

**ПРОГРАММА**  
**вступительного испытания по специальной дисциплине**  
**«Технологии материалов»**  
по научным специальностям

2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов, 2.6.2. Metallургия черных, цветных и редких металлов, 2.6.4. Порошковая металлургия и композиционные материалы, 2.6.5. Обработка металлов давлением

**Структура вступительного экзамена**

Вступительное испытание в аспирантуру по специальной дисциплине - вступительный экзамен - проводится в очной форме и состоит из устного ответа на вопросы.

Программа вступительного экзамена «Технологии материалов» на дисциплине, которая состоит из самостоятельных частей:

1. Металловедение
2. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов
3. Порошковая металлургия и композиционные материалы
4. Metallургия черных, цветных и редких металлов
5. Обработка металлов давлением

В билет включается 3 вопроса, 2 вопроса – из части «Металловедение», 1 вопрос (по выбору) – из частей 2-5.

## Содержание вступительного экзамена

### Часть 1. Материаловедение

#### Раздел 1. Межатомные взаимодействия и электронное строение твердого тела

1. Основные типы химической связи в твердых телах. Потенциалы межатомного взаимодействия Энергия связи металлических, ковалентных, ионных кристаллов. Равновесное межатомное расстояние
2. Электронное строение твердых тел с различным типом связи. Модель свободных электронов для металлов. Вырожденный электронный газ. Плотность состояний. Поверхность Ферми. Зонная теория твердых тел, энергетический спектр электронов в кристалле, деление тел на проводники, полупроводники и диэлектрики.

#### Раздел 2. Атомная структура твердых тел

1. Кристаллические тела. Трансляционная симметрия. Элементарная ячейка кристаллической решетки. Кристаллические сингонии. Решетки Бравэ. Точечные и пространственные группы симметрии. Координационное число, плотность упаковки. Кристаллографические индексы плоскостей и направлений в решетке. Анизотропия свойств кристаллов. Кристаллографическая текстура поликристаллов.
2. Аморфное состояние, металлические стекла. Панокристаллы. Квазикристаллы.

#### Раздел 3. Дефекты кристаллического строения

1. Точечные дефекты. Вакансии и межузельные атомы. Равновесная концентрация точечных дефектов. Неравновесные точечные дефекты. Рождение, миграция и сток вакансий. Группы вакансий.
2. Дислокации. Вектор Бюргерса. Плотность дислокаций. Краевая, винтовая и смешанная дислокации. Скольжение и переползание дислокаций. Пороги на дислокациях. Поле напряжений и энергия дислокаций. Взаимодействие дислокаций. Полные и частичные дислокации. Дефекты упаковки. Образование и размножение дислокаций. Источник Франка-Рида. Взаимодействие дислокаций и примесных атомов.
3. Границы зерен и субзерен. Угол разориентировки и энергия границ. Границы наклона и кручения. Малоугловые и высокоугловые границы. Миграция границ. Взаимодействие границ зерен с примесными атомами.

#### Раздел 4. Фазы и фазовые равновесия в материалах

1. Твердые растворы замещения, внедрения и вычитания. Упорядоченные твердые растворы (сверхструктуры). Электронные соединения (фазы Юм-Розери), фазы внедрения, фазы Лавеса,  $\sigma$ - фазы.
2. Равновесие фаз в многокомпонентных системах. Фазовые переходы I и II рода. 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. Использование геометрической термодинамики для анализа диаграмм состояния.
3. Методы расчета изменения энергии Гиббса и константы равновесия для реакций растворения металлов, оксидов, сульфидов, реакций с образованием твердой фазы.

## Раздел 5. Диффузия

1. Феноменологические законы диффузии. Самодиффузия и гетеродиффузия. Модель случайных блужданий для описания диффузии. Механизмы диффузии, роль точечных дефектов, диффузия по дислокациям и границам зерен. Температурная зависимость коэффициента диффузии.
2. Диффузия в поле градиента концентраций. Концентрационная зависимость коэффициентов диффузии. Эффект Киркендалла. Выравнивающая и разделительная (реактивная) диффузия. Диффузия в силовых полях.

## Раздел 6. Кристаллизация превращения.

1. Гомогенное зарождение кристаллов в расплаве. Критический размер зародыша. Скорость образования и скорость роста кристаллических дислокационных механизмы роста. Кинетика кристаллизации, кристаллизации. Критическая скорость охлаждения расплава. Гетерогенное зарождение.
2. Отклонения от равновесия при кристаллизации. Влияние скорости охлаждения и градиента температуры расплава на микроструктуру. Концентрационное переохлаждение. Ячеистая и дендритная форма роста кристаллов. Дендритная ликвация. Образование метастабильных фаз при кристаллизации. Бездиффузионная кристаллизация.
3. Структура слитка. Модифицирование. Направленная кристаллизация. Зонная плавка. Выращивание монокристаллов из расплава. Закалка из жидкого состояния.
4. Эвтектическая кристаллизация. Строение эвтектических колоний. Нормальная, аномальная и вырожденная эвтектики. Перитектическая кристаллизация.

## Раздел 7. Фазовые превращения в твердом состоянии

1. Полиморфные превращения. Нормальный и сдвиговый механизмы структурного и размерного соответствия.
2. Эвтектоидное превращение, механизм и кинетика. Эвтектоидное превращение в сталях. Строение перлита. Диаграммы изотермических превращений. Термокинетические диаграммы.
3. Мартенситное превращение. Термодинамика, механизм и кинетика мартенситного превращения. Микроструктура и субструктура мартенсита. Обратимость превращения. Эффект памяти формы.
4. Бейшпитное превращение. Механизм и кинетика бейнитного превращения. Строение бейнита.
5. Распад пересыщенного твердого раствора. Спинодальный распад. Модулированные структуры. Термодинамика образования промежуточных фаз. Кластеры, зоны Гинье-Престона. Когерентные, частично когерентные и некогерентные выделения. Непрерывный и прерывистый распад. Роль вакансий, дислокаций и границ зерен в процессах выделения.
6. Упорядочение твердого раствора. Дальний и ближний порядок. Антифазные домены. Изменение свойств раствора при упорядочении.

