечения низких содержаний азота в стали. Защитная (против азота) роль передельных шлаков. Защитные среды от повторного перехода азота в сталь.

### **3.2.3. Кристаллизация и разливка стали.**

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

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

Внутренние и внешние дефекты слитка спокойной стали, управление распределением сегрегатов, газов, неметаллических включений, пути повышения плотности слитка.

Современные тенденции в области повышения выхода годного от стального слитка. Слиток «полуспокойной» стали.

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

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

### **3.2.4. Особенности производства стали в различных сталеплавильных агрегатах.**

Теоретические основы и практика кислородно-конвертерного процесса.

Истечение газовой струи из сопла. Механизм и основные закономерности взаимодействия газовой струи с жидкой металлической ванной. Теоретические основы перемешивания сталеплавильной ванны при продувке ее сверху.

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

Кинетика растворения твердых металлов в жидких расплавах. Термодинамика и кинетика окисления элементов металлической ванны при кислородно-конвертерных процессах.

Окисление углерода. Окисление шлакообразующих компонентов ванны.

Поведение серы при кислородно-конвертерном процессе.

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

конверторах. Способы снижения доли чугуна.

Перспективы кислородно-конвертерного процесса.

Аргоно-кислородная продувка. Получение нержавеющей стали в конверторах.

Марки стали выплавляемых в кислородных конверторах.

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

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

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.

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

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

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

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

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

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

Энергозатраты и выбросы в окружающую среду.

### **3.2.5. Электросталеплавильное производство.**

Современное состояние и перспективы развития электросталеплавильного производства.

Современные методы расчета при плавке в дуговых электропечах.

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

Физико-химические особенности процесса дефосфорации.

Продувка металла порошками.

Современные методы проведения восстановительного периода в

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

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

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

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

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

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

Электронно-лучевой переплав (ЭЛП). Температурный режим. Особенности формирования слитка при ЭЛП. Техника безопасности при работе в электросталеплавильных цехах. Мероприятия по охране окружающей природы. Техничко-экономические показатели переплавных процессов.

Энергозатраты и выбросы в окружающую среду.

### **3.2.6. Теория и практика внепечной обработки стали.**

Неравномерность металла в ковше по составу и температуре. Способы гомогенизации металла: продувка аргоном и электромагнитное перемешивание. Дегазация и удаление включений при гомогенизации. Кавитационная продувка.

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

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

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

### **3.3. Автоматизированное управление процессами производства.**

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

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

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

АСУТП выплавки, разливки и внепечной обработки стали (структурные схемы, функционирование, эффективность).

### **3.4. Производство ферросплавов**

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

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

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

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

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

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

Энергозатраты на производство ферросплавов и выбросы в окружающую среду.

## **4 МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПЕЧИ**

#### **4.1. Оборудование печей.**

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

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

Устройства для утилизации тепла отходящих газов. Регенеративные теплообменники. Устройство, тепловая работа и расчет регенеративных теплообменников. Виды насадок. Регенераторы мартеновских печей. Кауперы. Рекуперативные теплообменники. Температурное поле рекуператоров. Рекуператоры металлические и керамические: тепловая работа, преимущества и недостатки. Расчет рекуператоров. Теплосиловые устройства. Котлы – утилизаторы и турбинные установки.

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

#### **4.2. Защита воздушного и водного бассейнов от вредных выбросов.**

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

Очистка газов печей цветной металлургии.

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

#### **4.3. Огнеупорные материалы.**

Требования к огнеупорным материалам, применяемым в печах черной и цветной металлургии. Физические и рабочие свойства огнеупорного материала, используемых в металлургических печах. Перспективные виды огнеупорных материалов: волокнистые материалы.

#### **4.4. Печи черной металлургии.**

##### **4.4.1. Топливные печи.**

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

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

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

математическое описание нагрева слитков.

Толкательные печи. Конструкции и режимы работы противоточных печей.

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

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

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

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

#### **4.4.2. Печи с теплогенерацией за счет химической энергии жидкого чугуна.**

Теплотехника сталеплавильных процессов.

