

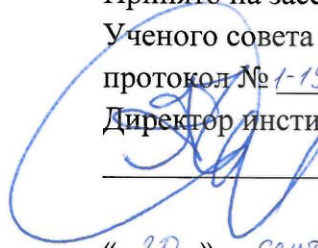
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«МИСиС»

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель Председателя
приемной комиссии


_____/ А.А. Волков
« 30 » _____ 09 2019 г.



Принято на заседании
Ученого совета института ЭкоТех
протокол № 1-19/20 от 2019 г.
Директор института ЭкоТех
_____/ А.Я. Травянов


« 20 » _____ сентября 2019 г.

**ПРОГРАММА
ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ ДЛЯ ПОСТУПАЮЩИХ
НА ОБУЧЕНИЕ ПО ПРОГРАММАМ ПОДГОТОВКИ НАУЧНО-
ПЕДАГОГИЧЕСКИХ КАДРОВ В АСПИРАНТУРЕ
ПО НАПРАВЛЕНИЮ ПОДГОТОВКИ
22.06.01 ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ**

Москва 2019

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА | 4 |
| ЧАСТЬ 1. ИНЖИНИРИНГ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЙ | 6 |
| РЕКОМЕНДОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА | 10 |
| ЧАСТЬ 2. МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ | 13 |
| РЕКОМЕНДОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА | 15 |
| ЧАСТЬ 3. СПЛАВЫ С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ. ПРОИЗВОДСТВО ИЗДЕЛИЙ С НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫМ СОСТОЯНИЕМ | 17 |
| ЧАСТЬ 4. ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ | 22 |
| РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА | 25 |
| ЧАСТЬ 5. ТЕОРИЯ ПИРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ | 27 |
| РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА | 28 |
| ЧАСТЬ 6. МЕТАЛЛУРГИЯ ЦВЕТНЫХ, РЕДКИХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ | 29 |
| РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА | 32 |
| ЧАСТЬ 7. ТЕХНОЛОГИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ | 33 |
| РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА | 35 |
| ЧАСТЬ 8. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ И НАНОСТРУКТУРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ | 37 |
| РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА | 38 |
| ЧАСТЬ 9. МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ ЦВЕТНЫХ И ДРАГОЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ | 40 |
| РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА | 47 |
| ЧАСТЬ 10. ЛИТЕЙНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ | 48 |
| РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА | 52 |
| ЧАСТЬ 11. ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ В РАЗЛИЧНЫХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ АГРЕГАТАХ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ В РАЗЛИЧНЫХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ АГРЕГАТАХ | 55 |
| ЧАСТЬ 12. ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ И КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ | 56 |
| РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА | 59 |
| ЧАСТЬ 13. ТЕПЛОФИЗИКА И ЭКОЛОГИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА | 62 |
| РЕКОМЕНДОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА | 67 |
| ЧАСТЬ 14. ЭКСТРАКЦИЯ ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ | 69 |
| РЕКОМЕНДОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА | 71 |
| ЧАСТЬ 15. МЕТАЛЛУРГИЯ ВТОРИЧНЫХ РЕСУРСОВ | 73 |
| РЕКОМЕНДОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА | 76 |
| ЧАСТЬ 16. ТЕРМОХИМИЯ МАТЕРИАЛОВ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ | 78 |
| РЕКОМЕНДОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА | 81 |

| | |
|----------------------------------|----|
| ЧАСТЬ 17. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ..... | 83 |
| РЕКОМЕНДОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА | 90 |

1. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цель вступительного испытания – оценка уровня освоения поступающим компетенций, необходимых для обучения в аспирантуре по направлению 22.06.01 «Технологии материалов».

Форма, продолжительность проведения вступительного испытания. Критерии оценивания.

Минимальное количество баллов по результатам вступительных испытаний по направлению 22.06.01 «Технологии материалов», подтверждающее успешное прохождение вступительного испытания, составляет 40 баллов по всем условиям поступления.

Вступительные испытания по направлению 22.06.01 «Технологии материалов» состоят из двух частей: письменный экзамен и собеседование. Для прохождения собеседования поступающий должен предоставить план-проспект диссертационной работы и мотивационное письмо (1000–1500 слов), отражающее причины выбора НИТУ «МИСиС» и соответствующей программы подготовки.

Вступительные испытания по направлению 22.06.01 «Технологии материалов» оцениваются по 100-балльной шкале.

Продолжительность письменного экзамена – 120 минут.

Собеседование проводится с ведущими учёными направления, которые оценивают мотивированность абитуриента и его план будущей работы. Максимально возможное количество баллов, которое может получить абитуриент на собеседовании – 50.

Перечень принадлежностей, которые поступающий имеет право использовать во время проведения вступительного испытания: ручка, карандаш, ластик, непрограммируемый калькулятор.

Программа поступления в аспирантуру по направлению 22.06.01 «Технологии материалов» базируется на дисциплине, которая состоит из самостоятельных частей:

1. Инжиниринг металлургического оборудования и технологий
2. Металловедение цветных металлов и сплавов
3. Сплавы с памятью формы. Производство изделий с наноструктурированным состоянием
4. Обработка металлов давлением
5. Теория пирометаллургических процессов
6. Металлургия цветных, редких и благородных металлов
7. Технология минерального сырья

8. Функциональные и наноструктурные материалы
9. Металловедение цветных и драгоценных металлов
10. Литейные технологии и перспективные материалы
11. Теория и технология получения металлов и сплавов в различных металлургических агрегатах. Математическое моделирование процессов получения металлов и сплавов в различных металлургических агрегатах
12. Порошковая металлургия и композиционные материалы
13. Теплофизика и экология металлургического производства
14. Экстракция чёрных металлов
15. Металлургия вторичных ресурсов
16. Термохимия материалов и термодинамическое моделирование
17. Материаловедение

Дисциплина носит как теоретическую, так и практическую направленность в области современных технологий получения материалов, исследования их свойств и оборудования металлургического производства.

ЧАСТЬ 1. ИНЖИНИРИНГ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЙ

Раздел 1. Теория обработки металлов давлением

1.1 Строение металлов. Упругая и пластическая деформация монокристаллов и поликристаллов.

1.2 Напряженное состояние в точке. Схемы напряженного и деформированного состояния. Оценки степени деформации.

1.3 Холодная деформация; образование текстуры, упрочнение.

1.4 Горячая деформация; возврат и рекристаллизация.

1.5 Влияние температуры и скорости деформации на пластические свойства металлов, сопротивление деформированию и структуру. Сверхпластичность.

1.6 Тензоры напряжений, деформаций, их инвариантные характеристики. Круги Мора для напряжений и деформаций.

1.7 Условия сплошности материала. Соотношения между напряжениями и относительными деформациями при упругой и пластической деформации.

1.8 Обобщенный закон Гука. Условия пластичности.

1.9 Частные случаи напряженно-деформированного состояния: плоская деформация, плоское напряженное состояние.

1.10 Механизм контактного трения в различных процессах обработки металлов давлением. Роль технологических смазок,

1.11 Дифференциальные уравнения равновесия в прямоугольных и цилиндрических координатах.

1.12 Совместное решение приближенных уравнений равновесия и уравнений пластичности.

1.13 Понятие об энергетическом методе решения задач пластической деформации.

1.14 Основы теории и дифференциальные уравнения различных процессов: осадка, прошивка, объемная штамповка, прессование, прокатка листов и ленты, волочение.

1.15 Расчет деформирующих усилий в различных процессах обработки металлов давлением.

1.16 Феноменологические теории разрушения в процессах обработки металлов давлением.

1.17 Понятие о степени использования запаса пластичности деформируемого, металла. Показатели предельной пластичности.

1.18 Основы экспериментальных методов определения усилий деформирования,

крутящих моментов, контактных сил трения, напряжений и деформаций.

Раздел 2. Машины и агрегаты обработки металлов давлением

2.1 Оборудование прокатных цехов

2.2 Назначение и классификация прокатных станов. Устройство рабочей линии стана.

2.3 Рабочие клетки, валки, подшипники и подушки валков.

2.4 Механизмы для установки и уравнивания валков, проводки, шпинделя и муфты, шестеренные клетки и редукторы, главный электродвигатель.

2.5 Системы жидкой и густой смазки; системы охлаждения прокатных станов.

2.6 Определение мощности двигателей прокатных станов по величине усилия, действующего на валки, и по расходу энергии.

2.7 Состав оборудования, принцип действия и основные характеристики современных обжимных и заготовочных станов.

2.8 Листовые станы горячей и холодной прокатки.

2.9 Сортовые станы, профилегибочные и деталепрокатные станы.

2.10 Волоочильные и калибровочные станы; многовалковые станы; планетарные станы.

2.11 Конструкция ножниц с параллельными и наклонными ножами.

2.12 Летучие и дисковые ножницы, дисковые пилы.

2.13 Определение усилия резания. Конструкция и основы расчета листопрямильных, сортопрямильных машин.

2.14 Конструкции моталок и разматывателей.

2.15 Общая характеристика машин и агрегатов для отделки проката. Дрессировочные станы; основы расчета усилий дрессировки.

2.16 Агрегаты нанесения металлических защитных покрытий.

2.17 Агрегаты нанесения неметаллических защитных покрытий.

2.18 Агрегаты термической обработки проката.

2.19 Оборудование и основы технологии термомеханической обработки металла в потоке стана.

2.20 Особенности толстолистовых и широкополосовых станов для контролируемой прокатки металла.

2.21 Совмещенные непрерывные агрегаты «МНЛЗ — прокатный стан».

2.22 2.2. Оборудование для производства труб

2.23 Назначение и принцип действия прошивного, автоматического, непрерывного, пилигримового, раскатного стана винтовой прокатки, редукционного стана.

2.24 Станы холодной прокатки, волочения, агрегаты - прессования труб.

2.25 Оборудование и основы технологии радиально-сдвиговой прокатки круглых заготовок.

2.26 Способы изготовления сварных труб. Назначение и конструкция агрегатов непрерывной печной сварки и электросварки труб.

2.27 Оборудование кузнечно-прессового производства

2.28 Конструкция и основные параметры гидравлических прессов. Привод гидравлических прессов. Виды и расчет мощности насосов. Распределительные устройства, гидравлические сети и арматура.

2.29 "Типовые схемы и цикл работы паровоздушных ковочных и штамповочных молотов. Определение основных технологических параметров. Особенности конструкции высокоскоростных молотов.

2.30 Назначение и принцип действия кривошипного пресса. Разновидности механических прессов по конструктивному признаку. Расчет основных параметров электропривода.

Раздел 3. Технологический инструмент обработки металлов давлением

3.1 Понятие о надежности, ресурсе и гарантийном сроке службы инструмента.

3.2 Выбор материала инструмента. Технология изготовления инструмента.

3.3 Остаточные напряжения. Учет температурных и силовых условий эксплуатации инструмента.

3.4 Расчет контактных и тепловых напряжений в валках прокатных станов.

3.5 Видоизменение инструмента в процессе эксплуатации износ, деформация, разрушение.

3.6 Составной инструмент. Способы восстановления служебных свойств инструмента.

3.7 Резервы повышения стойкости инструмента.

3.8 Способы упрочнения и восстановления инструмента.

3.9 Лазерное упрочнение, наплавка и поверхностное легирование технологического инструмента.

3.10 Наплавка прокатных валков.

3.11 Центробежное литье прокатных валков.

Раздел 4. Основы расчета машин и агрегатов обработки металлов давлением

4.1 Кинематика типовых исполнительных механизмов машин дискретного и непрерывного действия для обработки металлов давлением (прессов; ковочных машин, ножниц, прокатных станов).

4.2 Виды фрикционных связей и законы трения. Влияние скоростей скольжения и нагрузок на условия трения. Механизм действия смазок. Износ при трении.

4.3 Антифрикционные и фрикционные материалы, применяемые в узлах машин обработки металлов давлением.

4.4 Допускаемые напряжения и запасы прочности при статических и переменных напряжениях.

4.5 Испытания конструкционных материалов на растяжение и сжатие. Определение твердости, ударной вязкости, жаропрочности.

4.6 Теории прочности.

4.7 Усталостная прочность. Факторы, влияющие на предел выносливости. Масштабный фактор.

4.8 Концентрация напряжений. Теоретический и эффективный коэффициенты концентрации напряжений.

4.9 Расчеты напряжений и деформаций в деталях и узлах.- Основные положения расчета, на прочность и жесткость плоских и пространственных рам (применение к расчетам станин, прессов, станин клетей прокатных станов).

4.10 Расчеты круглых валов, подвергаемых изгибу с кручением (применение к расчетам на прочность и жесткость коленчатых валов кривошипных прессов и валков прокатных станов).

4.11 Расчеты сжатых стержней на устойчивость и определение критической силы (применение к расчетам шатунов, предварительно-напряженных станин прессов и рабочих клетей прокатных станов).

4.12 Расчет напряжений и деформаций в толстостенных цилиндрах под действием внутреннего давления (применение к расчетам прокатных валков и рабочих цилиндров гидравлических прессов).

4.13 Понятие о приспособляемости узлов и деталей машин к условиям работы без повреждений. Приспособляемость при теплосменах и внешнем нагружении.

4.14 Методы расчета динамических нагрузок в деталях и узлах машин.

Раздел 5. Надежность и техническая диагностика машин и агрегатов обработки металлов давлением

5.1 Основные понятия теории надежности. Надежность элемента. Основные типы распределений, используемых в теории надежности. Восстанавливаемые и стареющие элементы.

5.2 Надежность системы. Невосстанавливаемые системы с независимыми элементами. Модели зависимости между элементами. Системы с резервированием и восстановлением. Модели марковского типа.

5.3 Расчеты надежности оборудования обработки металлов давлением.

5.4 Причины отказов и неисправностей оборудования.

5.5 Задачи технической диагностики. Место технической диагностики в системе мер по повышению надежности оборудования. Применение технической диагностики при организации ремонтного обслуживания машин и агрегатов.

5.6 Основные понятия технической диагностики. Объекты диагноза. Модели непрерывных объектов.

5.7 Выбор параметров диагностирования оборудования. Диагностическая ценность признака. Алгоритм диагностирования. Методы распознавания состояния объекта, идентификации неисправностей.

5.8 Основные методы технической диагностики механических систем, их классификация.

5.9 Виброакустическая диагностика. Виброакустический сигнал. Приборы и методы измерения анализа. Систем виброакустической диагностики технического состояния оборудования (редукторов, подшипников).

5.10 Техническая диагностика по изменению физико-механических параметров. Диагностика по маслу, по температурному состоянию деталей.