## Раздел 8. Структурные превращения в твердом состоянии

1. Изменения структуры при холодной пластической деформации. Линии и полосы скольжения. Ячеистая субструктура. Волокнистая микроструктура. Кристаллографическая и металлографическая текстуры деформации, механизмы их образования. Анизотропия свойств текстурованных материалов.
2. Изменения структуры при нагреве после холодной деформации. Возврат (отдых, полигонизация). Первичная, собирательная и вторичная рекристаллизация. Движущая сила,

механизм и кинетика этих процессов. Природа критической деформации. Диаграмма рекристаллизации. Кристаллографическая текстура рекристаллизованного материала, механизм ее образования.

3. Изменения структуры при горячей деформации. Динамический возврат и динамическая рекристаллизация.

4. Сфероидизация и коалесценция выделений второй фазы в гетерогенном материале. Растворно-осадительный механизм.

5. Диаграмма железо-углерод. Процессы при структурообразовании железоуглеродистых сплавов.

## Раздел 9. Способы воздействия на структуру и свойства материалов

1. Основы термической обработки. Классификация видов термической обработки: отжиги 1 и 2 рода, закалка, отпуск, старение, термомеханическая и химико-термическая обработки.

2. Гомогенизационный отжиг, изменение структуры и свойств при гомогенизационном отжиге. Дорекристаллизационный и рекристаллизационный отжиги. Факторы, влияющие на размер рекристаллизованного зерна. Отжиг для уменьшения остаточных напряжений. Механизм уменьшения остаточных напряжений при отжиге.

3. Разновидности отжига 2 рода: полный, неполный, изотермический, сфероидизирующий отжиги, нормализация, патентирование.

4. Закалка без полиморфного превращения.

5. Закалка с полиморфным превращением (закалка на мартенсит). Изменение свойств при закалке на мартенсит. Критическая скорость охлаждения при закалке, прокаливаемость. Способы закалки: в одной охлаждающей среде, в двух средах, ступенчатая, изотермическая (бейнитная), с обработкой холодом, поверхностная.

6. Старение. Изменение свойств сплавов при старении. Естественное и искусственное старение. Перестаривание.

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

8. Термомеханическая обработка. Низкотемпературная термомеханическая обработка сталей и стареющих сплавов.

9. Химико-термическая обработка. Изменения состава и структуры при химико-термической обработке. Однофазная и многофазная диффузионные зоны. Связь строения диффузионного слоя с диаграммой состояния. Диффузионное насыщение неметаллами и металлами. Диффузионное удаление элементов.

10. Порошковая металлургия, основные технологические этапы.

11. Методы обработки поверхности и получения покрытий. Изменение поверхностного слоя материалов при высокоэнергетических воздействиях. Электронно-лучевая и лазерная обработка. Ионная имплантация. Ионно-плазменное распыление. Термическое напыление. Осаждение из газовой фазы. Электролитическое осаждение.

## Раздел 10. Пластическая деформация и разрушение, механические свойства материалов

1. Пластическая деформация скольжением и двойникованием. Диаграммы деформации моно- и поликристаллов. Системы скольжения. Деформационное упрочнение; влияние на него температуры и скорости деформации. Теория предела текучести.

2. Основные механические характеристики материалов.

упругости, текучести и прочности, истинное сопротивление разрыву, характеристики пластичности при растяжении, твердость, вязкость разрушения и ударная вязкость.

3. Упрочнение при образовании твердых растворов и при выделении избыточных фаз (когерентных и некогерентных). Влияние размера зерна на механические свойства. Сверхпластичность.

4. Хрупкое и вязкое разрушение. Механизмы зарождения трещин. Распространение трещин при хрупком и вязком разрушении. Критерии вязкости разрушения. Строение изломов. Переход от хрупкого разрушения к вязкому. Порог хладноломкости. Природа хладноломкости металлов с ОЦК-решеткой. Способы борьбы с хладноломкостью.
5. Жаропрочность. Стадии ползучести. Релаксация напряжений. Длительная прочность. Влияние состава и структуры материала на жаропрочность.
6. Усталость. Диаграммы усталости. Механизм усталостного разрушения. Факторы, влияющие на усталостную прочность. Термическая усталость. Контактная усталость.

## Раздел 11. Взаимодействие материалов с окружающей средой

1. Окисление, термодинамика и кинетика процесса. Легирование с целью защиты от окисления. Внутреннее окисление.
2. Электрохимическая коррозия. Равномерная, межкристаллитная, точечная коррозия. Коррозия под напряжением. Коррозионное растрескивание. Коррозионная усталость. Коррозия в жидких металлах.