Тепловой баланс рабочего пространства сталеплавильного агрегата. Предварительный нагрев скрапа и его значение. Влияние тепловых потерь на температуру ванны в допродувочный период. Математическое описание нагрева металла по ходу конверторной плавки.

### **4.5. Печи цветной металлургии.**

#### **4.5.1. Топливные печи.**

Шахтные печи для плавки окисленных никелевых руд. Шахтные печи для свинцовой плавки. Конструкция и особенности тепловой работы. Отражательные печи для плавки на штейн. Конструкции, тепловой и температурный режим плавки. Анодные и вайербарсовы печи. Конструкции, тепловой и температурный режим.

Трубчатые вращающиеся печи. Конструкции, тепловой и температурный режим.

Нагревательные печи. Конструкции, тепловой и температурный режим.

#### **4.5.2. Печи с полной или частичной теплогенерацией за счет химической энергии сырьевых материалов.**

Общая характеристика процессов, протекающих при обжиге сульфидов в кипящем слое. Газодинамический режим работы печей. Температурный и тепловой режимы обжига сульфидных материалов. Время пребывания материала в кипящем слое. Печи для обжига сульфидных материалов в кипящем слое. Печи для обжига цинковых, медных и молибденовых концентратов. Особенности конструкции и тепловой работы. Конвертеры заводов цветной металлургии. Конструкции, тепловой и температурный режим работы. Печи для автогенной плавки медных концентратов на штейн и черновую медь. Плавка в жидкой ванне. Печь А.В. Ванюкова для плавки руд и концентратов.

### **4.6. Печи машиностроительных заводов.**

Тепловая работа и конструкции топливных плавильных печей машиностроительных заводов.

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

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

Сушила. Установки для сушки сыпучих материалов. Барабанные сушила. Сушила для сушки в пневмопотоке и в кипящем слое.

Установки для сушки изделий. Сушила с конвективным режимом работы. Сушила с радиационным режимом работы.

Установки для сушки в высокочастотном (микроволновом) поле.

#### **4.7. Печи огнеупорного производства.**

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

#### **4.8. Электрические печи.**

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

Дуговые и плазменно — дуговые печи. Дуговые печи сталеплавильные печи; дуговые вакуумные печи; рудо- восстановительные печи; плазменные печи.

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

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

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

#### **4.9. Основы механизации и автоматизации печей. Современные методы исследования печей.**

### **5 ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ**

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

Общие принципы извлечения меди, никеля, свинца, цинка из руд и концентратов.

Основные стадии формирования металлургических расплавов (шлака,

штейна). Конструктивные особенности пирометаллургических агрегатов. Распределение ценных компонентов между продуктами плавки. Способы извлечения серы при пирометаллургической переработке сульфидного сырья.

### **5.2. Переработка медных руд и концентратов**

Отражательная и шахтная плавки. Целесообразность предварительного обжига концентратов перед плавкой. Преимущества и недостатки переработки конвертерных шлаков в отражательной и шахтной печах. Характеристика штейнов, шлаков, газов. Тепловой КПД. Возможные способы утилизации тепла. Основные технико-экономические показатели. Выбросы в окружающую среду.

Переработка штейнов на черновую медь. Поведение его составляющих в I и II периоды конвертирования. Показатели процесса. Автогенные процессы в металлургии меди. Их преимущества и недостатки.

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

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

### **5.3. Переработка никелевых руд и концентратов**

Способы подготовки окисленных никелевых руд к плавке в шахтных печах. Их преимущества и недостатки. Реакции, протекающие по высоте шахты печи и внутреннем горне. Характеристика штейнов и шлаков шахтной плавки. Техничко-экономические показатели.

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

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

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

Особенности конвертирования медно-никелевых штейнов. Разделение файнштейна. Способы переработки медного и никелевого концентратов, полученных при флотации файнштейна. Отличия технологической схемы производства кобальта при переработке сульфидного и окисленного сырья.