5.11 Основные методы дефектоскопии: визуально-оптические, магнитные, рентгеновские, ультразвуковые и др.

5.12 Прогнозирование ресурса машин и агрегатов на стадии эксплуатации.

5.13 Мероприятия по повышению надежности и долговечности оборудования и их эффективность.

РЕКОМЕНДОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Биргер И. А. Техническая диагностика. — М.: Машиностроение, 1978. — 240 с.

2. Болотин В. В. Прогнозирование ресурса. — М.: Наука, 1984.
3. Детали машин и основы конструирования: Учебник / Под ред. С.М. Горбатюка. - М.: Изд. дом МИСиС, 2014. – 377 с.
4. Живов Л.И., Овчинников А.Г., Складчиков Е.Н. Кузнечно-штамповочное производство: Учебник для вузов. – М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2006. – 560 с.
5. Жиркин Ю.В. Надежность, эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт металлургических машин: Учебник. - Магнитогорск: МГТУ, 2002. - 330 с.
6. Жиркин Ю.В. Основы теории трения и изнашивания (основы триботехники): Учебное пособие. - Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2007. - 95 с.
7. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. Технологические процессы лазерной обработки: Учебное пособие. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2008,. – 664 с.
8. Колмогоров В. Л. Напряжения, деформация, разрушение. — М.: Металлургия, 1970.
9. Лазерное упрочнение технологического инструмента обработки металлов давлением / Н.А. Чиченев, С.А. Иванов, С.М. Горбатюк, А.Н. Веремеевич. - М.: Изд. дом МИСиС, 2013. – 166 с.
10. Лукашкин Н.Д., Кохан Л.С., Якушев А.М. Конструкция и расчет машин и агрегатов металлургических заводов: учебник для вузов. — М.: ИКЦ Академкнига, 2003. — 456 с.
11. Машиностроение. Энциклопедия. Том IV. Машины и агрегаты металлургического производства / Н.В.Пасечник, В.М.Синицкий, В.Г.Дрозд и др. – М.: Машиностроение, 2000. – 912 с.
12. Машины и агрегаты металлургических заводов. В 3-х томах. Том 3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката. Учебник для вузов / А.И. Целиков, П.И. Полухин, В.М. Гребеник и др. - М.; Металлургия, 1988. - 680 с.
13. Механическое оборудование заводов цветной металлургии. Учебник для вузов в 3-х частях. Часть 3. Механическое оборудование цехов по обработке цветных металлов. / Королев А.А., Навроцкий А.Г., Вердеревский В.А.и др. - М.: Металлургия, 1988. - 392 с
14. Охрименко Я. М. Технология кузнечно-штамповочного производства. — М.: Машиностроение, 1976.
15. Полухин П. И., Николаев В. А., Полухин В. П., Толпеева Н. М. Прочность валков. — Алма-Ата: Наука, 1984.
16. Прокатное производство / П.И. Полухин, Н.М. Федосов, А.А Королев, Ю.М. Матвеев. — М.: Металлургия, 1981.–696 с.

17. Потапов И.Н., Полухин П.И. Новая технология винтовой прокатки. — М.: Металлургия, 1975.
18. Проников А. С. Надежность машин. — М.: Машиностроение. 1978. — 592 с.
19. Процесс прокатки / М.А. Зайков, В.П. Полухин, А.М. Зайков, Л.Н. Смирнов. — М.: МИСиС, 2004. — 640 с.
20. Сторожев М. В., Попов Е. А. Теория обработки металлов давлением. — М.: Машиностроение, 1977..
21. Теория механизмов и механика машин: Учебник для вузов / Под ред. К.В. Фролова. - М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2002. - 664 с.
22. Никитин Г. С. Теория непрерывной продольной прокатки. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2009. — 203 с.
23. Целиков А. И., Томленов А. Д., Зюзин В. И. и др. Теория прокатки. Справочник. — М.: Металлургия г. 1982.
24. Чиченев Н.А. Эксплуатация технологических машин: Учебник. - М.: Изд. дом МИСиС, 2014. — 324 с.
25. Шишко В.Б., Чиченев Г.А. Надежность технологического оборудования: Учебник. — М.: Изд. дом МИСиС, 2012. — 190 с.

ЧАСТЬ 2. МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Раздел 1. Фазы и фазовые равновесия

1.1 Типичные кристаллические решетки металлов. Кристаллографические плоскости и направления с наибольшей плотностью упаковки атомов в кубической и гексагональных решетках.

1.2 Твердые растворы замещения, внедрения и вычитания. Электронные соединения, фазы Лавеса, фазы внедрения.

1.3 Правило фаз. Диаграммы состояния двойных систем. Правило рычага. Диаграмма состояния железо-углерод.

1.4 Диаграммы состояния тройных систем, политермические и изотермические разрезы.

Раздел 2. Дефекты кристаллического строения

Классификация дефектов. Вакансии, подвижность вакансий и самодиффузия. Дислокации, взаимодействие дислокаций, поперечное скольжение и переползание. Дефекты упаковки. Сегрегации примесей на дислокациях и дефектах упаковки. Строение границ зерен и субзерен. Решетка узлов совпадения. Миграция границ, влияние на нее примесей и включений.

Раздел 3. Фазовые и структурные превращения в сплавах

3.1 Возврат и рекристаллизация. Первичная собирательная и вторичная-рекристаллизация. Динамическая рекристаллизация. Текстуры' рекристаллизации.

3.2 Кристаллизация расплава, гомогенное и гетерогенное зарождение кристаллов. Кривые Таммана. Макро- и микроструктура литого металла. Модифицирование. Ликвация. Эвтектическая кристаллизация, строение эвтектик. Бездиффузионная кристаллизация.

3.3 Зарождение при фазовых превращениях в твердом состоянии, взаимная ориентировка фаз, принцип структурного и размерного соответствия. Строение и механизм движения межфазной границы при росте кристаллов в твердом состоянии, сдвиговое и нормальное превращение. Особенности мартенситного превращения.

3.4 Фазовые переходы I и II рода. Упорядочение.

3.5 Фазовые превращения при нагреве, растворение частиц второй фазы, гомогенизация. Особенности превращений при быстром нагреве.

3.6 Фазовое состояние и микроструктура основных групп углеродистых и легированных сталей и чугунов. Микроструктура и применение сплавов на основе меди, алюминия, титана, магния, никеля.

Раздел 4. Физические свойства металлов

4.1 Классификация физических свойств по их структурной чувствительности.

4.2 Тепловые свойства. Термический анализ и его применение. Термическое расширение. Дилатометрическое исследование фазовых превращений.

4.3 Упругие свойства. Неупругость. Механизмы внутреннего трения. Применение метода внутреннего трения.

4.4 Магнитные и электрические свойства. Применение магнитных и электрических методов для изучения фазовых равновесий, изменений микроструктуры и превращений в сплавах.

Раздел 5. Механические свойства металлов

5.1 Упругая и пластическая деформация. Коэффициенты и модули упругости. Способы определения упругих констант. Системы скольжения в кубических и гексагональных металлах, Диаграммы деформации моно- и поликристаллов.

5.2 Механизмы пластической деформации. Теории упрочнения при деформации. Упрочнение в твердых растворах. Упрочнение второй фазы. Влияние границ зерен и субзерен на упрочнение в поликристалле. Зависимость механических свойств от состава в двойных системах.

5.3 Разрушение. Механизмы хрупкого и вязкого разрушения и строение изломов. Переход от вязкого разрушения к хрупкому. Хладноломкость. Стандартные методы механических испытаний. Испытания на растяжение и сжатие. Истинные диаграммы деформации. Испытания на изгиб и кручение — области применения. Характеристики твердости.

5.4 Ударная вязкость. Характеристики пластичности и вязкости разрушения. Конструктивная прочность.

5.5 Жаропрочность. Испытания на ползучесть и релаксацию напряжений. Механизмы деформации и разрушения при ползучести. Длительная прочность. Требования к структуре сплавов с высокой жаропрочностью. Усталость, структурные механизмы. Влияние среды на процессы разрушения.

Раздел 6. Основы термической обработки

Классификация видов термической обработки. Гомогенизационный отжиг. Дорекристаллизационный и рекристаллизационный отжиг. Отжиг для уменьшения остаточных напряжений. Закалка, старение и отпуск. Термомеханическая обработка. Химико-термическая обработка. Сущность и назначение каждого вида термической обработки, основные закономерности изменения структуры и свойств.

Раздел 7. Методы изучения микроструктуры и фазового состояния

7.1 Световая и электронная микроскопия (растровая и просвечивающая). Методы локального химического анализа.

7.2 Рентгенографический и электроннографический фазовый анализ.

Раздел 8. Кристаллизация и строение литых сплавов

8.1 Дендритная ликвация. Анализ неравновесной кристаллизации в двойных системах с непрерывным рядом твердых растворов и эвтектического типа. Бездиффузионная кристаллизация.

8.2 Эвтектическая кристаллизация. Строение эвтектических колоний.

Раздел 9. Цветные металлы и сплавы

9.1 Алюминий, магний, титан, медь, никель, цинк, свинец, олово; их структура, свойства и области применения.

9.2 Характеристика основных групп промышленных цветных сплавов на основе алюминия, магния, титана, меди, никеля, цинка, свинца и олова. Особенности химического и фазового состава и термической обработки, свойства, маркировка по ГОСТу и области применения.

Раздел 10. Тугоплавкие металлы и сплавы

Особенности строения и свойства тугоплавких металлов. Взаимодействие с окружающей средой. Проблема хладноломкости. Направления легирования и области применения.

РЕКОМЕНДОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная литература.

1. Металловедение. В 2 томах. Под редакцией В.С. Золоторевского, М., МИСиС, 2014.

2. Колачев Б.А., Ливанов В.А., Елагин В.И. *Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов.* М., МИСиС, 2005.
3. Золоторевский В.С. *Механические свойства металлов.* М., Metallurgy, 1998.
Дополнительная литература.
1. Захаров А.М. *Диаграммы состояния двойных и тройных систем.* М.: Metallurgy Год: 1990.
2. Уманский Я.С., Скаков Ю.А. *Физика металлов.* М., Атомиздат, 1978.
3. Новиков И.И., Розин К.М. *Кристаллография и дефекты кристаллической решетки.* М., Metallurgy, 1990.
4. Новиков И. И. *Теория термической обработки металлов.* М., Metallurgy, 1986.
5. Лившиц В.Г., Крапошин В.С., Линецкий Я.Л. *Физические свойства металлов и сплавов.* М., Metallurgy, 1980.
6. *Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия.* Авт.: Уманский Я.С., Скаков Ю.А., Иванов А.Н., Расторгуев Л.Н.. М., Metallurgy, 1982.

ЧАСТЬ 3. СПЛАВЫ С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ. ПРОИЗВОДСТВО ИЗДЕЛИЙ С НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫМ СОСТОЯНИЕМ

Раздел 1. Строение металлов и сплавов

1.1 Основные типы связи атомов в твердых телах. Металлическая связь. Электронное строение и физические свойства металлов. Поверхность Ферми и зоны Бриллюэна.

1.2 Твердые растворы замещения, внедрения и вычитания. Упорядоченные твердые растворы. Электронные соединения, фазы Лавеса, s -фазы, фазы внедрения. Отклонения от закона Вегарда.

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

Раздел 2. Кристаллическое строение и его дефекты

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

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

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

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

3.2 Классификация фазовых и структурных превращений. Фазовые превращения I и II рода. Гомогенный и гетерогенный механизмы зарождения. Строение и механизм движения поверхностей раздела фаз. Сдвиговое (бездиффузионное) и нормальное

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

3.3 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.

Раздел 4. Металлургические процессы получения полуфабрикатов и изделий

4.1 Виды технологии литейного производства. Структура и свойства жидких металлов. Гомогенное и гетерогенное зарождение кристаллов, критический размер зародыша. Концентрационное переохлаждение. Эвтектическая кристаллизация. 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. Металлургия гранул.

4.2 Способы обработки металлов давлением. Влияние температуры, схемы и степени деформации на сопротивление деформации, структуру и свойства металлов и сплавов.

4.3 Виды сварки металлов и сплавов. Структура и свойства сварных соединений.

Раздел 5. Термическая обработка

5.1 Классификация видов термической обработки.

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

5.3 Дорекристаллизационный и рекристаллизационный отжиг. Отдых. Полигонизация. Первичная, собирательная и вторичная рекристаллизация. Механизм и кинетика отдыха, виды 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 текстурированных металлов.

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

5.5 Фазовые превращения при нагреве. Структурная наследственность.

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

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

5.8 Бейнитное превращение. Строение бейнита. Изотермическая закалка.

5.9 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.

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

Раздел 6. Термомеханическая обработка. Химико-термическая обработка

6.1 Термомеханическая обработка. Структурные изменения при пластической деформации. Динамическая полигонизация и динамическая рекристаллизация. Возврат и рекристаллизация после горячей деформации.

6.2 Высокотемпературная и низкотемпературная термомеханическая обработка. Термомеханическая обработка дисперсионно-твердеющих сплавов.

6.3 Химико-термическая обработка. Элементарные процессы при химико-термической обработке. Структура диффузионных слоев и ее связь с диаграммой состояния.

6.4 Азотирование, цементация, нитроцементация, алитирование, хромирование, борирование, сульфидирование, силицирование. Термоводородная обработка.

Раздел 7. Технология термической обработки

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

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

7.3 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.

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

Раздел 8. Упругая и пластическая деформация. Разрушение

8.1 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).

8.2 Влияние размера зерна на механические свойства. Сверхпластичность. Неупругость.

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

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

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

Раздел 9. Методы исследования и контроля структуры и свойств металлов

9.1 Методы изучения микроструктуры. Световая микроскопия. Методы количественной металлографии. Электронная микроскопия (метод реплик, дифракционная микроскопия разных видов фольги, сканирующая микроскопия, микродифракция). Рентгеноструктурный и электронно-графический анализ.

Микрорентгеноспектральный анализ. Локальный анализ состава по электронным спектрам.

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

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

Раздел 10. Промышленные сплавы (основы легирования и термической обработки, свойства, области применения)

10.1 Стали. Классификация сталей по структуре, составу, назначению. Чугуны и их классификация. Модифицирование чугунов.

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

10.3 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 и сверхупругости.

ЧАСТЬ 4. ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Раздел 1. Базовые понятия, классификация процессов и изделий, производимых методами ОМД. /1а; 2а/

1.1. Введение, сущность обработки металлов давлением, роль методов пластической деформации в истории цивилизации, разновидности исходного материала для обработки, ОМД, изделия и «Новый продукт»

1.2. Классификация процессов ОМД по различным признакам.