## Раздел 12. Физические свойства материалов

1. Упругие свойства материалов. Закон Гука для изотропных и анизотропных материалов. Связь модулей упругости с потенциалом межатомного взаимодействия. Модули упругости гетерогенных материалов.
2. Термическое расширение. Анггармонизм колебаний атомов в кристаллической решетке. Температурный коэффициент линейного расширения гетерогенных материалов.
3. Теплоемкость. Квантовые теории решеточной теплоемкости Эйнштейна и Дебая. Температура Дебая. Спектр нормальных колебаний решетки. Фононы. Теплоемкость сплавов. Изменение теплоемкости при фазовых и структурных превращениях.
4. Теплопроводность материалов. Кинетическая теория теплопроводности. Время и длина свободного пробега. Решеточная (фононная) теплопроводность, фонон-фононное рассеяние, рассеяние фононов на дефектах кристаллической решетки и примесях, изотопическое рассеяние. Электронная теплопроводность, рассеяние электронов проводимости на фононах, примесях и дефектах.
5. Электропроводность. Электроны проводимости. Время релаксации. Рассеяние электронов на фононах, дефектах решетки, примесях. Правило Маттиссена-Флеминга. Влияние температуры и легирования на электрическое сопротивление металлов и полупроводников. Сопротивление твердых растворов. Связь электро- и теплопроводности металлов. Электрическая проводимость гетерогенных сплавов.
6. Магнитные свойства. Диамагнетизм и парамагнетизм атомов. Закон Кюри. Диамагнетизм и парамагнетизм электронного газа. Магнитное упорядочение. Ферромагнетизм. Ферромагнитные домены. Доменные границы. Энергия магнитной анизотропии. Характеристики петли гистерезиса и кривой намагничивания ферромагнетика. Теория коэрцитивной силы.

## 13. Методы исследования и контроля структуры и свойств материалов

1. Дифракционные методы исследования атомной структуры материалов. Особенности распространения волн в периодических структурах. Закон Вульфа-Брэгга. Обратная решетка. Основные методы рентгеноструктурного анализа. Рентгеновская дифрактометрия. Качественный и количественный рентгеновский фазовый анализ. Электронография и нейтронография. Рентгенографический анализ текстур, остаточных

напряжений, дефектов кристаллической решетки, типа твердого раствора, химического дальнего порядка.

2. Просвечивающая и растровая электронная микроскопия, анализ фазового состава, микроструктуры и дефектов кристаллического строения.

3. Методы локального анализа химического состава. Микрорентгеноспектральный анализ. Оже-электронная спектроскопия. Рентгеноэлектронная спектроскопия (электронная спектроскопия для химического анализа). Масс-спектроскопия вторичных ионов.

4. Изучение микроструктуры с помощью световой микроскопии. Методы количественной металлографии.

5. Методы измерения физических свойств. Термический анализ. Абсолютный и дифференциальный методы измерения. Калориметрия, методы смешения, ввода и протока тепла; сканирующая, модуляционная и импульсная калориметрия.

6. Дилатометрия; оптический, емкостной, индуктивный датчики перемещения. Методы измерения теплопроводности. Резистометрия, мостовые и потенциометрические методы.

7. Измерение магнитных свойств дна-, пара- и ферромагнетиков. Определение параметров кривой намагничивания и петли гистерезиса в статическом и динамическом режимах измерения. Термомагнитный анализ. Применение измерений физических свойств для решения материаловедческих задач (изучения изменений структуры и фазовых превращений).

8. Методы механических испытаний. Испытания на растяжение, сжатие, изгиб, кручение. Измерение микротвердости и твердости по Бригеллю, Роквеллу, Виккерсу. Испытания на ползучесть, длительную прочность, релаксацию напряжений. Усталостные испытания.

#### Раздел 14. Основные классы материалов в металлургии

1. Классификации материалов по химическому составу, способу получения и назначению. Металлические и неметаллические материалы.

2. Сплавы на основе железа. Углеродистые стали. Белые, серые, половинчатые, ковкие и высокопрочные чугуны. Легированные стали, классификации по фазовому равновесию, структуре, области применения, уровню легированности.

3. Низколегированные стали повышенной прочности. Конструкционные улучшаемые стали. Пружинные и износостойкие стали. Штамповые стали. Инструментальные стали для режущего и измерительного инструмента. Быстрорежущие стали.

4. Жаропрочные феррито-перлитные, мартенситные и аустенитные стали. Нержавеющие ферритные и аустенитные стали. Жаростойкие стали.

5. Цветные металлы и сплавы, легирование, термическая обработка, структура, свойства, области применения.

6. Алюминий и его сплавы. Магний и его сплавы.

7. Титан и его сплавы. Никель и его сплавы.

8. Медь и ее сплавы.

9. Сплавы на основе тугоплавких металлов (Mo, W, Nb, Cr).

10. Цинк, свинец, олово и их сплавы.

11. Материалы с особыми физическими свойствами (прецизионные сплавы). Проводниковые и резистивные сплавы. Сверхпроводящие материалы. Магнитно-мягкие и магнитно-твердые материалы. Сплавы с особыми упругими и тепловыми свойствами.

12. Композиционные материалы. Дисперсно-упрочненные композиционные материалы на алюминиевой и никелевой основе, структура и свойства, принципы выбора упрочнителей.

13. Волокнистые композиционные материалы на основе алюминия, титана, никеля, магния; виды и свойства упрочнителей.

14. Слоистые композиционные материалы на основе металлов, неограниченно растворяющихся друг в друге, не растворяющихся или образующих интерметаллиды. Направленно кристаллизованные композиционные материалы эвтектического и

неэвтектического типа. Интерметаллические соединения как основа жаропрочных сплавов, получаемых направленной кристаллизацией.