Карбонильный процесс получения никеля. Гидрометаллургические и комбинированные способы комплексной переработки сульфидных руд и



концентратов. Методы получения никеля и кобальта из растворов; электролиз, водородное восстановление.

#### **5.4. Переработка цинковых концентратов**

Сравнение эффективности пиро- и гидрометаллургического методов получения цинка.

Обжиг цинковых концентратов. Пирометаллургические методы получения цинка из огарка. Электротермия цинка. Особенности выплавки цинка в шахтных печах. Рафинирование чернового цинка. Гидрометаллургия цинка. Выщелачивание цинковых огарков и очистка растворов от примесей. Теоретические основы этих процессов. Электроосаждение цинка. Новые направления совершенствования процесса. Техника безопасности и охрана окружающей среды. Переработка полупродуктов цинкового производства. Комплексное использование цинкосодержащего сырья.

Энергозатраты и выбросы в окружающую среду.

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

Современное состояние и основные этапы развития производства золота, серебра и металлов платиновой группы. Извлечение благородных металлов амальгамацией. Теоретические основы и технология процесса цианирования.

Термодинамика и кинетика процесса осаждения золота и серебра из цианистых растворов цинком и алюминием. Теоретические основы процесса сорбции золота и серебра из цианистых растворов активированным углем, ионнообменными смолами (анионитами) и жидкостной экстракцией органическими растворителями. Современное состояние и направления дальнейшего развития техники и технологии цианистого процесса.

Аффинаж золота, серебра и металлов платиновой группы. Теоретические основы и технология электролитического аффинажа золота и серебра. Химия и технология процессов аффинажа платинового концентрата и методы получения платины высокой чистоты.

Энергозатраты и выбросы в окружающую среду.

#### **5.6. Технология производства лёгких цветных сплавов**

##### **5.6.1. Получения магния**

Свойства и применение магния. Характеристика исходных материалов. Теория и технология получения безводного хлористого магния и бишофита. Обезвоживание карналита: получение искусственного карналита, обезвоживание во вращающихся СКН и печах. Применение печей кипящего слоя и хлораторов.

Состав и физико-химические свойства электролитов. Техника электролитического получения магния. Конструкция электролизёров. Устройство цехов электролиза, отсос хлора и катодных газов. Техника безопасности и мероприятия по охране окружающей среды. Техничко-

экономические показатели электролиза. Рафинирование магния-сырца переплавкой с флюсами. Электролитическое рафинирование магниевых ломов и отходов.

### **5.6.2. Получение алюминия**

Свойства алюминия и сплавов на его основе, масштабы производства и области применения. Основные руды алюминия.

Переработка бокситов гидрохимическим способом. Основная реакция Байера. Строение алюминатных растворов. Равновесие в системе  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O-H}_2\text{O}$ . Принципиальная технологическая схема способа Байера. Технологические параметры основных переделов и характеристика оборудования.

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

Производство фтористых солей и электродов.

Электролиз криолито-глиноземных расплавов. Свойства и строение электролитов, основные реакции на электродах. Катодный выход по току. Анодный процесс, состав анодных газов.

Технология электролитического получения алюминия. Описание конструкции электролизеров. Регенерация фтористых солей. Техника безопасности и охрана окружающей среды. Автоматическое регулирование алюминиевых электролизеров. Себестоимость алюминия и её анализ. ГОСТ на алюминий.

Электролитическое рафинирование алюминия. Свойства и применение алюминия высокой чистоты. Теория и технология трёхслойного метода, пути её совершенствования. Получение алюминия особой чистоты: зонная плавка.

## **5.7. Технология производства редких и радиоактивных металлов**

### **5.7.1. Тугоплавкие редкие металлы**

Вольфрам и молибден. Физико-химические основы пиromеталлургических и гидрометаллургических способов разложения рудных концентратов, их критическое сопоставление, новые направления технологии. Теоретические основы и практика процессов производства чистых трехокисей молибдена и вольфрама.

Технология переработки вторичного вольфрамового и молибденового сырья.