Раздел 2. Физические основы пластической деформации металлов и сплавов, взаимодействие процессов ОМД с термообработкой, методы управления структурой и свойствами продукции /1а, 2а, 3б/

2.1. Структура деформируемых сталей, механизмы пластической деформации, управление структурой и свойствами стали посредством пластической деформации, диаграмма пластичности, связь со способом получения заготовки и с термообработкой.

2.2. Структура деформируемых цветных металлов и сплавов, механизмы пластической деформации, управление структурой и свойствами посредством пластической деформации, пластичность и разрушение, связь со способом получения заготовки и с термообработкой.

Раздел 3. Теоретические основы процессов обработки металлов давлением /1а, 3а, 4а/

3.1 Сопrotивление деформации и напряженное состояние в точке тела, тензор напряжений, главные напряжения, интенсивность напряжений.

3.2 Деформированное состояние в точке тела, перемещения в координатных осях, главные деформации, инварианты тензора деформации, уравнение постоянства объема, скорость деформации.

3.3 Условие пластичности. Феноменологические модели среды. Соотношения между напряжениями и деформациями. Закономерности контактного деформационного трения. Локальные и интегральные показатели напряженно-деформированного состояния материала.

3.4. Методы моделирования и анализа процессов обработки металлов давлением. Принципы работы и интерфейс программы QForm.

Раздел 4. Оборудование для силового воздействия на материал. Вспомогательное оборудование, средства управления /1а, 2а, 1б/

4.1 Классификация типов оборудования. Прокатный стан, основное и вспомогательное механическое оборудование. Типы клетей. Компоненты систем управления и контроля в цехах ОМД.

4.2 Механические, гидравлические прессы, техника ударного (импульсного) действия.

4.3 Силовые установки с сочетанием вращения и возвратно-поступательного движений исполнительного элемента. Деталепрокатные станы, установки непрерывного прессования, сферодвижной штамповки

4.4 Специальная техника. Техника обработки композитов, порошков, цветных металлов и сплавов, вакуумные системы в ОМД и среды регулируемого состава.

Раздел 5. Прокатка металлов /1а, 2а, 3б/

5. 1. Очаг деформации и кинематика течения металла при продольной прокатке, базовые понятия. расчёт усилия прокатки, крутящего момента и мощности, поперечная деформация.

5.2. Технологическая схема производства изделий из стали методами прокатки. Прокатные изделия. Исходные материалы и их подготовка.

5. 3. Технологическая схема производства проката из цветных металлов и сплавов. Прокатные изделия. Исходные материалы и их подготовка. Использование защитных сред и капсул, прокатка в вакууме. Особенности производства продукции из тяжелых цветных сплавов, прокатка листов, полос и фольги из тугоплавких металлов, алюминиевых и медных сплавов

5.4. Температурно-скоростные условия горячей прокатки сталей. Инструмент, основные и вспомогательные материалы.

5.5. Температурно-скоростные условия горячей прокатки цветных сплавов. Инструмент, основные и вспомогательные материалы.

5.6. Технология прокатки плоского продукта с повышенными требованиями по качеству. Многовалковые системы.

5.7. Валки для сортовой прокатки стальных полос, угловых профилей, швеллеров

5.8. Производство бесшовных труб прокаткой. Основные параметры процессов прошивки и раскатки.

5.9. Производство сварных труб и полых профилей, сварочные узлы ТЭСА. Технология производства труб различного назначения.

Раздел 6. Ковка, объёмная и листовая штамповка, /1а, 3а, 1б/

6.1. Ковка. Исходные материалы, классификация типов изделий, операции ковки и применяемый инструмент. Температурный режим процесса и особенности деформации металлов по схеме свободной ковки. Ротационная ковка.

6.2. Горячая объёмная штамповка сталей. Классификация поковок. Исходные материалы. Методика проектирования штамповой оснастки.

6.3. Особенности объёмной штамповки цветных металлов и сплавов. Исходные материалы. Оснастка для изотермической штамповки и деформации в режиме сверхпластичности.

6.4. Штамповка на молотах, на горизонтально-ковочных машинах, на горячештамповочных автоматах.

6.5. Разделительные и обрезные операции в цехах обработки металлов давлением.

6.6. Основы проектирования процессов листовой штамповки. Разделительные и формообразующие операции.

6.7. Методы изготовления инструмента, применение систем быстрого прототипирования при ОМД.

6.8. Особенности листовой штамповки цветных металлов и сплавов, листовая штамповка с местным подогревом, гидроформование, высокоэнергетические методы обработки.

Раздел 7. Прессование, выдавливание и волочение металлов, /3а, 2б/

7.1. Схема процесса прессования, классификация классических способов прессования по кинематике течения металла. Очаг деформации при прессовании, напряженно-деформированное состояние материала при прессовании. Расчёт энергосиловых показателей процесса. Методы управления кинематикой истечения материала. Расчёты на прочность и устойчивость деталей инструмента.

7.2. Сортамент, основы технологии прессования изделий из тяжелых цветных и тугоплавких металлов. Производство труб и сложных полых профилей из алюминиевых сплавов. Возможности непрерывных и полунепрерывных процессов прессования металлов, сплавов и шликеров.

7.3. Особенности технологии производства пресс-изделий из конструкционных, инструментальных сталей, стальных порошков и гранул. Технология изготовления матриц с защитными покрытиями.

7.4. Схема волочения. Очаг деформации и оборудование. Основы проектирования процессов волочения при производстве проволоки, теплообменных труб и кабельной продукции.

Раздел 8. Специальные методы ОМД, /1а/

8.1. Осевое формование порошков и композитов в пресс-формах, изостатические способы обработки материалов.

8.2. Клиновое формование, производство пористых и электродных материалов прокаткой, импульсные высокоэнергетические методы обработки порошков, гранул, волокнистых и слоистых композитов.

8.3. Комплексные методы получения специальных материалов и изделий для машиностроения, энергетики, авиации и космоса, оборонной техники с применением давлений и пластической деформации.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

а) основная литература

1. Суворов И. К. Обработка металлов давлением. - М.: Высшая школа, 1980. - 364 с.

2. Королев А.А. Механическое оборудование прокатных и трубных цехов: Учебник для вузов. - М.: Металлургия, 1987. - 480 с.

3. Балакин В.П., Ефремов Д.Б. и др. Теория обработки металлов давлением. Теория процессовковки, штамповки и прессования: Лабораторный практикум. – М.: МИСиС, 1982 с.

4. Е.В. Кузнецов, С.П. Галкин Технологические процессы обработки металлов давлением: Лабораторный практикум. - М.: МИСиС, 2002, №1613.- 78 с.

5. Моделирование процессов пластической деформации. Графический редактор QDraft, 69 с. Электронное приложение к системе QForm2d.

б) дополнительная литература

1. Ковка и штамповка. Справочник. В 4-х томах / под ред. Е.И.Семенова.- М.: Машиностроение. 1986. – с.

2. Щерба В.Н., Райтбарг Л.Х. Технология прессования металлов. Учебное пособие для вузов. - М.: Металлургия, 1995.- 336 с.

3. Горохов В.С., Лебедев Л.С., Погоржельский В.И. и др. Обработка металлов давлением. - М.: МИСиС, 1988.- с.

4. Либенсон Г.А., Лопатин В.Ю. и др. Процессы порошковой металлургии. Т. 2
Формование и спекание. – М.: МИСИС, 2002.- 320 с.

ЧАСТЬ 5. ТЕОРИЯ ПИРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Раздел 1. Общие вопросы производства черных металлов и сплавов /1а, 1б/

История и роль металлургии в развитии цивилизации. Современное состояние и пути развития металлургического производства. Технологическая схема современного металлургического предприятия с полным технологическим циклом.

Раздел 2. Подготовка руд к плавке и производство чугуна /1а, 1б/

- 2.1. Сырые материалы, применяемые при производстве черных металлов. Железные руды: определение, классификация, оценка качества.
- 2.2. Подготовка железных руд к доменной плавке. Агломерация.
- 2.4. Профиль доменной печи. Основное и вспомогательное оборудование.
- 2.5. Доменный процесс. Восстановление оксидов в доменной печи. Образование чугуна и шлака.

Раздел 3. Производство стали /1а, 2б, 3б/

- 3.1. Классификация сталей. Влияние состава на качество стали. Сущность сталеплавильного производства. Способы производства стали.
- 3.2. Основные реакции сталеплавильного производства. Шлакообразование. Состав и свойства сталеплавильных шлаков и их роль в технологическом процессе.
- 3.3. Материалы, используемые при производстве стали: структура и состав металлошихты, источники кислорода, шлакообразующие материалы. Требования к шихтовым материалам и технологии, используемые для подготовки их к плавке.
- 3.4. Конвертерное производство стали. Общее устройство основного оборудования. Нормативный цикл конвертерной плавки.
- 3.7. Мартеновское производство стали. Схема работы и устройство основных элементов мартеновской печи. Схема работы и особенности технологии выплавки стали.
- 3.8. Электросталеплавильное производство. Классификация способов производства стали с использованием электрической энергии. Устройство дуговых электропечей.
- 3.9. Методы выплавки стали в основной дуговой электропечи. Переплав легированных отходов в дуговой печи. Основные периоды плавки, их задачи.
- 3.10. Внепечная обработка стали. Цели и методы обработки. Раскисление и легирование стали в ковше. Способы отсечки шлака по ходу выпуска металла из сталеплавильного агрегата. Применение нейтральных газов для обработки жидкой стали в ковше.

3.11. Десульфурация стали с использованием синтетических шлаков, твердых и порошкообразных смесей. Влияние обработки на качество готового металла.

3.12. Вакуумирование жидкой стали в ковше: способы и технологии, применяемое оборудование. Влияние вакуумирования на качество готового металла. Комплексная обработка жидкой стали в ковше.

3.14. Непрерывные сталеплавильные процессы: варианты технологических схем и применяемого оборудования. Современное состояние и перспективы развития.

Раздел 4. Получение слитков и литых заготовок черных металлов /1а/

4.1. Оборудование для разливки стали. Способы разливки стали. Сравнение показателей разливки сверху и сифоном.

4.2. Структура стального слитка. Кристаллическая и химическая неоднородность. Явление усадки.

4.3. Непрерывная разливка стали. Технология и преимущества непрерывной разливки. Виды машин непрерывного литья заготовок.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Воскобойников В.Г. и др. Общая металлургия. - М.: Металлургия, 1995. - 480 с.
2. Металлургия чугуна / Под ред. Ю.С. Юсфина. - М.: Академкнига, 2005. – 628 с.
3. Поволоцкий Д.Я. Рощин В.Э., Рысс М.А. и др. Электрометаллургия стали и ферросплавов. - М.: Металлургия, 1984. – 567 с.
4. Каблуковский А.Ф., Молчанов О.Е., Каблуковская М.А. Краткий справочник электросталеваара. - М.: Металлургия, 1994. - 352 с.

ЧАСТЬ 6. МЕТАЛЛУРГИЯ ЦВЕТНЫХ, РЕДКИХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

Раздел 1. Основы гидрометаллургических процессов (Производство золота)

/1а/

1.1 Классификация металлургических процессов. Страны – основные производители золота. История создания производства золота. Источники сырья для производства благородных металлов. Формы нахождения золота в сырье.

1.2 Добыча руды и подготовка ее к переработке Гравитационные способы извлечения золота из руды. Амальгамационное извлечение золота из руды.

1.3 Цианирование золотосодержащих руд. Оборудование для проведения гидрометаллургических процессов Выделение золота из цианистых растворов. Техника безопасности при работе с цианидами.

1.4. Аффинаж драгоценных металлов. Электролиз золото-серебряных сплавов. Анодный и катодный процессы. Конструкция электролизной ванны. Основные технико-экономические показатели электролиза. Общие затраты ресурсов на производство золота из руды.

Раздел 2. Окислительная пирометаллургия (Производство меди) /1а/

2.1 История развития пирометаллургии металлургии меди. Свойства меди и основные области применения. Объемы производства. Формы нахождения меди в земной коре. Кларк меди. Медные месторождения. Добыча медной руды. Медные концентраты.

2.2 Основные химические взаимодействия при пирометаллургической переработке сырья. Обжиг и плавка медных концентратов на штейн.

2.3 Продукты окислительной плавки сульфидных концентратов и принципы работы плавильных агрегатов. Окислительное конвертирование медных штейнов. Утилизация сернистых отходящих газов.

2.4 Электролитическое рафинирование меди. Основные электрохимические реакции. Конструкция электролизной ванны.

Раздел 3. Восстановительная пирометаллургия (Производство свинца) /1а/

3.1 Сырьевая база свинцового производства и потребление свинца. Виды химических соединений свинца в сырье. Теоретические основы восстановительной свинцовой плавки.

3.2 Агломерирующий окислительный обжиг концентрата. Химические реакции агломерации. Конструкция агломашинны.

3.3 Химические реакции получения чернового свинца и принцип работы шахтной печи. Прямая переработка сульфидного концентрата на черновой свинец.

3.4 Рафинирование чернового свинца от разнообразных примесей. Образование и удаление промпродуктов, аккумулирующих примесей. Воздействие свинцового производства на окружающую среду.

Раздел 4. Электрометаллургия (Производство алюминия) /2а/

4.1 Свойства алюминия и его применение. Минеральные источники для производства алюминия. Химические соединения алюминия в рудах. Электрохимические процессы получения металлического алюминия.

4.2 Производство глинозема способом Байера. Выщелачивание бокситов щелочными растворами. Основные реакции, поведение примесей.

4.3 Оборудование для спекания и выщелачивания. Электролитическое получение металлического алюминия. Криолит-глиноземные расплавы.

4.4 Конструкция электролизеров и принцип их работы. Анодный эффект. Расход анодов и потребление электричества. Воздействие алюминиевого производства на окружающую среду

Раздел 5. Производство вольфрама /а /

5.1.Классификация редких металлов. Особенности технологических схем производства редких металлов. Основные свойства вольфрама и области применения. Минералы и месторождения вольфрама. Вскрытие шеелитовых и вольфрамитовых концентратов щелочными реагентами. Аппаратурное оформление процессов.

5.2. Переработка продуктов вскрытия концентратов, очистка растворов от примесей. Способы получения вольфрамовой кислоты, паравольфрамата аммония и вольфрамового ангидрида.

5.3. Технология производства порошка вольфрама. Производство компактного пластичного вольфрама. Получение крупногабаритных слитков вольфрама электронно-лучевой и дуговой вакуумной плавкой.