### Литература к части 1

1. Лившиц Б.Г. Металлография. - Мд Металлургия, 1990. - 336 с.
2. Китиль Ч. Введение в физику твердого тела. - Мд Наука. 1978. - 792 с.
3. Захаров А.М. Диаграммы состояния двойных и тройных систем. - Мд Металлургия, 1990. - 240 с.
4. Новиков И.И., Розин К.М. Кристаллография и дефекты кристаллической решетки. – М.: Металлургия. 1990. - 336 с.
5. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия. / Уманский Я.С., Скаков Ю.А., Иванов А.Н., Расторгуев Л.Н. - Мд Металлургия. 1982. - 632 с.
6. Жуховицкий А.А., Шварцман Л.А. Физическая химия. - Мд Металлургия, 1976. - 350 с.
7. Лившиц Б.Г., Крапошин В.С., Липецкий ЯЛ. Физические свойства металлов и сплавов. - Мд Металлургия, 1980. - 320 с.
8. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов. – М.: Металлургия. 1986. - 480 с.
9. Уманский Я.С., Скаков Ю.А. Физика металлов. – М.: Атомиздат, 1978. - 352 с.
10. Штремель М.А. Прочность сплавов. – М.: МИСиС, ч.1 Дефекты решетки, 1999. - 384 с. ч.2 Деформация. 1997. - 527 с.
11. Бокштейн С.З. Строение и свойства металлических сплавов.-М.: Металлургия. 1971.- 496 с.
12. Золотаревский В.С. Механические свойства металлов. – М.: МИСиС. 1998.400 с.
13. Бернштейн М.Л., Займовский В.А. Механические свойства металлов. – М.: Металлургия. 1979. - 496 с.
14. Физическое металловедение. / Ред. Р.У.Кан и П. Хаазен. - в 3-х томах. – М.: Металлургия. 1987.
15. Орлов А.В., Перевезенцева А.И., Рыбин В.П. Границы зерен в металлах. – М.: Металлургия. 1980. - 310 с.
16. Кривоглаз М.А. Теория рассеяния рентгеновских лучей и тепловых нейтронов реальными кристаллами. - Киев: Наукова Думка, 1953. – 408 с.

## Часть 2. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

1. Типы связи в твердых телах. Особенности металлического состояния вещества. Кристаллическое строение металлов.
2. Твердые растворы замещения и внедрения. Упорядоченные твердые растворы.
3. Диаграммы состояния двойных и тройных систем. Анализ диаграмм состояния.
4. Законы диффузии. Самодиффузия. Механизмы диффузии.
5. Структура и свойства жидких металлов. Гомогенное и гетерогенное зарождение кристаллов, критический размер зародыша. Скорость роста кристаллических зародышей.
6. Влияние скорости кристаллизации на строение сплавов. Металлические стекла.
7. Неметаллические включения и газы в слитке. Поведение неметаллических включений при горячей и холодной деформации металла. Влияние неметаллических включений на механические и физические свойства сплавов
8. Классификация видов термической обработки.
9. Фазовые переходы I и II рода. Полиморфные превращения. Принцип структурного и размерного соответствия. Сдвиговое и нормальное превращения.
10. Фазовые превращения при нагреве. Рост зерна. Структурная наследственность. Роль скорости нагрева.
11. Закалка без полиморфного превращения. Изменение структуры и свойств при закалке.
12. Закалка на мартенсит. Термодинамика, механизм и кинетика мартенситного превращения. Микроструктура и субструктура мартенсита.
13. Бейнитное превращение. Механизм и кинетика бейнитного превращения. Строение бейнита.
14. Старение. Распад пересыщенного твердого раствора. Спинодальный распад. Структурные изменения при старении.
15. Отпуск. Изменение микроструктуры и фазового состава при отпуске сталей. Обратимая и необратимая отпускная хрупкость.
16. Термомеханическая обработка.
17. Элементарные процессы при химико-термической обработке: образование активных атомов диффундирующего элемента, адсорбция, диффузия. Насыщающие среды.
18. Азотирование, цементация, нитроцементация, алитирование, хромирование, борирование, сульфидирование, силицирование. Принципы выбора термической обработки после химико-термической обработки.
19. Диаграммы деформации моно- и поликристаллов.
20. Деформационное упрочнение: влияние на него температуры и скорости деформации.
21. Усталостная прочность. Механизм усталости. Факторы, влияющие на усталостную прочность. Контактная усталость.
22. Рентгеноструктурный и электронографический анализ.
23. Основные принципы дефектоскопии металлов. Магнитная, ультразвуковая и другие методы дефектоскопии.
24. Углеродистая сталь. «Кипящие», «полуспокойные» и «спокойные» стали. Низколегированные стали повышенной прочности.
25. Чугуны. Модифицирование чугунов.

### Литература к части 2

1. Колачев Б.А., Елагин В.И., Ливанов В.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов: Учебник для вузов. М.: Изд-во МИСиС, 2005.
2. Горелик С.С., Добаткин С.В., Капуткина И.С. и др. Рекристаллизация металлов и сплавов. М.: МИСиС, 2005.



3. Андриевский Р.А., Рагуля А.В. Наноструктурные материалы. Учебное пособие. М.: Академия, 2005.
4. Гуляев А.П. Металловедение: Учебник для вузов. М.: Металлургия, 1986
5. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов. Учебник для вузов. М.: Металлургия, 1986.
6. Новиков И.И., Розин К.М. Кристаллография и дефекты кристаллической решетки: Учебник для вузов. М.: Металлургия, 1990.
7. Золотаревский В.С. Механические свойства металлов. М.: Изд-во МИСиС, 1998.
8. Новиков И.И., Строганов Г.Б., Новиков А.И. Металловедение, термическая обработка и рентгенография. М.: Изд-во МИСиС, 1994.
9. Гудремон Э. Специальные стали (в 2х т.). М. Металлургия, 1966.
10. Металловедение и термическая обработка стали. Справочник. В 3х т. / Под ред. Бернштейна М.Л. и Рахштадта А.Г. М.: Металлургия, 1983.
11. Технология термической обработки цветных металлов и сплавов: Учебное пособия для вузов / Б.А. Колачев и др. М.: Металлургия, 1980.
12. Ильин А.А. Механизм и кинетика фазовых и структурных превращений в титановых сплавах. М.: Наука, 1994.
13. Гольдштейн М.И. Специальные стали. Учебник для вузов. М.: Металлургия, 1985.