Термодинамика, кинетика и механизм восстановления трехокисей вольфрама и молибдена водородом, практика процесса. Основы производства компактных вольфрама и молибдена методом порошковой металлургии и плавкой (дуговой, электроннолучевой). Влияние примесей на свойства металлов. Варианты процессов получения вольфрама и молибдена восстановлением галогенидов. Методы получения монокристаллов вольфрама и молибдена. Техника безопасности и охрана окружающей среды.

Титан. Общий обзор способов получения титана.

Физико-химические свойства и практика магниитермического способа производства титана из хлоридов. Варианты натрийтермического

восстановления четыреххлористого титана. Сопоставление магнийтермического и натрийтермического процессов. Электролитическое рафинирование титана. Основы иодидного способа рафинирования титана и циркония. Производство компактных титана и циркония методом плавки. Техника безопасности и охрана окружающей среды в производстве титана.

## **РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК К РАЗДЕЛУ 2**

### **Основная литература**

1. Андронов В.Н. Экстракция черных металлов из природного и техногенного сырья. Доменный процесс. – Донецк: Норд-Пресс, 2009, 377 с.
2. Бойченко Б.М., Охотский В.Б., Харлашин П.С. Конвертерное производство стали: теория, технология, качество стали, конструкции агрегатов, рециркуляция материалов и экология: Учебник. - Днепрпетровск: РВА "Днипро-ВАЛ", 2006, 454 с
3. Борисоглебский Ю.В., Ветюков М.М., Москвинин В.И., Школьников С.Н. Теория и технология электрометаллургических процессов. Под редакцией М.М. Ветюкова. М.: Metallurgy. 1994, 238с.
4. Ванюков А.В., Зайцев В.Я. Теория пирометаллургических процессов. М.: Metallurgy. 1993, 415с.
5. Ванюков А.В., Уткин Н.И. Комплексная переработка медного и никелевого сырья. Челябинск: Metallurgy 1988, 432с.
6. Вегман Е.Ф., Жеребин. Б.Н. Похвиснев А.Н. и др. Metallurgy чугуна. М.: Metallurgy. 1989, 512с.
7. Вольдман Г.М., Зеликман А.Н. Теория гидрометаллургических процессов. М.: Metallurgy 1970, 408с.
8. Гасик М.И., Лекишев Н.П. Теория и технология электрометаллургии ферро сплавов. М.: «Интермет – Инжиниринг» 1999, 764с.
9. Глинков М.А., Глинков Г.М. Общая теория печей. М.: Metallurgy. 1990, 230с.
10. Григорян В.А., Белянчиков Л.Н., Стомахин Л.Я. Теоретические основы электросталеплавильных процессов. М.: Metallurgy. 1987, 272с.
11. Зайцев В.Я., Мергулис Е.В. Metallurgy свинца и цинка. М.: Metallurgy 1985, 264с.
12. Зеликман А.Н., Коршунов Б.Г. Metallurgy редких металлов. М.: Metallurgy 1991, 432с.
13. Карабасов Ю.С., Чижикова В.М. Физико-химические восстановления железа из оксидов. М.: Metallurgy. 1986, 200с.
14. Китаев Б.И., Ярошенко Ю.Г., Суханов Е.Л. Теплофизика доменного производства. М.: Metallurgy 1978, 396с.
15. Кньюпель Г. Раскисление и вакуумная обработка стали. М.: Metallurgy. 1984, 414с.