Раздел 6. Производство молибдена /а /

6.1.Основные свойства молибдена и области применения. Минералы молибдена и месторождения. Способы переработки молибденитовых концентратов. Получение

молибденитовых огарков. Аппаратурное оформление процессов. Выделение молибдена из аммиачных растворов. Получение молибденового ангидрида. Производство молибденового порошка и компактных изделий.

Раздел 7. Производство тантала и ниобия /а/

7.1. Основные свойства тантала и ниобия, области применения. Минеральное сырье и месторождения тантала и ниобия. Переработка танталит-колумбитовых концентратов разложением плавиковой кислотой. Вскрытие лопаритовых концентратов хлорированием. Варианты конденсации хлоридов. Аппаратурное оформление процессов.

7.2. Переработка продуктов вскрытия концентратов. Разделение тантала и ниобия и очистка от примесей. Технология получения металлического тантала и ниобия.

Раздел 8. Metallургия титана и циркония /а/

8.1. Основные свойства и области применения. Характеристика рудного сырья. Восстановительная плавка ильменитового концентрата. Хлорирование титановых шлаков, конденсация хлоридов. Аппаратурное оформление процессов. Очистка технического тетрахлорида титана. Магнито-термическое восстановление тетрахлорида титана. Йодидное рафинирование титана и получение компактного металла.

8.2. Способы вскрытия цирконовых концентратов. Варианты разделения циркония и гафния. Магнито-термический и электролитический способы получения металлического циркония. Технология рафинирования циркония.

Раздел 9. Metallургия рассеянных редких металлов /а /

9.1. Классификация рассеянных редких металлов, их характеристика. Примеры попутного извлечения рассеянных металлов в процессе переработки цветных металлов и отходов других производств. Основные свойства германия и его соединений. Области применения. Извлечение германия из различных видов сырья. Способы очистки германия от примесей.

9.2. Свойства и области применения галлия. Получение галлиевого концентрата при производстве алюминия. Получение металлического галлия и способы его рафинирования.

Раздел 10. Metallургия радиоактивных и редкоземельных металлов

10.1 Роль радиоактивных и РЗМ в современном мире и в развитии атомной энергетики; энергетическая безопасность России; требования, предъявляемые к этим

металлам, особенности их производства, основные продуценты в мире и РФ. Минералы, руды и концентраты урана, кислотные и щелочные способы вскрытия, основные аппараты, техника безопасности с радиоактивными материалами. Минералы, руды и концентраты РЗМ, основные способы вскрытия, необходимость комплексного использования сырья.

10.2 Экстракционные и сорбционные способы выделения урана из пульпы, современное аппаратное оформление процессов, обезвреживание и удаление хвостов, экологические проблемы. Переработка продуктов вскрытия минерального сырья РЗМ, предварительное их разделение на отдельные группы. Экстракционные аффинажные операции для получения соединений урана ядерной степени чистоты. Основы разделительных процессов при получении индивидуальных РЗМ.

10.3 Технология получения оксидов, фторидов, хлоридов урана и РЗМ. Основы металлотермического восстановления высокоактивных металлов; получение урана РЗМ.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. А.В.Тарасов, Н.И.Уткин. Технология цветной металлургии. – М.: Металлургия, 1999.
2. В.И.Москвитин, И.В.Николаев, Б.А.Фомин. Металлургия легких металлов. – М.: Интермет Инжиниринг, 2005
3. Зеликман А.Н., Коршунов Б.Г. Металлургия редких металлов. – М.: Металлургия, 1991
4. Котляр Ю.А., Стрижко Л.С. Металлургия благородных металлов. В 2-х томах, М.: Руда и металлы, 2005
5. Редкие и рассеянные элементы. Химия и технология. Книга 1: Учебник для вузов /Коровин С.С., Зимина Г.В., Резник А.М. и др. М.: МИСиС, 1996.
6. Тураев Н.С., Жерин И.И. Химия и технология урана. М.: Издательский дом «Руда и металлы»,2006.
7. А.И.Михайличенко, Е.Б.Михлин, Ю.Б.Патрикеев Редкоземельные металлы - М.: Металлургия, 1987

ЧАСТЬ 7. ТЕХНОЛОГИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Раздел 1. Вещественный состав и обогатимость полезных ископаемых

1.1. Химический, фазовый, минералогический, гранулометрический состав минерального сырья

1.2. Характеристика полезных ископаемых по механической прочности, абразивности и крепости.

1.3. Характеристика минералов по плотности, форме и упругости кристаллов, магнитным, электрическим, спектроскопическим, радиоскопическим, физико-химическим, и др. свойствам.

Раздел 2. Процессы и машины для обогащения полезных ископаемых

2.1. Классификация процессов обогащения. Технологическое назначение подготовительных, основных, вспомогательных процессов.

2.4. Основные принципы и теоретические основы процессов дробления. Основные типы дробилок. Область их применения.

2.5. Теоретические основы и кинетика процессов измельчения. Основные типы мельниц. Область их применения.

2.6. Классификация процессов разделения полезных ископаемых по крупности, их сущность и техническое назначение. Грохочение. Основные закономерности и эффективность грохочения. Основные типы грохотов. Область применения неподвижных и механических грохотов.

2.7. Гидравлическая классификация. Характеристика процессов и основные аппараты для классификации в восходящем, горизонтальном потоках и центробежном поле в водной среде. Область применения классифицирующих устройств.

2.8. Дезинтеграция и промывка минерального сырья. Характеристика процессов дезинтеграции и промывки. Основные аппараты и области их применения.

2.9. Процессы гравитационного обогащения. Теоретические основы, сущность и технологическое назначение процессов. Классификация процессов грохочения.

2.10. Обогащение в тяжелых средах. Виды сред и их технологические свойства. Характеристика процессов разделения в тяжелых средах. Основные аппараты и область применения.

2.12. Обогащение в потоках воды на наклонной плоскости. теоретические основы разделения минералов в тонких потоках. Основные аппараты. Область применения аппаратов, технологические показатели их работы.

2.13. Процессы магнитного обогащения. Физические основы магнитных методов обогащения. Открытые и замкнутые магнитные системы. Полиградиентная среда. Режимы удерживания и извлечения. Прямоточный, противоточный и полупротивоточный режим сепарации. Закономерности и селективность магнитной сепарации.

2.14. Классификация и общая характеристика магнитных сепараторов. Основные конструкции аппаратов и характеристика процессов сухой и мокрой магнитной сепарации сильно- и слабомагнитных руд и минералов. Область применения.

2.15. Процессы электрического обогащения. Физические основы и характеристика процесса. Основные конструкции аппаратов и характеристика процессов разделения минералов по электропроводности.

2.16. Основные конструкции аппаратов и характеристика процессов разделения минералов трибоэлектрической, пироэлектрической и диэлектрической сепарацией. Область применения

2.17. Процессы флотационного обогащения. Физическая сущность и разновидности флотационного процесса. Основы теории минерализации пузырьков при флотации.

2.18. Флотационные реагенты, их классификация и назначение.

2.19. Механизм действия собирателей, активаторов, депрессоров, регуляторов и пенообразователей.

2.20. Основные конструкции и характеристика флотационных машин механического, пневмомеханического и пневматического типов.

2.21. Схемы коллективной и селективной флотации руд.

2.22. Процессы химического обогащения руд. Теоретические основы растворения и избирательного выщелачивания минералов. Область применения. Классификация процессов.

Раздел 3. Вспомогательные процессы

3.1. Назначение обезвоживания и пылеулавливания. Теоретические основы, характеристика процессов обезвоживания дренированием, сгущением. Используемое оборудование. Область применения.

3.2. Характеристика процессов обезвоживания центрифугированием. Используемое оборудование. Область применения.

3.3. Характеристика процессов обезвоживания фильтрацией. Используемое оборудование. Область применения.

3.4. Характеристика процессов обезвоживания сушкой. Используемое оборудование. Область применения.

3.5. Процессы и аппараты для очистки сточных и кондиционирования оборотных вод.

Раздел 4. Технология комплексной переработки и обогащения полезных ископаемых

4.1. Назначение технологического картирования. Классификация операций и средств усреднения и предконцентрации добываемого сырья и продуктов обогащения.

4.2. Характеристика основных типов алмазосодержащих руд, россыпей и алмазов. Технологические схемы и режимы извлечения алмазов из руд, россыпей и черновых концентратов. Сортировка алмазов. Комплексность использования сырья. Технико-экономические показатели.

4.3. Технология переработки и обогащения руд черных металлов.

4.4. Качественная и технологическая характеристика основных типов руд черных металлов. Кондиции на руды и концентраты черных металлов. Технологические схемы и режимы рудоподготовки и обогащения железных, марганцевых и хромовых руд.

4.5. Технология переработки и обогащения руд цветных металлов.

4.5. Качественная и технологическая характеристика основных типов руд цветных металлов. Требования к качеству концентратов и комплексности использования сырья. Кондиции на руды и концентраты

4.6. Технологические схемы и режимы рудоподготовки и обогащения медных руд

4.8. Технологические схемы и режимы рудоподготовки и обогащения полиметаллических руд

4.10. Технология переработки и обогащения руд и россыпей редких металлов.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. С. Е. Андреев, В. А. Перов, В. В. Зверевич. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. М. Недра, 1980, 415 с.

2. А. А. Абрамов. Флотационные методы обогащения. Москва, Недра, 1993, 411 с.

3. В. В. Карамзин, В. И. Карамзин. Магнитные и электрические методы обогащения. М., Недра, 1991, 303 с.

4. Б. Н. Кравец. Специальные и комбинированные методы обогащения. М., Недра, 1991, 260 с.

5. В. Н. Шохин, А. Г. Лопатин. Гравитационные методы обогащения. М., Недра, 1991, 350 с.

6. Г.Г. Чуянов. Обезвоживание, пылеулавливание и охрана окружающей среды. М., Недра, 1987, 260 с.
7. В. З. Козин, О. Н. Тихонов. Опробование, контроль и автоматизация обогатительных процессов. М., Недра, 1990, 342 с.
8. К. А. Разумов, В. А. Петров. Проектирование обогатительных фабрик. М., Недра, 1982, 515 с.
9. Справочник по обогащению руд. Т. 1-3, М., Недра, 1993
10. Справочник по обогащению углей. М., Недра, 1996
11. Журналы: Горный журнал, Обогащение руд, Горный информационно-аналитический бюллетень, Уголь, Цветные металлы.

ЧАСТЬ 8. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ И НАНОСТРУКТУРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Раздел 1. Методы получения порошков /5а, 6а/

1.1. Значение порошковой металлургии. История развития порошковой металлургии. Основные технологические схемы производства спеченных материалов. Классификация методов получения порошков.

1.2. Механические методы получения порошков. Производство порошков измельчением твердых металлов и распылением жидких металлов и сплавов методами газового, жидкостного и центробежного распыления.

1.3. Физико-химические основы процессов, оборудование, достоинства и недостатки различных методов, области использования. Методы получения аморфных и нанопорошков механическими методами.

1.4. Получение металлических порошков методом восстановления оксидов металлов твердым и газообразным восстановителем. Физико-химические основы процессов.

1.5. Практика получения порошков железа, вольфрама, титана. Физико-химические методы получения нанопорошков. Производство металлических порошков электролизом водных растворов и расплавленных сред.

1.6. Производство порошков методом термической диссоциации карбонильных соединений. Физико-химические основы процессов, практика получения порошков. Свойства металлических порошков и методы их контроля.

Раздел 2. Формование и спекание металлических порошков /5а, 6а/

2.1. Подготовка порошков. Закономерности процесса уплотнения порошков в стальной пресс-форме. Процессы, происходящие при прессовании. Зависимость плотности от давления прессования. Распределение плотности по объему брикета. Потери давления на трение. Упругое последствие. Прессование со смазкой. Брак при прессовании.

2.2. Горячее изостатическое прессование. Инжекционное прессование. Лазерная формование. Практика прессования. Прессы и пресс-формы. Варианты формования металлических порошков: горячее, изостатическое, динамическое, импульсное, вибрационное, прокатка, шликерное литье. Особенности процессов, аппаратурное оформление.

2.3. Основные закономерности процесса спекания в твердой фазе. Роль поверхностной и объемной диффузии. Усадка при спекании. Влияние технологических

параметров на процесс спекания и свойства спеченных изделий. Особенности спекания многокомпонентных систем. Влияние гетеродиффузии на процесс усадки.

2.4. Основные закономерности процесса спекания многокомпонентных систем в присутствии жидкой фазы, исчезающей и присутствующей до конца изотермической выдержки при нагреве. Кинетика усадки. Факторы, влияющие на плотность и зернистость сплавов.

2.5. Пропитка как разновидность жидкофазного спекания. Физико-химические основы и закономерности процесса пропитки. Практика процессов спекания. Атмосфера спекания, печи спекания, брак при спекании.

Раздел 3. Спеченные материалы с особыми свойствами /5а, 1б/

3.1. Классификация спеченных материалов. Спеченные пористые подшипники и фильтры. Основные составы. Технология получения. Физические, механические и эксплуатационные свойства.

3.2. Антифрикционные и фрикционные материалы. Основные принципы работы. Структура и свойства твердых смазок. Технология изготовления, свойства, области применения и перспективы развития.

3.3. Спеченные электротехнические материалы: для скользящих и разрывных электрических контактов, магниты. Особенности работы, виды износа. Физико-химические основы и технология производства, области применения.

3.4. Спеченные твердые сплавы, их классификация. Технологическая схема получения, свойства, области применения. Конструкционная керамика. Характеристика исходных материалов. Технологические варианты получения. Нанесение керамических покрытий. Свойства, области применения.

3.5. Жаропрочные спеченные материалы: дисперсно-упрочненные и волокнистые. Особенности технологии, основные свойства и области применения.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

а) основная литература

1. Процессы порошковой металлургии. Т.1, Т.2. Производство металлических порошков: Учебник для вузов / Либенсон Г.А., Лопатин В.Ю., Комарницкий Г.В. и др. - М.: МИСиС, – 2002 г. – 688 с.

2. Кипарисов С.С., Либенсон Г.А. Порошковая металлургия. – М.: Металлургия, 1991. –432 с.

3. Технология и свойства спеченных материалов и изделий: Лабораторный практикум. В.С. Панов, В.К. Нарва, Л.В. Дубынина и др. М.: изд. "Учёба", 2003. - 118 с.

4. Процессы порошковой металлургии: Лабораторный практикум / Под ред. Г.А.Либенсона. - М.: МИСиС, 1987. - 155 с.