### Часть 3. Порошковая металлургия и композиционные материалы

1. Химические, физические и технологические свойства порошков и волокон.
2. Методы получения порошков тугоплавких соединений и волокон.
3. Методы термодиффузного насыщения, межкристаллитной коррозии.
4. Детонационные и ударно-волновые методы и технологии.
5. Подготовка порошков к прессованию. Процессы, происходящие при прессовании. Основные стадии процесса прессования порошковых тел.
6. Методы формования изделий на основе порошков. Основные принципы, схемы и параметры процессов. Достоинства и недостатки, области применения.
7. Изостатическое формование. Шликерное формование. Мундштучное и инжекционное формование. Горячее прессование.
8. Особенности формования ультрадисперсных порошков.
9. Общие принципы технологии производства карбидов, нитридов, боридов и силицидов металлов.
10. Особенности получения высокодисперсных порошков.
11. Цели процесса спекания. Влияние дефектов кристаллической решетки на процесс спекания порошкового тела.
12. Зависимость усадки от продолжительности спекания. Особенности усадки порошковых тел при спекании. Активация процессов спекания.
13. Твердофазное спекание многокомпонентных систем. Объемные изменения при спекании.
14. Общая характеристика процесса жидкофазного спекания. Закономерности жидкофазного спекания. Стадии спекания. Технологические аспекты процесса жидкофазного спекания порошковых тел.
15. Технология получения порошковых жаропрочных и жаростойких материалов.
16. Технология получения высокопористых порошковых материалов.
17. Свойства порошковых изделий и методы их контроля.
18. Структура порошковых материалов и изделий.
19. Материалы и технология производства твердых сплавов.
20. Технология получения дисперсно-упрочненных материалов.
21. Композиционные материалы на основе тугоплавких соединений.
22. Методы получения композитов на полимерной основе
23. Керметы, дисперсно-упрочненные, волокнистые, многослойные и направленно закристаллизованные композиты.
24. Физико-химические основы процессов формирования покрытий
25. Технология и оборудование для нанесения покрытий.

#### Литература к части 3

1. Процессы порошковой металлургии: в 2 т. / Г.А. Либенсон, В.Ю. Лопатин, Г.В. Комарицкий. - М.: МИСиС, 2002.
2. Анциферов, В.Н. Порошковая металлургия и напыленные покрытия / В.Н. Анциферов, Г. В. Бобров, Л.К. Дружинин и др. Под ред. Б.С. Митина. - М.: Металлургия, 1987. - 792 с.
3. Материаловедение и технология металлов / Г.П. Фетисов и др. - 3-е изд. испр. и доп. - М.: Высшая школа. 2005. - 862 с.
4. Порошковая металлургия. Материалы, технологии, свойства, области применения: справ. / И. М. Федорченко, И. И. Францевич, и. д. Родомысльский и др. - Киев: Наукова думка, 1985. - 624 с.
5. Васильев В.В. Композиционные материалы: Справочник / В.В. Васильев,

- В.Д.Протасов, В.В. Болотин. - М.: Машиностроение, 1990.
6. Либенсон Г.А., Лопатин В.Ю., Комарницкий Г.В. Процессы порошковой металлургии. М.: Изд-во МИСиС, 2001.
  7. Попильский Р.Я., Пивинский Ю.Е. Прессование порошковых керамических масс. М.: Металлургия, 1983.
  8. Ивенсон В.А. Феноменология спекания и некоторые вопросы теории. М.: Металлургия, 1985.
  9. Андреева А.В. Основы физикохимии и технологии композитов. Учеб. пособие для вузов. - М.: ИПРЖР, 2001.
  10. Калита В.И., Комлев Д.И. Плазменные покрытия с нанокристаллической и аморфной структурой. М.: Лидер. 2008.
  11. Мэттьюз Ф., Роллингс Р. Композиционные материалы. Механика и технология : Учебное пособие для вузов / Пер. с англ. С.Л. Баженова, М.: Техносфера, 2004.
  12. Кудинов В.В., Иванов В.М. Нанесение в плазме тугоплавких покрытий. М.: Машиностроение. 1981.
  13. Колмаков А.Г., Алымов М.И., Баринов С.М. Основы технологий и применение наноматериалов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. – 208 с.
  14. Технологии конструкционных наноструктурных материалов и покрытий / П.А. Витязь, А.Ф. Ильющенко, М.Л. Хейфиц, С.А. Чижик, К.А. Солнцев, А.Г. Колмаков, М.И. Алымов, С.М. Баринов; под общ. Ред. П.А. Витязя и К.А. Солнцева. – Минск: Беларус. Навука, 2011. – 283 с.