16. Кривандин В.А., Арутюнов В.А., Белоусов В.В. и др. Теплотехника металлургического производства, т 1. Теоретические основы. М.: МИСиС. 2002, 590с.
17. Лобанов В.И., Ясников Г.П., Гордон Я.М., Телегин А.С. Техническая термодинамика М.: Металлургия 1992, 240с.
18. Металлургия стали. Под редакцией В.И. Явойского и Г.Н. Ойса. М.: Металлургия 1973, 816с.
19. Металлургия цветных металлов / Колобов Г.А., Бредихин В.Н., Маняк Н.А., Шевелев А.И. ДонНТУ – Донецк: Издательский дом «Кальмиус», 2007, 540с.
20. Металлургия чугуна: Учебник для вузов. 3-е изд., переработ. и доп. / Под редакцией Ю.С. Юсфина. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2004, 774 с.
21. Металлургия: учебное пособие: в 3 кн. К.1. Производство чугуна, железа, стали и ферросплавов / Ю.В. Коновалов, А.А. Троянский, С.Н. Тимошенко. – Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», 2001, 431 с.
22. Непрерывная разливка металла / Д. А. Дюдкин, В. В. Кисиленко, А. Н. Смирнов. - электрон. текстовые дан. - М.: Теплотехник, 2009, 528 с.
23. Оборудование и эксплуатация доменных печей : Учебник для вузов / Плискановский Станислав Тихонович, Полтавец Василий Владимирович ; С.Т. Плискановский, В.В. Полтавец ; Нац. металлург.акад. Украины, Гос. ин-т подготовки и переподготовки кадров промышленности. - Дніпропетровськ: Пороги, 2004. 495 с.
24. Паволоцкий Д.Я., Кудрин В.А., Вишкарёв А.Ф. Внепечная обработка стали. М. МИСиС. 1995, 256с.
25. Производство цветных металлов. Н.И. Уткин. - М.: «Интермет Инжиниринг», 2000. 422с.
26. Рамм А.Н. Современный доменный процесс. М. : Металлургия. 1980, 304с.
27. Рысс М.А. Производство ферросплавов. М. : Металлургия 1985, 344с.
28. Сергеев В.В., Безукладников А.Б., Мальшин В.М. Металлургия титана. М.: Металлургия 1979, 264с.
29. Старк С.Б. Газоочистные аппараты и установки в металлургической промышленности. М.: Металлургия 1990, 400с.
30. Цветная металлургия Украины. Том 1. Ч. 2. Металлургия тяжелых цветных металлов: монография / Червоный И.Ф., Бредихин В.Н., Грицай В.П. и др., под ред. доктора технических наук, профессора Червоного И.Ф.; Запорожская государственная инженерная академия. - Запорожье: ЗГИА, 2014. 308
31. Юсфин Ю.С., Гиммельфарб А.А., Пашков А.Ф. Новые процессы получения металла. Металлургия железа. М.: Металлургия 1994, 320с.
32. Явойский В.И. Теория процессов производства стали. М.: Металлургия 1985, 344с.

### Дополнительная литература

1. Алкацев М.И. Процессы цементации в цветной металлургии. М.: Металлургия. 1981, 116с.
2. Багров О.Н., Клешко Б.М., Михайлов В.В. Энергия основных производств цветной металлургии. М.: Металлургия. 1979, 376 с.
3. Бигеев А.М., Бигеев В.А. Металлургия стали. Теория и технология плавки. Магнитогорск: МГТУ. 2000г., 544с.
4. Борбат В.Ф. Металлургия платиновых металлов. М.: Металлургия. 1977, 1678с.
5. Ванюков В.А., Зайцев В.Я. Шлаки и штейны цветной металлургии. М.: Металлургия 1969г., 389с.
6. Вторичные материальные ресурсы черной металлургии. Справочник. В 2-х томах. М.: Экономика, 1986, 1-299 с, 2-344с.
7. Гаврилов В.А., Гасик М.И. Силикотермия марганца. Днепропетровск: издательство «Системные технологии», 2001г., 512с.
8. Гасик М.И., Марганец М.: Металлургия. 1992, 608с.
9. Григорьев В.П., Нечкин Ю. М., Егоров А. В. и др. Конструкции проектирования агрегатов сталеплавильного производства. М.: МИСиС. 1995, 512с.
10. Ефимов В.А., Эльдарханов А.С. Современные технологии разлива и кристаллизации сплавов. М.: Машиностроение. 1998, 360с.
11. Жеребин Б. Н., Пареньков А. Е., Бабанков В.В. Неполадки и аварии в работе доменных печей. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2001, 397с.
12. Зеликман А. Н. Металлургия тугоплавких редких металлов. М.: Металлургия. 1986, 440с.
13. Интенсификация использования пылеугольного топлива в доменной плавке / Бабич А.И., Ярошевский С.Л., Терещенко В.П.// Киев: Техника, 1993, 198 с.
14. Карнаухов В.Н., Воронов Ю.И., Зайко ВП. и др. Технология низкоуглеродистого ферохрома. Екатеринбург: Издательство ИМет Уро РАН, 2001, 481с.
15. Кобахидзе В. В. Тепловая работа и конструкции печей цветной металлургии. М.: МИСиС, 1994, 355с.
16. Кривандин В.А., Марков Б.Л. Металлургические печи. М.: Металлургия, 1985, 480с.
17. Кривандин В.А., Егоров А.В., Тепловая работа и конструкции печей чёрной металлургии. М.: Металлургия, 1989, 460с.
18. Кудрин В.А. Металлургия стали. М.: Металлургия 1981, 481с.
19. Кутателадзе С. С.. Стырикович М.А. Газодинамика газожидкостных систем. М.: Энергия. 1976, 296с.
20. Лайнер А.И., Ерёмин Н.И., Лайнер Ю.А. и др. Производство глинозёма. М.: Металлургия, 1978, 344с.
21. Левин А.И. Электрохимия цветных металлов. М.: Металлургия. 1982, 290с.