б) дополнительная литература

1. Либенсон Г.А. Специальность порошковая металлургия. – М.: Металлургия, 1987.–80 с

2. Кипарисов С.С., Либенсон Г.А. Порошковая металлургия. М.: Металлургия, 1980.-496 с

3. Либенсон Г.А. Основы порошковой металлургии. М.: Металлургия, 1987. - 208 с.

4. Либенсон Г.А. Производство порошковых изделий. – М.: Металлургия, 1990. – 240 с.

5. Панов В.С., Чувиллин А.М. Технология и свойства спеченных твёрдых сплавов и изделий из них. М.: МИСиС, 2001.427 с.

6. Либенсон Г.А., Панов В.С. Оборудование цехов порошковой металлургии. М.: Металлургия, 1983. 264 с.

7. Нарва В.К. Технология производства спеченных материалов и изделий. Пористые материалы: Курс лекций. М.: МИСиС, 1980. 78 с.

ЧАСТЬ 9. МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ ЦВЕТНЫХ И ДРАГОЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ

Раздел 1. Кристаллическое строение металлов. /1а/

1.1. Предмет металловедения. Основы строения металлов. Микроструктура. Световая микроскопия. Количественные характеристики микроструктуры. Типичные кристаллические решетки металлов.

1.2. Кристаллографические направления и плоскости. Кристаллохимические характеристики структуры. Дефекты кристаллографического строения металлов: вакансии, дислокации, границы зерен и субзерен.

1.3. Основы рентгенографии и электронной микроскопии. Определение параметров кристаллической решетки рентгеновским методом.

Раздел 2. Фазовые превращения в металлах /1а/

2.1. Фазовые переходы I и II рода. Термодинамика фазовых превращений. Уравнение Гиббса. Правило фаз. Плавление металлов и строение расплавов. Кривые нагрева и охлаждения. Полиморфные превращения в металлах.

2.2. Типы фаз в металлических сплавах. Твердые растворы замещения и внедрения. Промежуточные фазы.

Раздел 3. Диаграммы состояния двойных систем /1а/

3.1. Изображение состава в двойных системах в процентах по массе и в атомных процентах. Диаграммы состояния двойных систем. Правило рычага. Системы с непрерывным рядом твердых растворов Системы с минимумом на кривых ликвидуса и солидуса.

3.2. Системы с расслоением в твердом состоянии. Системы эвтектического типа. Особенности кристаллизации и строения сплавов эвтектического типа.

3.3. Эвтектические колонии. Классификация эвтектик. Вырожденные эвтектики. Форма первичных кристаллов. Дендритные ячейки. Ретроградный солидус. Контактное плавление.

3.4. Системы перитектического типа. Ободки вокруг первичных кристаллов. Системы с конгруэнтно и инконгруэнтно плавящимися фазами.

3.5. Системы монотектического типа. Ликвация по плотности в жидком состоянии. Системы с полиморфизмом компонентов. Системы с метатектическим, эвтектоидным, перитектоидным и монотектоидными равновесиями.

3.6. Зависимость твердости и электропроводности от состава в системах разного типа. Примеры реальных диаграмм двойных систем.

Раздел 4. Система железо-углерод /1а/

4.1. Поллиморфизм железа. Температурные зависимости энергии Гиббса и удельного объема железа. Точка Кюри железа. Диаграмма состояния железо–цементит. Микроструктуры отожженных сталей.

4.2. Микроструктуры белых чугунов. Диаграмма состояния железо–углерод. Микроструктуры серых и половинчатых чугунов.

Раздел 5. Неравновесная кристаллизация. Особенности литой структуры /1а/

5.1. Кристаллизация металлов. Зарождение кристаллов, критический зародыш. Рост кристаллов. Кривые Таммана. Кривые охлаждения. Форма металлических кристаллов. Дендритная форма роста. Столбчатые и равноосные кристаллы. Модифицирование металлов.

5.2. Дендритная ликвация в системах разного типа. Неравновесная эвтектика.

5.3. Изменение строения первичных кристаллов и эвтектик при увеличении скорости охлаждения. Кристаллизация метастабильных фаз. Образование аномально пересыщенных твердых растворов. Аморфные сплавы. Кристаллизация при нагреве.

Раздел 6. Связь литейных свойств двойных сплавов с диаграммой состояния

6.1. Основные литейные свойства (жидкотекучесть, горячеломкость, усадка). Технологические пробы для определения показателей жидкотекучести и горячеломкости.

6.2. Зависимость литейных свойств от состава в системах с непрерывным рядом твердых растворов и эвтектического типа. Выбор состава литейных сплавов с использованием диаграмм состояния.

Раздел 7. Деформация, разрушение и механические свойства металлов /1а/

7.1. Упругая деформация. Модули упругости. Пластическая деформация скольжением и двойникованием. Системы скольжения. Деформационное упрочнение. Особенности упрочнения однофазных и многофазных структур. Виды разрушения. Вязкое и хрупкое разрушение, разрушение отрывом и срезом. Механизмы зарождения и развития трещин. Фрактография. Структура изломов. Переход из вязкого состояния в хрупкое. Температурный порог хрупкости, влияние на него скорости деформирования и примесей.

7.2. Механические испытания свойства металлов. Схемы напряженного состояния. Статические, динамические и циклические испытания. Испытания на растяжение. Типы кривых растяжения. Физический и технический смысл пределов пропорциональности, упругости, текучести и прочности. Истинное сопротивление разрыву. Характеристики пластичности при растяжении. Зависимость относительного удлинения от начальной расчетной длины. Влияние структуры на пределы текучести и прочности. Испытания на сжатие и на изгиб. Характеристики прочности при сжатии и изгибе. Испытания на твердость по Бринеллю, Виккерсу и Роквеллу. Виды инденторов и числа твердости. Микротвердость. Испытания образцов с надрезом. Испытания на статическую трещиностойкость. Вязкость разрушения. Ударная вязкость. Типы концентратора напряжений. Сериальные кривые. Определение температуры хрупко-вязкого перехода.

7.3 Усталость металла. Строение усталостного излома. Разновидности циклов напряжений. Кривые усталости. Определение предела выносливости. Малоцикловая усталость. Скорость роста усталостной трещины.

7.4. Испытания на жаропрочность. Ползучесть. Стадии высокотемпературной ползучести. Влияние температуры и напряжения на ползучесть. Длительная прочность. Жаростойкость.

Раздел 8. Изменение структуры и механических свойств металлов при деформации и последующем нагреве /1а/

8.1. Изменение структуры и механических свойств металлов при холодной обработке давлением. Металлографическая и кристаллографическая текстура деформации, анизотропия свойств. Подразделение деформации на холодную, теплую и горячую.

8.2. Изменения структуры и механических свойств металлов при нагреве после холодной обработки давлением. Возврат, первичная и собирательная рекристаллизация. Изменение структуры при горячей обработке давлением.

Раздел 9. Механизм и кинетика фазовых превращений в твердом состоянии /1а/

9.1. Общие закономерности фазовых превращений в твердом состоянии. Термодинамика превращений. Механизм и кинетика диффузионных фазовых превращений. Диаграммы изотермического превращения. Термокинетические диаграммы.

9.2. Механизм и кинетика бездиффузионных фазовых превращений. Особенности структуры мартенситных фаз.

Раздел 10. Виды термической обработки. Превращения при нагреве и охлаждении стали /1а/

10.1. Роль термической обработки в повышении качества металлопродукции. Применение термообработки в металлургической и машиностроительной промышленности. Классификация видов термической обработки.

10.2. Отжиг 1-го рода. Гомогенизационный отжиг, его назначение и режимы для литейных и деформируемых сталей и сплавов. Изменение структуры и свойств при гомогенизации. Рекристаллизационный отжиг. Размер рекристаллизованного зерна. Диаграммы рекристаллизации. Отжиг для уменьшения остаточных напряжений. Возникновение и роль остаточных напряжений. Механизмы релаксации напряжений и выбор режимов отжига.

10.3. Превращения в стали при нагреве. Кинетика превращений и рост аустенитного зерна. Влияние неметаллических включений на склонность к росту зерна. Наследственно мелкозернистые и наследственно крупнозернистые стали.

10.4. Превращения при охлаждении стали. Механизм и кинетика перлитного и бейнитного превращений. Влияние скорости охлаждения и легирующих элементов на кинетику превращений и структуру стали. Структура и механические свойства перлита и бейнита. Отжиг 2-го рода: полный, неполный, изотермический, сфероидизирующий, нормализационный. Структура и свойства отожженной и нормализованной стали. Перегрев и пережог стали. Способы устранения структуры перегрева в углеродистой и легированной стали. Структурная наследственность.

10.5. Закалка с полиморфным превращением. Основные закономерности мартенситного превращения, структура и свойства закаленной стали. Закаливаемость и прокаливаемость. Способы закалки стали. Особенности технологии закалки литых и деформированных изделий. Закалочные среды. Обработка холодом. Поверхностная и объемно-поверхностная закалка. Особенности структуры и свойств поверхностно закаленных изделий.

10.6. Отпуск закаленной стали. Превращения в стали при отпуске, изменение структуры и свойств. Выбор режимов отпуска в зависимости от назначения изделий. Отпускная хрупкость: причины и способы подавления. Вторичное твердение при отпуске.

10.7. Химико-термическая обработка стали. Назначение, виды и общие закономерности. Цементация и азотирование: технология, структура и свойства упрочненных слоев. Предварительная и окончательная термическая обработка изделий.

Раздел 11. Углеродистые и легированные стали /1а/

11.1. Влияние легирующих элементов на структуру и свойства стали. Принципы разработки легированных сталей, их маркировка по ГОСТам. Неметаллические включения в стали. Влияние включений на технологическую пластичность, механические свойства и разрушение литой и деформированной стали. Малые примеси в стали. Влияние примесей на механические свойства и разрушение литых и термообработанных изделий. Классификация сталей по структуре и применению. Строительные и машиностроительные стали: состав, термообработка и свойства.

11.2. Улучшаемые стали: принципы легирования, термообработка и свойства. Высокопрочные стали, мартенситно-старяющие стали, трип-стали: принципы легирования, термообработка и свойства.

11.3. Стали для отливок. Особенности макро- и микроструктуры, обусловленные технологическими ограничениями (по жидкотекучести, трещиностойкости, усадке). Дефекты структуры: величина зерна, морфология и размеры второй фазы, способы управления ими. Дефекты литых сталей. Пористость, усадочные раковины, включения - их влияние на вязкость разрушения и надежность конструкции. Критерии допустимости дефектов и выбор метода дефектоскопии. Особенности состава и термообработки сталей для отливок.

11.4. Хладостойкие и криогенные стали: принципы легирования, термообработка, структура и свойства. Коррозионностойкие стали: принципы легирования, термообработка, структура и свойства.

11.5. Инструментальные стали. Принципы легирования, структура и свойства сталей для режущего и измерительного инструмента. Теплостойкость. Особенности состава и термообработки сталей для штампов и пресс-форм литья под давлением. Жаропрочные и жаростойкие стали: состав, структура и свойства. Износостойкие стали. Сталь Гадфильда: состав, термообработка, структура и свойства.

Раздел 12. Диаграммы состояния тройных систем /1а/

12.1. Геометрическое изображение состава тройных сплавов. Концентрационный треугольник. Правила рычага и центра тяжести треугольника.

12.2. Геометрическое изображение диаграмм состояния тройных систем. Диаграмма состояния тройной системы с неограниченной растворимостью компонентов в жидком и твердом состояниях. Пространственная диаграмма простейшего типа. Кристаллизация тройных однофазных сплавов. Изменение состава жидкой и твердой фаз. Изотермические и политермические сечения.

12.3. Диаграмма состояния тройной системы с тройной эвтектикой и практически полным отсутствием растворимости компонентов в твердом состоянии. Кристаллизация характерных сплавов, изотермические и политермические сечения. Строение тройной эвтектики.

12.4. Диаграмма состояния тройной системы с тройной эвтектикой и ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии. Кристаллизация характерных сплавов, изотермические и политермические сечения.

12.5. Системы с конгруэнтно плавящимися химическими соединениями. Примеры реальных диаграмм состояния тройных систем.

Раздел 13. Чугуны /1а/

13.1. Степень эвтектичности чугуна, углеродный эквивалент. Структурная диаграмма Маурера. Классификация чугунов, маркировка, химический состав, структура, свойства и применение. Роль примесей серы и фосфора в чугунах. Серый чугун с пластинчатым графитом.

13.2. Высокопрочный чугун с шаровидным графитом. Чугун с вермикулярным графитом. Ковкий чугун. Механизм графитизации при отжиге белого чугуна на ковкий.

13.3. Чугуны со специальными свойствами: антифрикционные, износостойкие, жаростойкие и коррозионностойкие. Термическая обработка чугунов. Отжиг для уменьшения остаточных напряжений, отжиг для устранения отбела, нормализация, закалка на мартенсит и отпуск, изотермическая закалка, закалка с плавлением поверхности, химико-термическая обработка.

Раздел 14. Сплавы и композиционные материалы на основе легких металлов /1а/

14.1. Области применения алюминиевых сплавов и требования к ним. Свойства алюминия и его стандартные марки. Легирующие элементы и примеси в алюминиевых сплавах. Технологические схемы для отливок и деформированных полуфабрикатов. Особенности термической и деформационной обработки. Стандартные системы обозначения марок сплавов и их состояний (РФ и США).

14.2. Литая структура алюминиевых сплавов. Основные фазы и структурные составляющие. Промышленные литейные алюминиевые сплавы. Классификация, марки, структура, свойства, области применения.

14.3. Промышленные деформируемые алюминиевые сплавы. Классификация, марки, структура, свойства, области применения. Композиционные материалы на основе

алюминия, получаемые методами порошковой металлургии. Быстрозакристаллизованные сплавы, САПы, САСы, сплавы с частицами карбида кремния, направленно закристаллизованные эвтектики.

14.4. Области применения магниевых сплавов и требования к ним. Свойства магния и его стандартные марки. Легирующие элементы и примеси в магниевых сплавах. Технологические схемы для отливок и деформированных полуфабрикатов магниевых сплавов. Особенности термической и деформационной обработки. Стандартные системы обозначения марок магниевых сплавов и их состояний (РФ и США). Промышленные литейные и деформируемые магниевые сплавы.

14.5. Области применения титановых сплавов и требования к ним. Свойства титана. Стандартные марки титановой губки. Легирующие элементы и примеси в титановых сплавах. Основные типы двойных диаграмм. Фазовые превращения в титановых сплавах. Деформируемые и литейные титановые сплавы.