## Часть 4. Metallургия черных, цветных и редких металлов

1. Железорудные минералы. Требования к качеству железных руд. Принципы металлургической и экономической оценки рудного сырья. Факторы, определяющие рентабельность промышленной переработки руды.
2. Требования, предъявляемые к доменному топливу. Процесс производства кокса, устройство коксовых печей (батарей), технология коксохимического производства. Качество доменного кокса: технический анализ, физические и механические свойства. «Заменители» кокса в доменной плавке: природный газ, коксовый газ, мазут, пылеугольное топливо, их состав и характеристика.
3. Восстановление оксидов железа. Прямое и косвенное восстановление. Влияние соотношения степеней прямого и косвенного восстановления на расход кокса в доменной плавке. Восстановление оксидов железа водородом. Восстановление в доменной печи марганца, кремния, фосфора и других элементов. Факторы, способствующие или затрудняющие восстановление этих элементов.
4. Источники поступлений серы в доменную печь, ее поведение в различных зонах печи. Распределение серы между чугуном, шлаком и газом. Основная реакция перехода серы из чугуна в шлак. Факторы, способствующие протеканию этой реакции. Внедоменная десульфурация чугуна.
5. Доменная печь. Профиль рабочего пространства. Фундамент. Огнеупорная футеровка. Охлаждение печи. Устройство леток и фурменных приборов. Засыпный и распределительный аппараты. Устройства для загрузки шихтовых материалов в печь.
6. Окисление примесей сталеплавильной ванны. Термодинамика окисления углерода. Концентрация углерода и кислорода в стальной ванне в процессе плавки. Кинетика окисления углерода. Термодинамика окисления кремния, марганца и хрома. Физико-химические основы окисления фосфора и удаления серы.
7. Термодинамика раскисления стали. Раскислительная способность отдельных раскислителей. Зависимость активности кислорода от концентрации раскислителя. Раскисление комплексными раскислителями.
8. Реакционная зона конвертера сталеплавильного производства, ее температурный режим, окислительные процессы в реакционной зоне, роль реакционной зоны в процессах шлакообразования, теплообмен в реакционной зоне.
9. Современное состояние и перспективы развития электросталеплавильного производства. Основные условия обезуглероживания. Обезуглероживание высокохромистых и высокомарганцовистых расплавов. Особенности получения слабонизкоуглеродистых сталей в дуговой печи внепечными методами.
10. Общие принципы извлечения меди, никеля, свинца, цинка из руд и концентратов.
11. Разновидности отражательной плавки. Целесообразность предварительного обжига концентратов перед плавкой. Преимущества и недостатки переработки конвертерных шлаков в отражательной печи.
12. Огневое и электролитическое рафинирование меди. Теоретические основы. Переработка анодных шламов. Практика процессов.
13. Способы подготовки окисленных никелевых руд к плавке в шахтных печах. Их преимущества и недостатки. Реакции, протекающие по высоте шахты печи и во внутреннем горне.
14. Агломерирующий обжиг свинцовых концентратов. Восстановительная плавка свинцового агломерата. Химизм процесса. Поведение свинца и металлов-спутников при плавке.
15. Пирометаллургические методы получения цинка из огарка. Электротермия цинка. Особенности выплавки цинка в шахтных печах.
16. Извлечение благородных металлов амальгамацией. Теоретические основы и технология процесса цианирования благородных металлов.

17. Техника электролитического получения магния. Конструкции электролизеров.
18. Переработка бокситов гидрохимическим способом. Принципиальная технологическая схема способа Байера.
19. Получение глинозема способом спекания из бокситов. Принципиальная технологическая схема способа спекания.
20. Теория электролиза криолитоглиноземных расплавов. Механизмы катодного и анодного процессов. Конструкция электролизера.
21. Вольфрам и молибден. Способы разложения рудных концентратов. Производство чистых трехоксидов молибдена и вольфрама. Механизм восстановления трехоксидов вольфрама и молибдена водородом.
22. Тантал и ниобий. Обзор и сопоставление способов разложения рудных концентратов различного типа (танталит-колумбит, лопарит, пирохлор). Основы способов разделения тантала и ниобия.
23. Титан, цирконий и гафний. Основы современной технологии производства четыреххлористого титана.
24. Физико-химические основы способов вскрытия циркониевых концентратов. Способы разделения циркония и гафния.
25. Основы процессов получения редкоземельных металлов высокой чистоты. Варианты технологических схем переработки моноцитовых концентратов с получением соединений редкоземельных металлов и тория.

#### **Литература к части 4**

1. Зеликман А.Н., Коршунов Б.Г. Металлургия редких металлов. Учебник для вузов. М.: Metallurgy, 1991.
2. Зайцев В.Я., Мергулис Е.В. Металлургия свинца и цинка. Учебн. пособие для вузов М.: Metallurgy, 1985.
3. Вегман Е.Ф. Теория и технология агломерации. М.: Metallurgy, 1974.
4. Ванюков А.В., Уткин Н.И. Комплексная переработка медного и никелевого сырья. Учебник для вузов. Челябинск: Metallurgy, 1988.
5. Вольдман Г.М., Зеликман А.Н. Теория гидрметаллургических процессов. М.: Metallurgy, 1993.
6. Гасик М.И., Лекишев Н.П. Теория и технология электрометаллургии ферросплавов. Учебник для вузов. М.: Интермет-Инжиниринг, 1999.
7. Глинков М.А., Глинков Г.М. Общая теория тепловой работы печей. М.: Metallurgy, 1990.
8. Григорян В.А., Белянчиков Л.Н., Стомахин Л.Я. Теоретические основы электросталеплавильных процессов. М.: Metallurgy, 1987
9. Доменное производство: Справочник. Т. 1 / Под ред. Е.Ф. Ветмана. М.: Metallurgy, 1989.
10. Карабасов Ю.С., Чижикова В.М. Физико-химия восстановления железа из оксидов. М.: Metallurgy, 1986.
11. Котляр Ю.А., Меретуков М.А., Стрижко Л.С. Металлургия благородных металлов. Учебник для вузов в 2 кн. М.: МИСиС: Руда и металлы, 2005.
12. А.И. Лайнер, Н.И. Еремин, Ю.А. Лайнер, И.З. Певзнер Производство глинозема – М.: Metallurgy, 1978.
13. Левин А.И. Электрохимия цветных металлов. М.: Metallurgy, 1982
14. Масленицкий И.Н., Чугаев Л.В. Металлургия благородных металлов М.: Metallurgy, 1987.
15. Металлургия стали. Учебник для вузов / Под ред. В.И. Явойского и Г.Н. Ойса. М.: Metallurgy, 1973.
16. Металлургия чугуна. Учебник для вузов / Е.Ф. Вегман., Б.Н. Жеребин, А.Н.

Похвиснев и др. М.: Металлургия, 1989.

17. Николаев И.В., Москвитин В.И., Фомин Б.А. Металлургия легких металлов. Учебник для вузов. М.: Металлургия, 1997.

18. Поволоцкий Д.Я., Кудрин В.А., Вишкарев А.Ф. Внепечная обработка стали. Учебник для вузов. М.: Изд-во МИСиС, 1995.

19. Писи Дж.Г., Давенпорт В.Г. Доменный процесс. Теория и практика. М.: Металлургия, 1984.