22. Леонтьев Л.И., Ватолин Н. А., Шаврин С.В. и др. Пирометаллургическая переработка комплексных руд. М.: Металлургия. 1997, 432с.
23. Лякишев Н.П. Гасик М.И. Металлургия хрома. М.: Издательство «Элиз» 1999, 582с.
24. Масленицкий И.Н., Чугаев Л.В. Металлургия благородных металлов М.: Металлургия. 1997, 430с.
25. Металлургия стали. Под редакцией В.И. Явойского и Ю. В. Кряковского. М.: Металлургия 1983, 584с.
26. Набойченко С.С., Смирнов В.И. Гидрометаллургия меди. М.: Металлургия 1974, 236с.
27. Николаев И.В., Москвитин В.И., Фомин Б.А. Металлургия лёгких металлов. М.: Металлургия 1997, 430с.
28. Падерин С.Н., Филиппов В.В. Теория и расчёты металлургических систем и процессов. М.: МИСиС, 2001, 334с.
29. Процессы и аппараты цветной металлургии / С. С. Набойченко, Н. Г. Агеев, А. П. Дорошкевич [и др.]. – Екатеринбург : УГТУ, 2005, 700 с.
30. Стефанюк С.Л. Металлургия магния и других лёгких металлов. М.: Металлургия, 1985, 200с.
31. Толстогузов Н.В. Теоретические основы и технология плавки кремнистых и марганцевых сплавов. М.: Металлургия, 1992, 239с.
32. Явойский В.И., Близнюков С.А., Вишкарёв А.Ф. и др. Включения и газы в сталях. М.: Металлургия, 1979, 272с.
33. Ярошевский С.Л. Выплавка чугуна с применением пылеугольного топлива. М.: Металлургия, 1988, 176с.

## **Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:**

### **Библиотеки**

Российская государственная библиотека	<a href="http://www.rsl.ru">www.rsl.ru</a>
Российская национальная библиотека	<a href="http://www.nlr.ru">www.nlr.ru</a>
Библиотека Академии наук	<a href="http://www.rasl.ru">www.rasl.ru</a>
Библиотека по естественным наукам РАН	<a href="http://www.benran.ru">www.benran.ru</a>
Всероссийский институт научной и технической информации (ВИНИТИ)	<a href="http://www.viniti.ru">www.viniti.ru</a>
Государственная публичная научно-техническая библиотека	<a href="http://www.gpntb.ru">www.gpntb.ru</a>
Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU	<a href="http://elibrary.ru">elibrary.ru</a>