Раздел 15. Сплавы и композиционные материалы на основе тяжелых металлов /1а/

15.1. Области применения медных сплавов и требования к ним. Свойства меди и ее стандартные марки. Легирующие элементы и примеси в медных сплавах. Классификация медных сплавов. Особенности термической и деформационной обработки. Латунни; деформируемые и литейные латунни; маркировка, структура свойства и применение. Коэффициенты Гийе.

15.2. Бронзы литейные и деформируемые, оловянные и безоловянные; маркировка, структура, свойства и применение. Медноникелевые сплавы: мельхиор, нейзильбер, константан. Композиционные материалы на основе меди.

15.3. Никель и его сплавы; маркировка, структура, свойства и применение. Особенности состава и структуры жаростойких и жаропрочных сплавов. Тугоплавкие металлы: вольфрам, молибден и ниобий; взаимодействие с примесями, структура, свойства и применение.

15.4. Цинк, свинец, олово и их сплавы; маркировка, строение, свойства и применение. Антифрикционные сплавы. Мягкие припои. благородные металлы: золото, серебро, платина и сплавы на их основе; маркировка, структура, свойства и применение.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Новиков И.И., Строганов Г.Б., Новиков А.И. Металловедение, термообработка и рентгенография. - М.: МИСиС, 1994. - 480 с.
2. Белов Н.А. Основы материаловедения. Конспект лекций (электронная версия). МИСиС, 2007.
3. Белов Н.А., Хван А.В. Основы материаловедения (Ч.3). Лабораторный практикум (электронная версия). – М.: МИСиС, 2006.
4. Турилина В. Ю., Добаткин С В. Материаловедение и термическая обработка металлов: Практикум / Под ред. С. А. Никулина - М.: Изд-во Учеба МИСиС, 2005. – 77 с.
5. Никулин С. А., Турилина В. Ю. Материаловедение и термическая обработка металлов: Специальные стали: Учебно-методическое пособие. – М.: МИСиС, 2006. – 57 с.
6. Материаловедение. Ч. 1: Лаб. практикум / Под ред. В. П. Канева. – М.: МИСиС, 2004. – 143 с.
7. Белов Н.А. Диаграммы состояния тройных и четверных систем. - М.: МИСиС, 2007

ЧАСТЬ 10. ЛИТЕЙНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Раздел 1. Теоретические основы литейного производства

1.1 Литейные свойства сплавов. Связь литейных свойств с физическими и физико-химическими характеристиками.

1.2 Роль поверхностных явлений в процессе производства отливок.

1.3 Взаимодействие расплавов с газами. Системы кислород - металл, водород - металл, азот - металл. Кинетика образования и развития газовых пузырей.

1.4 Неметаллические включения, их классификация. Источники и кинетика образования включений. Рафинирование шлаком, флюсами, фильтрацией, продувкой газами и др.

1.5 Виды модифицирования. Модификаторы, их классификация и свойства.

1.6 Заполнение литейных форм. Характер металлических потоков в реальных литейных формах. Принципиальные основы конструирования и расчета литниковых систем.

1.7 Тепловые условия затвердевания отливок. Использование теории кристаллизации для регулирования структуры сплава. Формирование структурных зон в отливке. Влияние тепло- физических свойств литейной формы, воздействие основных параметров технологического процесса.

1.8 Ликвация в отливках. Методы борьбы с отрицательными последствиями ликваций.

1.9 Усадочные явления при затвердевании отливки. Способы выведения усадочных раковин из рабочей части отливок. Прибыли, их месторасположение и форма. Принципы расчета прибыли.

1.10 Линейная усадка отливки. Изменение пластических и прочностных свойств металла по мере его охлаждения. Трещины, возникающие при высоких температурах («горячие трещины»). Развитие в отливках усадочных напряжений и образование трещин при пониженных температурах («холодные трещины»). Методы предупреждения трещин и уменьшения остаточных напряжений.

1.11 Формирование поверхности отливки, развитие пригара. Микрорельеф поверхности отливки. Пригар, классификация его видов.

Раздел 2. Технологические основы литейного производства

2.1 Изготовление отливок в разовых формах. Современные требования к конструированию и применению модельно-опочной оснастки к формовочным материалам и смесям для обеспечения высокого качества отливок, снижения их себестоимости. Регенерация отработанных смесей. Современные способы формообразования. Основные направления в развитии способов изготовления стержней.

2.2 Особенности конструкции и расчета литниково-питающих систем для получения отливок из различных сплавов в разовых формах. Контроль качества отливок.

2.3 Литье в оболочковые формы и по выплавляемым моделям. Свойства получаемых отливок и область их применения.

2.4 Литье в кокиль.

2.5 Литье под давлением. Свойства и характерные дефекты отливок.

2.6 Центробежное литье. Различные схемы технологического процесса. Особенности затвердевания отливок в поле центробежных сил.

2.7 Полунепрерывное литье слитков и полых изделий (труб). Стойкость металлических форм (кокилей, форм литья под давлением, изложниц и др.).

2.8 Специальные виды изготовления отливок: металлургических изложниц и прокатных валков.

Раздел 3. Производство чугунных и стальных отливок

3.1 Классификация промышленных железо-углеродистых литейных сплавов по составу и структуре. Первичная и вторичная кристаллизация чугуна и стали в литейных формах. Влияние химического состава, термовременной обработки, условий охлаждения, модифицирования и др. факторов на формирование структуры стальных и чугунных отливок. Современные представления о процессе графитизации. Структурные диаграммы и выбор состава чугуна для отливок. Литейные свойства. Структурно-чувствительные свойства жидкого железа и его сплавов (вязкость, поверхностное натяжение, плотность и др.) - Жидкотекучесть чугунов и сталей, основные факторы ее определяющие. Объемная и линейная усадка, свободная и затрудненная.

3.2 Отливки из конструкционных нелегированных сталей. Технология выплавки углеродистых сталей для отливок в различных плавильных агрегатах.

3.3 Отливки из конструкционных легированных сталей, их состав и свойства. Область применения. Особенности технологии выплавки сталей и изготовления отливок.

3.4 Отливки из высоколегированных сталей. Основные принципы легирования и пути снижения расхода дефицитных легирующих материалов. Выплавка

высоколегированных сталей для отливок, использование отходов и лома. Коррозионностойкие, жаропрочные и жаростойкие стали. Износостойкая высоколегированная марганцем сталь. Основные служебные и технологические свойства высоколегированных сталей для отливок. Методы получения отливок с дифференцированными свойствами. Физико-химические основы получения двухслойных отливок.

3.5 Отливки из серого чугуна с пластинчатым графитом. Модифицирование и легирование чугуна. Особенности изготовления отливок из серого чугуна, обусловленные его технологическими свойствами.

3.6 Отливки из ковкого чугуна, особенности производства и области их применения. Режимы отжига отливок для получения ковкого чугуна на ферритной и на перлитной основе.

3.7 Отливки из чугуна с шаровидным графитом. Теоретические и технологические основы получения высокопрочного чугуна. Модификаторы, их свойства, способы введения. Отливки из легированных чугунов с шаровидным графитом.

3.8 Плавка чугуна для отливок. Плавильные агрегаты. Шихтовые материалы, топливо, флюсы, применяемые для выплавки чугуна. Конструкция современных высокопроизводительных вагранок и теплотехнические особенности процесса, методы его интенсификации. Контроль, регулирование и автоматизация ваграночного процесса. Выплавка чугуна в электродуговых и индукционных печах. Дуплекс-процессы, их варианты. Выплавка синтетического, модифицированного ковкого и легированного чугуна.

Раздел 4. Производство отливок из цветных металлов и сплавов с особыми свойствами

4.1 Техничко-экономические условия применения отливок из сплавов цветных металлов и вопросы экономии цветного сырья. Способы получения сплавов.

4.2 Основные процессы, происходящие при сплавлении. Испарение и кипение цветных металлов и сплавов. Пути снижения потерь металла при плавке и их экономическая эффективность. Системы — водород-металл, кислород-металл, пары воды-металл и др. Взаимодействие цветных металлов и сплавов с футеровкой плавильных печей, флюсами и защитными покровами. Методы и сущность очистки металлов и сплавов. Назначение и виды модифицирования расплавов. Методы оценки качества расплавов. Расчет шихты. Пути снижения себестоимости жидкого металла.

4.3 Особенности производства отливок из алюминиевых сплавов. Принципы легирования алюминиевых литейных и деформируемых сплавов. Промышленные марки литейных и деформируемых сплавов, их свойства и области применения. Технология плавки, рафинирования и модифицирования основных групп промышленных сплавов. Особенности производства отливок из магниевых сплавов. Основные физико-химические свойства магния. Влияние примесей. Промышленные марки литейных и деформируемых сплавов. Технология плавки, рафинирования и модифицирования основных групп промышленных сплавов. Требования к рафинирующим и покровным флюсам. Особенности изготовления отливок литьем в разовые формы, в кокиль, под давлением.

4.4 Производство отливок из медных сплавов. Основные физико-химические свойства меди, определяющие выбор технологии плавки. Промышленные марки литейных и деформируемых сплавов, их свойства и области применения. Технология плавки бескислородной меди и меди, содержащей металлические примеси. Раскисление, рафинирование и модифицирование сплавов. Особенности технологии изготовления отливок из медных сплавов.

4.5 Производство отливок из никелевых сплавов. Основные физико-химические свойства никеля, определяющие выбор технологии плавки. Промышленные марки литейных и деформируемых сплавов. Технология плавки групп промышленных сплавов. Рафинирование и модифицирование.

4.6 Производство отливок из титана и его сплавов. Физико-химические свойства титана, определяющие выбор технологии плавки и литья. Промышленные марки литейных и деформируемых сплавов. Печи для плавки титановых сплавов. Технология плавки литейных и деформируемых сплавов. Особенности литья в разовые формы, по выплавляемым моделям и в оболочковые формы.

4.7 Производство отливок из циркониевых, ниобиевых, молибденовых и других тугоплавких сплавов.

4.8 Производство отливок из цинковых сплавов. Технология литья в кокиль и под давлением.

4.9 Производство отливок из благородных металлов и их сплавов.

4.10 Производство слитков. Требования, предъявляемые к слиткам цветных и редких металлов и сплавов. Литье слитков в изложницы. Литье слитков непрерывным и полунепрерывным методами. Принцип литья. Кристаллизаторы. Литейные машины. Режимы литья круглых, плоских и полых слитков. Практика литья слитков из сплавов на основе алюминия, меди, магния, титана, циркония и др. непрерывным методом.

Раздел 5. Оборудование и проектирование литейных цехов и заводов

5.1 Основные направления в развитии современного плавильного, формовочного, стержневого оборудования, машин специальных способов литья.

5.2 Автоматические литейные линии для массового, серийного производства отливок из цветных сплавов. Автоматизация подготовки исходных материалов и приготовления формовочных и стержневых смесей. Современные способы выбивки форм, стержней и очистки отливок. Автоматизация процессов выбивки и очистки.

5.3 Задачи в области проектирования литейных цехов и заводов. Выбор и обоснование объемно-планировочных, технических, архитектурно-строительных и социальных решений литейных цехов и заводов.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Куманин И. Б. Вопросы теории литейных процессов. Из-во «Машиностроение», М., 1976, с. 216, с илл.
2. Ефимов В. А. Разливка и кристаллизация стали. Из-во «Металлургия», М., 1976, с. 552, с илл.
3. Гуляев Б. Б. Теория литейных процессов. Из-во «Машиностроение», Л., 1976, с. 216, с илл.
4. Баландин Г. Ф., Формирование кристаллического строения отливок. Из-во «Машиностроение», М., 1973, с. 288, с илл.
5. Бауман Б. В., Благов Б. И. и др. Литейное производство. Под редакцией Куманика И. Б, Из-во «Машиностроение», М., 1971, с. 318, с илл.
6. Гуляев Б. Б. Литейные процессы. Из-во «Машиностроение», Л., 1960, с. 416, с илл.
7. Лева Л. И., Кантеник С. К. Литейные сплавы. Из-во «Высшая школа», М., 1967, с. 432, с илл.
8. Рыжиков А. А. Теоретические основы литейного производства. Машгиз, М., 1961, с. 447, с илл.
9. Курдюмов А. В., Михайлов А. М. и др. Лабораторные работы по технологии литейного производства. Из-во «Машиностроение», М., 1970, с. 200, с илл.
10. Вейник А. И. Тепловые основы теории литья. Машгиз, М., 1959, с. 435, с илл.
11. Степанов Ю. А. Анучина М. Г. Баландин Г. Ф., Константинов Л. С. Специальные виды литья. Из-во «Машиностроение», М., 1970, с. 233, с илл.

12. Гиршович Н. Г. Кристаллизация и свойства чугуна в отливках. Из-во «Машиностроение», Л., 1966, с. 562, с илл.
13. Бунин К. П., Малиночка Я. И., Таран Ю. Н. Основы металлографии. Изд-во «Металлургия», М., 1969, с. 416, с илл.
14. Василевский И. Ф. Технология стального литья. Из-во «Машиностроение», М., 1974, с. 408, с илл.
15. Кремер М. А. Фасонное литье из легированных сталей. Из-во «Машиностроение», М., 1964, с. 227, с илл.
16. Курдюмов А. В., Пикунов М. В., Чурсин В. М. Литейное производство цветных и редких металлов. Из-во «Металлургия», М., 1972, с. 496, с илл.
17. Альтман М. Б. и др. Плавка и литье легких сплавов. Из-во «Металлургия», М., 1969, с. 680, с илл.
18. Цветное литье. Инженерная монография. Под ред. Колобнева И. Ф. Из-во «Машиностроение», М., 1966, с. 381, с илл.
19. Альтман М. Б. и др. Плавка и литье сплавов цветных металлов. Из-во «Металлургия», М., 1963, с. 524, с илл.
20. Плавка и литье алюминиевых сплавов. Из-во «Металлургия», М., 1970, с. 416, с илл.
21. Аксенов П. Н. Оборудование литейных цехов. Из-во «Машиностроение», М., 1968, с. 447, с илл.
22. Шестопад В. М. Проектирование машиностроительных заводов и цехов, т. 2. Проектирование литейных цехов и заводов. Из-во «Машиностроение», М., 1974, с. 287, с илл.
23. Чунаев М. В. Основы конструирования автоматических устройств литейного производства. Из-во «Машиностроение», М., 1960, с. 460, с илл.
24. Правила техники безопасности и производственной санитарии в литейном производстве машиностроительной промышленности. Из-во «Машиностроение», М., 1967, с. 112, с илл.
25. Макурин П. И. Техника безопасности в литейных цехах. Из-во «Машиностроение», М., 1965, с. 307, с илл.
26. Гини Э.Ч. Технология литейного производства: Специальные виды литья: Учебник для студ. высш. учеб. заведений / Э.Ч. Гини, А.М. Зарубин, В.А. Рыбкин; под. Ред. В.А. Рыбкина. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 352
27. Иванов В.Н. Специальные виды литья: Учебное пособие / Под ред. В.С. Шуляка. – М.: МГИУ, 2007. – 316 с.