20. Рысс М.А. Производство ферросплавов. М.: Металлургия 1985.

21. Теория и технология электрометаллургических процессов / Ю.В. Борисоглебский, М.М. Ветюков, В.И. Москвитин, С.Н. Школьников; Под ред. М.М. Ветюкова. М.: Металлургия, 1994.

22. Теплотехника металлургического производства. Т 1. Теоретические основы/ В.А. Кривандин, В.А. Арутюнов, В.В. Белоусов и др. М.: Изд-во МИСиС, 2002.

23. Теплотехника металлургического производства. Т. 2. Конструкция и работа печи / В.А. Кривандин, В.В. Белоусов, Г.С. Сборщиков и др. М.: Изд-во МИСиС, 2002.

24. Техническая термодинамика / В.И. Лобанов, Г.П. Ясников, Я.М. Гордон, А.С. Телегин. М.: Металлургия, 1992.

25. Юсфин Ю.С., Гиммельфарб А.А., Пашков А.Ф. Новые процессы получения металла. Металлургия железа. Учебник для вузов. М.: Металлургия, 1994.

26. Явойский В.И. Теория процессов производства стали. М.: Металлургия, 1985.

27. Баймаков Ю.В., Журин А.И. Электролиз в гидрометаллургии. М.: Металлургия, 1982.

## Часть 5. Обработка металлов давлением

1. Процессы, происходящие при нагреве наклепанного металла: возврат, полигонизация, рекристаллизация. Диаграммы рекристаллизации.
2. Простейшие реологические модели. Условия пластичности.
3. Экспериментальные исследования процессов ОМД. Методы определения деформаций и напряжений. Метод координатных сеток, тензометрия. Границы применимости экспериментальных методов, их точность и чувствительность.
4. Теория продольной прокатки на гладкой бочке. Очаг деформации, совокупность параметров, описывающих его геометрию. Условия захвата полосы валками. Трение при захвате и установившемся процессе прокатки. Влияние технологических и конструктивных параметров на условия захвата полосы валками.
5. Контактные напряжения при прокатке (плоская задача). Дифференциальное уравнение контактных напряжений. Контактное напряжение в очаге деформации при постоянном значении коэффициента трения. Экспериментальные исследования распределения контактных напряжений и их зависимость от параметров процесса.
6. Основы процесса прокатки в калибрах. Внеконтактная деформация и понятие средней вытяжки в калибрах. Неравномерность деформации при прокатке в калибрах. Влияние формы калибра и раската на формоизменение и напряженное состояние металла. Распределение контактных напряжений в очаге деформации. Расчет среднего давления и усилий прокатки в калибрах.
7. Основы производства сварных труб. Способы формовки трубной заготовки. Кинематические условия и энергосиловые параметры при прямошовной формовке. Продольная деформация заготовки при валковой формовке.
8. Теория волочения. Разновидности процесса волочения, деформационные показатели. Напряженно-деформированное состояние металла. Особенности контактного трения при волочении. Предельное и оптимальное значение коэффициента вытяжки при волочении.
9. Теория прессования. Сущность и разновидности процессов прессования. Закономерности течения металла при прессовании прутков, профилей труб и напряженно-деформированное состояние металла. Температурные условия процессов прессования. Особенности трения при прессовании. Силовые условия процессов прессования.
10. Основы теории ковки. Геометрические параметры очага деформации для различных процессов ковки, их влияние на распределение напряжений и деформаций при протяжке, осадке, прошивке, разгонке и др. Напряжения и деформации при ковке плоскими, комбинированными и вырезными бойками. Особенности трения на поверхности контакта инструмента с металлом. Скольжение, торможение и застой на поверхности контакта.
11. Зоны деформации при осадке цилиндрических заготовок плоскими бойками. Неравномерность деформации при осадке. Напряженное состояние металла при осадке. Расчет контактных напряжений и усилий при осадке и вытяжке.
12. Теория объемной штамповки. Характеристика разновидностей объемной штамповки. Напряженно-деформированное состояние в процессах объемной штамповки. Стадии объемной штамповки. Анализ течения металла в штампе.
13. Листовая штамповка и формовка. Особенности деформирования металла при операциях листовой штамповки (разделительных и формообразующих). Анализ напряженно-деформированного состояния металла в различных процессах листовой штамповки. Методы расчета усилий, напряжений и деформаций. Формовка. Очаг деформирования и анализ напряженно-деформированного состояния. Расчет усилий и деформаций при формовке.
14. Технология прокатного производства. Профильный и марочный сортамент прокатного производства черных и цветных металлов. Способы производства слитков и заготовок. Технология нагрева исходных материалов перед прокаткой и охлаждения после

прокатки. Системы вытяжных калибров, их характеристика и методики расчета. Калибровка валков для прокатки блюмов и заготовок простых и фасонных сортовых профилей.

15. Основные технологические схемы и оборудование для производства полупродукта, крупносортной, среднесортной, мелкосортной стали и катанки, горячекатаного и холоднокатаного листа, гнутых и фасонных холоднокатаных профилей. Особенности производства специальных профилей проката (периодические профили, колеса, бандажи, кольца, шары и т.д.)

16. Совмещенные технологические процессы в производстве листовой и сортовой продукции. Технологические особенности прокатки непрерывнолитого металла.

17. Характеристика качества продукции прокатного производства, схемы технологических процессов отделки исходных материалов и готовой продукции. Контроль качества, способы удаления дефектов. Технологические операции придания дополнительных служебных свойств прокату (термообработка, нанесение покрытий и т.д.).

18. Технология производства бесшовных труб. Сортамент и методы испытаний стальных труб. Характеристика основного оборудования и технологий производства трубных заготовок. Прошивка заготовок. Раскатка гильз в черновые (передельные) трубы. Калибрование и редуцирование труб. Производство труб на различных трубопрокатных агрегатах.