28. Специальные виды литья: справочник / Под ред. В.А.Ефимова. – М.: Машиностроение, 1991 г. – 636 с.
29. Галдин Н.М., Чернега Д.Ф. и др. Цветное литье. Справочник. – М.: Машиностроение, 1989. – 528 с.
30. Трухов А.П., Маляров А.И. Литейные сплавы и плавка. – М.: Изд. центр «Академия», 2004. – 336 с.
31. Воздвиженский В.М., Грачев В.А., Спасский В.В. Литейные сплавы и технология их плавки в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1984. – 432 с.
32. Алюминий и его сплавы в жидком состоянии / В.Н. Денисов, В.В. Пингин, Л.Т. Антонова и др. – Екатеринбург: УрО РАН, 2005. – 267 с.
33. Еланский Г.Н., Еланский Д.Г. Структура и свойства металлических расплавов. – М.: МГВМИ, 2006. – 228 с.
34. Исходные расплавы как основа формирования структуры и свойств алюминиевых сплавов / И.Г. Бродова, П.С. Попель, Н.М. Барбин, Н.А. Ватолин. – Екатеринбург: КрО РАН, 2005. – 370 с.
35. Козлов Л.Я., Колоколыцев В.М., Тэн Э.Б. и др. Производство стальных отливок. – М.: МИСиС, 2005.
36. Белов В.Д. и др. Производство чугуновых отливок. – Магнитогорск: МГТУ, 2011.
37. Курдюмов А.В., Белов В.Д., Пикунов М.В. и др. Производство отливок из сплавов цветных металлов. – М.: МИСиС, 2005.

ЧАСТЬ 11. ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ В РАЗЛИЧНЫХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ АГРЕГАТАХ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ В РАЗЛИЧНЫХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ АГРЕГАТАХ

1. Классификация сталей. Влияние состава на качество стали. Сущность сталеплавильного производства. Способы производства стали.

2. Основные реакции сталеплавильного производства. Шлакообразование. Состав и свойства сталеплавильных шлаков и их роль в технологическом процессе.

3. Материалы, используемые при производстве стали: структура и состав металлошихты, источники кислорода, шлакообразующие материалы. Требования к шихтовым материалам и технологии, используемые для подготовки их к плавке.

4. Конвертерное производство стали. Общее устройство основного оборудования. Нормативный цикл конвертерной плавки.

5. Спецэлектрометаллургия.

6. Электросталеплавильное производство. Классификация способов производства стали с использованием электрической энергии. Устройство дуговых электропечей.

7. Методы выплавки стали в основной дуговой электропечи. Переплав легированных отходов в дуговой печи. Основные периоды плавки, их задачи.

8. Внепечная обработка стали. Цели и методы обработки. Раскисление и легирование стали в ковше. Способы отсечки шлака по ходу выпуска металла из сталеплавильного агрегата. Применение нейтральных газов для обработки жидкой стали в ковше. Десульфурация стали с использованием синтетических шлаков, твердых и порошкообразных смесей. Влияние обработки на качество готового металла. Дефосфорация. Вакуумирование жидкой стали в ковше: способы и технологии, применяемое оборудование. Влияние вакуумирования на качество готового металла. Комплексная обработка жидкой стали в ковше.

9. Непрерывные сталеплавильные процессы: варианты технологических схем и применяемого оборудования. Современное состояние и перспективы развития.

10. Кристаллизация и разливка стали.

11. Производство ферросплавов

12. Математическая модель, задачи этапы математического моделирования

ЧАСТЬ 12. ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ И КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Раздел 1. Порошковая металлургия

а) Методы получения порошков /1а-2а, 1б-2б/

1.1. Значение порошковой металлургии. История развития порошковой металлургии. Основные технологические схемы производства спеченных материалов. Классификация методов получения порошков.

1.2. Механические методы получения порошков. Производство порошков измельчением твердых металлов и распылением жидких металлов и сплавов методами газового, жидкостного и центробежного распыления.

1.3. Физико-химические основы процессов, оборудование, достоинства и недостатки различных методов, области использования. Методы получения аморфных и нанопорошков механическими методами.

1.4. Получение металлических порошков методом восстановления оксидов металлов твердым и газообразным восстановителем. Физико-химические основы процессов.

1.5. Практика получения порошков железа, вольфрама, титана. Физико-химические методы получения нанопорошков. Производство металлических порошков электролизом водных растворов и расплавленных сред.

1.6. Производство порошков методом термической диссоциации карбонильных соединений. Физико-химические основы процессов, практика получения порошков. Свойства металлических порошков и методы их контроля.

б) Формование и спекание металлических порошков /3а-4а, 3б-4б/

1.7. Подготовка порошков. Закономерности процесса уплотнения порошков в стальной пресс-форме. Процессы, происходящие при прессовании. Зависимость плотности от давления прессования. Распределение плотности по объему брикета. Потери давления на трение. Упругое последствие. Прессование со смазкой. Брак при прессовании.

1.8. Горячее изостатическое прессование. Инжекционное прессование. Лазерная формование. Практика прессования. Прессы и пресс-формы. Варианты формования металлических порошков: горячее, изостатическое, динамическое, импульсное, вибрационное, прокатка, шликерное литье. Особенности процессов, аппаратурное оформление.

1.9. Основные закономерности процесса спекания в твердой фазе. Роль поверхностной и объемной диффузии. Усадка при спекании. Влияние технологических параметров на процесс спекания и свойства спеченных изделий. Особенности спекания многокомпонентных систем. Влияние гетеродиффузии на процесс усадки.

1.10. Основные закономерности процесса спекания многокомпонентных систем в присутствии жидкой фазы, исчезающей и присутствующей до конца изотермической выдержки при нагреве. Кинетика усадки. Факторы, влияющие на плотность и зернистость сплавов.

1.11. Пропитка как разновидность жидкофазного спекания. Физико-химические основы и закономерности процесса пропитки. Практика процессов спекания. Атмосфера спекания, печи спекания, брак при спекании.

в) Спеченные материалы с особыми свойствами /5а-9а, 5б-6б/

1.12. Классификация спеченных материалов. Спеченные пористые подшипники и фильтры. Основные составы. Технология получения. Физические, механические и эксплуатационные свойства.

1.13. Антифрикционные и фрикционные материалы. Основные принципы работы. Структура и свойства твердых смазок. Технология изготовления, свойства, области применения и перспективы развития.

1.14. Спеченные электротехнические материалы: для скользящих и разрывных электрических контактов, магниты. Особенности работы, виды износа. Физико-химические основы и технология производства, области применения.

1.15. Спеченные твердые сплавы, их классификация. Технологическая схема получения, свойства, области применения. Конструкционная керамика. Характеристика исходных материалов. Технологические варианты получения. Нанесение керамических покрытий. Свойства, области применения.

1.16. Жаропрочные спеченные материалы: дисперсно-упрочненные и волокнистые. Особенности технологии, основные свойства и области применения.

1.17. Алмазосодержащие спеченные материалы. Синтез алмазов. Получение алмазного инструмента с различными связками.

Раздел 2. Технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) /10а-13а, 7б-9б/

2.1. Введение. Общая характеристика СВС – процессов. Типы химических реакций и основные классы продуктов в СВС. Тепловой механизм распространения волны СВС.

2.2. Структура волны безгазового горения. Расчет адиабатических температур горения и равновесных концентраций продуктов синтеза.

2.3. Типы кинетических законов, их физико-химическое объяснение и влияние на структуру волны СВС (узкие и широкие зоны реакции). Принципы экспериментального определения эффективных кинетических параметров процесса СВС.

2.4. Экспериментальные методы измерения скорости горения. Локальные и глобальные значения скорости распространения волны СВС. Определение температурных профилей процесса.

2.5. Формирование макроструктуры продукта (расширение, усадка). Формирование микроструктуры. Формирование кристаллической структуры продуктов.

2.6. Технология синтеза заготовок и порошков. Технология силового СВС-компактирования. Принципиальные схемы проведения процесса. Основные технологические параметры и их влияние на структуру и свойства продуктов горения.

2.7. СВС - металлургия. Технология СВС - сварки. Новые материалы, полученные по технологиям СВС. Структура и свойства синтетических твердых инструментальных материалов (СТИМ). Функциональные градиентные материалы (ФГМ).

Раздел 3. Функциональные и наноструктурные покрытия /14а-18а, 106-126/

3.1. Вводная часть. Общая классификация методов и типов покрытий. Газотермические методы. Исходные материалы для нанесения покрытий. Технология плазменного напыления.

3.2. Электродуговое, детонационное, газопламенное напыление, методы напыления с использованием сверхзвуковых сопел. Наплавочные методы. Общие особенности. Плазменная и лазерная наплавка.

3.3. Методы электроискровой обработки и термореакционного упрочнения. Вакуумные методы нанесения покрытий. PVD и CVD технология.

3.4. Технология термического испарения. Способы нагрева. Варианты активации. Взаимодействие ионов с поверхностью твердого материала. Физические основы метода магнетронного распыления.

3.5. Физические основы метода катодно-дугового испарения. Химическое осаждение из газовой фазы. Теоретические основы метода. Классическая и улучшенные технологии.

3.6. Методы определения толщины покрытий. Методы экспресс-контроля адгезионной прочности покрытий. Определение химического и фазового состава покрытий

3.7. Спектроскопические методы исследования поверхности. Энерго-дисперсионная спектроскопия. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия, спектроскопия энергетических потерь электронов. Рамановская и ИК-спектроскопия. Оптическая эмиссионная спектроскопия.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

а) основная литература

1. Процессы порошковой металлургии. Т.1, Т.2. Производство металлических порошков: Учебник для вузов / Либенсон Г.А., Лопатин В.Ю., Комарницкий Г.В. и др. - М.: МИСиС, – 2002 г. – 688 с.
2. Кипарисов С.С., Либенсон Г.А. Порошковая металлургия. – М.: Металлургия, 1991. –432 с.
3. Аникин В.Н., Блинков И.В., Челноков В.С. и др. Теоретические основы спекания порошков: кинетика спекания реальных материалов: курс лекций. М.: Изд. дом МИСиС, 2014. 108 с.
4. Левинский Ю.В., Лебедев М.П. Теоретические основы процессов спекания металлических порошков. М.: Научный мир, 2014. 372 с.
5. Нарва В.К. Технология и свойства порошковых материалов и изделий из них. Конструкционные материалы. Курс лекций. М.: Изд. дом МИСиС, 2010 г. 122 с.
6. Нарва В.К. Технология порошковых материалов и изделий. Курс лекций. М.: Изд. дом МИСиС, 2012 г. 170 с.
7. Панов В.С., Чувиллин А.М., Фальковский В.А. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них. М.: Изд. дом МИСиС, 2004 г. 460 с.
8. Костиков В.И. Физико-химические основы технологии композиционных материалов: теоретические основы процессов создания композиционных материалов. Учебное пособие. М.: Изд. дом МИСиС, 2011. 285 с.
9. Костиков В.И. Физико-химические основы технологии композиционных материалов: директивная технология композиционных материалов. Учебное пособие. М.: Изд. дом МИСиС, 2011. 220 с.
10. Левашов Е.А., Рогачев А.С., Юхвид В.И., Боровинская И.П. Физико-химические и технологические основы самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Учебное пособие. М., Изд-во «Бином», 1999, 176 с.

11. Левашов Е.А., Рогачев А.С., Курбаткина В.В., Максимов Ю.М., Юхвид В.И. Перспективные материалы и технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Учебное пособие. Издательский дом МИСиС, 2011, 377 с.
 12. Амосов А.П., Боровинская И.П., Мержанов А.Г. Порошковая технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза материалов. Учебное пособие/ под научной редакцией В.Н. Анциферова, М., Машиностроение-1, 2007, 567 с.
 13. Кудинов В.В., Бобров Г.В. Нанесение покрытий напылением. Теория технология и оборудование. М.: Металлургия, 1992 г., 432 с.
 14. Л. Балдаев. Газотермическое напыление. М: Маркет ДС, 2007, 344 с.
 15. Берлин Е.В., Сейдман Л.А. Ионно-плазменные процессы в тонкопленочной технологии – М.: Техносфера, 2010. - 544 с.
 16. Наноструктурные покрытия. Под ред. Кавайлеро, Д. де Хоссона. М.: Техносфера, 2011 – 752 с.
 17. Гитлевич А.Е., Михайлов В.В., Парканский Н.Я. и др. Электроискровое легирование металлических поверхностей // Кишинев: Штиинца, 1985, 195 с.
 18. В.Г. Сыркин. CVD-метод. Химическое паровое осаждение. Наука. 2000. 458 с.
- б) дополнительная литература
1. Роман О.В., Габриелов И.П. Справочник по порошковой металлургии: порошки, материалы, процессы. Минск: Беларусь, 1988. 175 с.
 2. Металлические порошки и порошковые материалы / Под. ред. Левинского Ю.В. М.: Экомет, 2005. 520 с.
 3. Гегузин Я.Е. Физика спекания. М.: Наука, 1984. 312 с.
 4. Герман Р. Энциклопедия порошковой металлургии. М.: Издательский дом «Интеллект», 2009. 336 с.
 5. Ермаков С.С., Вязников Н.Ф. Порошковые стали и изделия. М.: Машиностроение, 1990 г. 240 с.
 6. Костиков В.И., Варенков А.Н. Композиционные материалы на основе алюминиевых сплавов, армированных углеродными волокнами. М.: Интернет Инжиниринг, 2000. 260 с.
 7. Рогачев А.С., Мукасян А.С. Горение для синтеза материалов: введение в структурную макрокинетику, М., Физматлит, 2012, 400 с.
 8. Мержанов А.Г. Процессы горения и синтез материалов. / Под ред. А.Е.Сычева. Черноголовка, Изд-во ИСМАН, 1998. 512 с.

9. Левашов Е.А., Рогачев А.С., Барзыкин В.В., Шкадинский К.Г. и др. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез: теория и практика Черноголовка, Изд-во «Территория», 2001. 432 с.