19. Основы технологии производства сварных труб. Общая характеристика технологического процесса, основные операции процесса. Методы сварки труб: ТВЧ, печная, электронно-лучевая сварка труб, сварка труб плазменной дугой и др. Качество сварных труб.

20. Технология волочильного производства. Сортамент и основные требования к продукции. Технологический процесс и основное оборудование для производства прутков, труб, проволоки, калиброванного металла и фасонных профилей волочением.

21. Технология прессования. Типовые технологические схемы производства прессованных полуфабрикатов и изделий. Разновидности процесса прессования по условиям контактного взаимодействия заготовки с инструментом, температурным условиям и типу инструмента и инструментальных комплектов. Способы получения пресс-изделий различных типов. Особенности прессования различных металлов и сплавов.

22. Технология ковки. Заготовки для ковки: слитки, непрерывно-литые и прокатанные заготовки, их макростроение (геометрические модели). Нагрев металла перед ковкой; математические модели теплового состояния слитков и заготовок, типы тепловых полей. Основные типы агрегатов для ковки: интегрированные и автоматизированные комплексы, радиально-обжимные машины. Потoki и схемы пластического течения металла при ковке, способы их регулирования. Деформационные возможности металла при ковке, способы их регулирования. Разновидности операций ковки, оборудования и режимы отделки, методы управления и контроля за качеством продукции ковочного производства.

23. Технология объемной штамповки. Сортамент продукции и характеристика исходных заготовок. Технологические процессы объемной штамповки. Разработка стадий технологического процесса объемной штамповки. Технология листовой штамповки и формовки. Сортамент продукции и характеристика исходных материалов. Технологические процессы листовой штамповки и формовки, области применения и классификация изделий. Технологическая оснастка: эксплуатация и применение смазочно-охлаждающих жидкостей.

24. Производство полуфабрикатов и изделий из порошковых материалов методами прокатки, прессования (экструзии), обработки взрывом, газостатического прессования. Особенности воздействия давлением на обрабатываемый материал. Температурно-скоростные условия деформации, неравномерность деформаций влияния среды обработки на свойства материала.



25. Получение композиционных материалов (слоистых, волокнистых, дисперсно-упрочненных) с использованием процессов прокатки и прессования. Схемы технологических процессов, анализ напряженно-деформированного состояния материала, силовые параметры процессов. Качество продукции.

### Литература к части 5

1. Колмогоров В.Л. Механика обработки металлов давлением: Учебник для вузов. М.: Металлургия, 1986. (1-е изд.); 688с., Екатеринбург: УГТУ — УПИ. 2001. (2-е изд.).
2. Горомов Н.П. Теория ОМД. Учебник для вузов, М.: Металлургия, 1967, 340 с.
3. Суворов И.К. Обработка металлов давлением. Учебник для вузов, М.: Высшая школа, 1973, 382 с.
4. Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением. Учебник для вузов. Изд. 3-е, М.: Машиностроение, 1971, 424 с.
5. Иванов И.И., Соколов А.В., Соколов В.С., Шелест А.Е. «Теория обработки металлов давлением». Учебное пособие. М., МАТИ, 2006г. –186с.
6. Гун Г.Я. Теоретические основы обработки металлов давлением (теория пластичности): Учебник для вузов. М.: Металлургия, 1980,
7. Полухин П.И., Горелик С.С., Воронцов В.К. Физические основы пластической деформации: Учебное пособие для вузов. М.: Металлургия, 1982.
8. Шевакин А.Ф., Чернышев В.Н., Шаталов Р.Л., Мочалов Н.А. Обработка металлов давлением. М.: Интермет Инжиниринг. 2005, 492 с.
9. Чиченев Н.А., Кудрин А.Б., Полухин П.И. Методы исследования процессов обработки металлов давлением. Учебное пособие для вузов, М.: Металлургия, 1977, 311 с
10. Целиков А.И., Никитин Г.С., Рокотян С.Е. Теория продольной прокатки: Учебник для вузов. М.: Металлургия, 1980.
11. Охрименко Я.М., Тюрин В.А. Теория процессовковки: Учебное пособие для вузов. М.: Высш. школа. 1977.
12. Перлин И.Л., Райтбарт Л.Х. Теория прессования металлов: Учебник для вузов. М.: Металлургия, 1975.
13. Романцев Б.А., Гончарук А.В., Вавилкин Н.Н., Самусев С.В. Обработка металлов давлением. Учебник для вузов. М.: МИСиС, 2008, 959 с.

## ПРИМЕР ЭКЗАМЕНАЦИОННОГО БИЛЕТА

**Вопрос 1.** Основные типы химической связи в твердых телах. Потенциалы межатомного взаимодействия Энергия связи металлических, ковалентных, ионных кристаллов. Равновесное межатомное расстояние

**Вопрос 2.** Упрочнение при образовании твердых растворов и при выделении избыточных фаз (когерентных и некогерентных). Влияние размера зерна на механические свойства. Сверхпластичность.

**Вопрос 3.** *Вопрос на выбор поступающего:*

А) Закалка на мартенсит. Термодинамика, механизм и кинетика мартенситного превращения. Микроструктура и субструктура мартенсита.

Б) Особенности формования ультрадисперсных порошков

В) Доменная печь. Профиль рабочего пространства. Фундамент. Огнеупорная футеровка. Охлаждение печи. Устройство леток и фурменных приборов. Засыпный и распределительный аппараты. Устройства для загрузки шихтовых материалов в печь

Г) Характеристика качества продукции прокатного производства, схемы технологических процессов отделки исходных материалов и готовой продукции. Контроль качества, способы удаления дефектов. Технологические операции придания дополнительных служебных свойств прокату (термообработка, нанесение покрытий и т.д.)