10. А. Пузряков. Теоретические основы технологии плазменного напыления. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008 г., 360 с.

11. Кадыржанов К.К., Комаров Ф.Ф., Погребняк А.Д. Ионно-лучевая и ионно-плазменная обработка материалов. – М.: Издат-во МГУ, 2005. – 640 с.

12. Берлин Е.В., Сейдман Л.А. Получение тонких плёнок реактивным магнетронным распылением – М.: Техносфера, 2014. - 256 с.

ЧАСТЬ 13. ТЕПЛОФИЗИКА И ЭКОЛОГИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Раздел 1. Механика жидкости и газа [1,3,5]

1.1 Основные понятия и допущения механики жидкостей и газов. Понятия идеальной и реальной, несжимаемой и сжимаемой жидкости. Силы, действующие в движущейся жидкости. Уравнения движения идеальной и реальной жидкости. Режимы движения реальной жидкости и их особенности. Методы описания турбулентности. Статика жидкости и газа. Особенности статики печных газов. Уравнение Бернулли для трубки тока идеальной жидкости и потока реальной жидкости в трубе. Виды гидравлических потерь. Постановка и примеры решения гидравлических задач для трубопроводов и систем эвакуации продуктов сгорания.

1.2 Назначение, основная идея, область применимости теории гидродинамического пограничного слоя. Виды пограничных слоев. Уравнения Прандтля для ламинарного и турбулентного пограничного слоя. Интегральные методы расчета пограничных слоев. Уравнение Кармана. Результаты расчета пограничных слоев при ламинарном и турбулентном режимах движения. Свободная струя, как частный случай пограничного слоя.

1.3 Основные понятия теории подобия. Класс, группа, явление. Множители преобразования и критерии подобия. Критерии гидродинамического подобия. Связь между критериями подобия. Основная теорема теории подобия. Связь между множителями преобразования, π -теорема подобия. Автомодельность процесса по отношению к критерию. Физическое моделирование задач гидрогазодинамики.

Раздел 2. Теория тепло- и массообмена и их моделирование [1,4,5,6]

2.1 Классификация механизмов переноса теплоты и массы примеси. Аналогия описания процессов молекулярного переноса различных субстанций. Виды конвективного переноса. Понятия теплоотдачи и теплопередачи. Закон теплоотдачи Ньютона-Рихмана. Дифференциальное уравнение конвективной теплоотдачи. Дифференциальное уравнение энергии и его применение для расчета теплоотдачи. Применение теории пограничного слоя для расчета переноса теплоты и массы примеси. Понятие теплового и диффузионного пограничного слоя. Уравнения энергии и конвективной диффузии для пограничного слоя. Интегральный метод расчета пограничного слоя (метод Кружилина Г.Н.) и его применение к расчету конвективной тепло- и массоотдачи при вынужденном движении жидкости вдоль плоской поверхности при ламинарном режиме. Решение задачи для

теплоотдачи при ламинарном режиме движения жидкости в трубе. Аналогия Рейнольдса и ее применение к расчету конвективной тепло- и массоотдачи при вынужденном движении жидкости вдоль плоской поверхности и в трубе при турбулентном режиме. Применение теории подобия для решения задачи конвективной теплоотдачи. Теплоотдача при свободной конвекции.

2.2 Гипотеза Фурье. Понятие температурного поля. Виды температурных полей. Постановка задачи стационарной теплопроводности. Стационарная теплопроводность в плоской одно- и многослойной стенке при граничных условиях первого, второго и третьего рода. Стационарная теплопроводность в цилиндрической одно- и многослойной стенке при граничных условиях первого, второго и третьего рода. Критический диаметр теплоизоляции. Способы интенсификации процесса теплопередачи и их анализ. Дифференциальное уравнение нестационарной теплопроводности. Постановка задачи нестационарной теплопроводности. Виды граничных условий. Применение теории подобия для решения задачи нестационарной теплопроводности. Решение дифференциального уравнения нестационарной теплопроводности при граничных условиях третьего рода методом Фурье и его анализ. Физический смысл критерия Био и его влияние на процесс нагрева и охлаждения тел. Регулярный тепловой режим и его особенности при граничных условиях первого, второго и третьего рода. Численные методы решения задачи теплопроводности. Методы конечных разностей и конечных элементов. Основные характеристики и свойства разностных схем. Методы создания разностных аналогов. Достоинства, недостатки, область рекомендуемого применения явной, чисто неявной разностной схем и схемы Кранка–Николсона.

2.3 Количественные характеристики процесса излучения, их физический смысл и размерность. Общая характеристика процесса переноса теплоты излучением. Виды излучения. Основные законы излучения абсолютно черного тела, их анализ и применение к излучению реальных тел. Виды лучистых потоков (спектрального и интегрального излучения) и связь между ними. Понятие серого тела. Законы излучения серого тела. Закон сохранения энергии для процесса излучения и его анализ. Виды постановок задач расчета теплообмена излучением в замкнутых системах. Геометрические угловые коэффициенты излучения и их свойства. Классический зональный метод расчета теплообмена излучением в системах с лучепрозрачной средой. Обобщенные угловые коэффициенты излучения и их свойства. Особенности применения классического зонального метода расчета теплообмена излучением в системах с излучающе-поглощающей средой. Понятие о зонах третьего рода. Неудобства применения классического зонального метода к системам с зонами третьего рода. Резольвентный

зональный метод расчета сложного теплообмена. Разрешающие угловые коэффициенты излучения – физический смысл, связь с другими коэффициентами излучения, методы расчета. Методы решения задач сопряженного теплообмена.

Раздел 3. Теория, тепловая работа и конструкции печей металлургического производства, теория и практика генерации теплоты [2]

3.1 Классификация промышленного оборудования с энергетической точки зрения. Понятие рабочего вида энергии и его использование. Промышленные печи как технологическое оборудование. Основные зоны печей и их взаимное положение. Печи-теплогенераторы, печи-теплообменники и печи смешанного типа. Тепловые режимы работы печей-теплообменников и основные лимитирующие процессы их тепловой работы. Печи-теплогенераторы и основные лимитирующие процессы их тепловой работы. Тепловые режимы работы печей-теплообменников и способы интенсификации процессов переноса теплоты из зоны генерации теплоты к зоне технологического процесса. Интенсификация работы печей-теплогенераторов при различных режимах их тепловой работы. Количественные показатели эффективности тепловой работы печей. Роль кладки и её радиационных свойств в организации теплообменных процессов в рабочем пространстве печей. Влияние радиационных свойств излучающей и поглощающей среды, заполняющей рабочее пространство печей, на теплообменные процессы. Схемы движения газов в рабочем пространстве печей. Рациональная организация движения газов как средство повышения эффективности тепловой работы печей. Тепловой баланс печей периодического и непрерывного действия. Расчет и анализ приходных и расходных статей теплового баланса. Расчет удельных показателей эффективности работы печей с энергетической точки зрения.

3.2 Основные источники теплоты как рабочего вида энергии для реализации технологических процессов. Генерация теплоты за счет химической энергии топлива. Характеристика топлив, используемых в металлургии. Количественные показатели качества топлива. Расчеты горения топлива. Устройства для сжигания топлива: классификация, конструкции, принципы работы, схема выбора. Современные тенденции повышения эффективности работы устройств для сжигания топлива. Генерация теплоты за счет электрической энергии. Основные принципы и способы генерации теплоты. Преимущества и недостатки использования электрической энергии как источника теплоты. Теплогенерация за счет химической энергии сырьевых материалов металлургического производства. Использование вторичных энергоресурсов

технологических процессов. Технико-экономическое обоснование основных целей использования вторичных энергоресурсов.

3.3 Тепловой и температурный режимы работы печей. Тепловая работа доменных печей. Схема процессов теплообмена в слое кусковых материалов. Факторы интенсификации теплообменных процессов в доменной печи. Тепловой баланс доменных печей. Тепловая работа конвертеров для производства стали.

3.4 Особенности конструкции и тепловой работы различных типов кислородных конвертеров. Тепловой баланс кислородных конвертеров и его анализ. Конструкции и тепловая работа дуговых сталеплавильных печей. Способы интенсификации теплообменных процессов в рабочем пространстве. Тепловой баланс печей и его анализ. Конструкции и тепловая работа печей для нагрева слябов, блюмов и заготовок перед обработкой металла давлением. Особенности нагрева термически тонких и массивных в тепловом отношении тел. Классический трехстадийный режим. Система отопления и эвакуации дымовых газов из печей. Утилизация теплоты дымовых газов. Способы снижения угара металла и повышения качества нагрева заготовок. Тепловая работа и конструкции печей с кольцевым подом, роликовых печей, печей для нагрева стальной ленты. Тепловая работа печей шахтного типа, отражательных печей для производства меди, печей кипящего слоя для обжига сульфидных материалов, электрических рудно-термических печей цветной металлургии.

Раздел 4. Экология и очистка газов [7,8,9,10]

4.1 Современные методы и аппараты очистки газов. Аппараты для очистки газов от пыли, их энерго-экологические показатели, особенности расчета и эксплуатации. Сухие механические пылеуловители (осадительные камеры, циклоны). Аппараты фильтрующего действия (рукавные фильтры, зернистые и волокнистые). Аппараты мокрой очистки (форсуночные скрубберы, скрубберы Вентури, центробежные батарейные скрубберы, пенные аппараты, аппараты с псевдоожиженной шаровой насадкой, центробежно-барботажные аппараты). Электрофильтры (типа ЭГА, ДМ). Методы нейтрализации вредных газов. Нейтрализация кислотообразующих газов с применением аммиака, карбамида, оксидов серы. Термическая нейтрализация горючих вредных выбросов – оксидов углерода, сажи, цианистого водорода, аммиака, диоксинов, фуранов, полициклических и ароматических углеводородов, углеводородов, ЛОС.

4.2 Общие энерго-экологические и экологические вопросы металлургического производства. Энерго-экологическая оценка эффективности металлургического производства России. Экологически наилучшие доступные технологии металлургических

переделов: агломерационные установки, производство окатышей, коксовые печи, доменные печи, конвертерное производство стали, производство стали в электродуговых печах. Новые методы производства железа и чугуна и их энерго-экологические особенности. Доступные энерго-экологически эффективные технологии нагрева металла в прокатном и кузнечном производствах. Основные направления и возможные результаты повышения энерго-экологической эффективности технологии черной металлургии. Экологическое нормирование на основе изучения и анализа удельных показателей металлургического производства.

Раздел 5. Автоматизация процессов получения и обработки материалов [11,12,13]

5.1 Металлургический печной агрегат – как объект автоматизированного контроля и регулирования.

5.2 Понятие о температуре. Температурные шкалы. Международная температурная шкала МТШ-90. Классификация методов и средств измерения температуры. Термоэлектрические термометры. Сущность термоэлектрического метода измерения температуры. Основные типы термоэлектрических термометров, их устройство, погрешности, пределы и условия измерения, компенсационные провода. Схемы включения, введение поправок. Бесконтактный метод измерения температуры. Основные законы излучения. Условные температуры. Пирометры: суммарного излучения, частичного излучения, спектрального отношения. Устройство, основные методические погрешности измерения. Тепловизоры. Измерение температуры в металлургии. Измерение температуры жидкого и твердого металла. Измерение температуры газа и жидкости. Измерение температуры сыпучих тел. Схемы установки термометров на объектах металлургического производства: в печах, на станах и т.п. Измерение тепловых потоков. Тепломеры и термозонды. Типы, конструкции. Особенности применения в металлургии. Классификация средств автоматизации. АСУ ТП: задачи, состав, структура. Технические средства систем автоматического контроля и управления. Типовые узлы систем автоматического регулирования. Законы регулирования. Автоматическое регулирование температуры, горения топлива, давления в рабочем пространстве печи. Автоматизация доменных печей. Автоматический контроль доменной плавки. Автоматическое управление тепловым режимом. Автоматическое регулирование хода доменной печи. Автоматизация кислородных конвертеров.

5.3 Автоматизация электрических плавильных печей. Автоматизация машин непрерывного литья заготовок.

5.4 Автоматизация проходных нагревательных печей: методических, с шагающими балками и с шагающим подом. Автоматизация проходных нагревательных печей: секционных, кольцевых, роликовых.

5.5 Автоматизация термических колпаковых и камерных печей.

5.6 Автоматизация протяжных печей для термической и термохимической обработки полосового металла.

5.7 Общие сведения об автоматизации газоочистных установок. Регулирование температуры в газоочистной установке. Регулирование уровня пыли в бункере газоочистной установки. Автоматизация процесса очистки газа в электрофильтре. Статические и динамические характеристики электрофильтра. Система автоматического регулирования электрическим режимом электрофильтра. Автоматическое управление режимом работы системы встряхивания электродов. Автоматическое управление свойствами пылегазового потока на входе в электрофильтр.

5.8 Структура и инструментальное обеспечение системы автоматизированного исследования теплофизических процессов. Мобильный комплекс оперативной диагностики тепловых агрегатов

5.9 Системы автоматизированного исследования процессов нагрева стали в печах непрерывного типа.

5.10 Система автоматизированного исследования термообработки металла в колпаковых печах.

5.11 Система автоматизированного исследования термообработки металла в печах непрерывного отжига.

РЕКОМЕНДОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Теплотехника металлургического производства. т.1. Теоретические основы: Учебное пособие для вузов/Кривандин В.А., Арутюнов В.А., Белоусов В.В. и др.– М.:МИСИС, 2002.–608с.

2. Теплотехника металлургического производства. т.2. Конструкция и работа печей: Учебное пособие для вузов/Кривандин В.А., Арутюнов В.А., Белоусов В.В. и др.– М.:МИСИС, 2001.–736с.

3. Механика жидкости и газа: Учебное пособие для вузов. 2-е издание, перераб и доп./Под ред. В.С. Швыдкого.– М.: ИКЦ «Академкнига», 2003.–464с.

4. Исаченко В.П. и др. Теплопередача. Учебник для вузов, изд. 3-е, перераб. и доп. М., «Энергия», 1975-488с.

5. Прибытков И.А. Теоретические основы теплотехники: Учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / И.А. Прибытков, И.А. Левицкий; под ред. И.А. Прибыткова. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 464 с.
6. Арутюнов В.А., Бухмиров В.В., Крупенников С.А. Математическое моделирование тепловой работы промышленных печей: Учебник для вузов. М.: Металлургия, 1990.
7. Оценка и пути достижения экологической чистоты металлургического производства: учебник / М.Н. Игнатъев, С.В. Карелов, Л.А. Мочалова, Г.Ю. Пахальчак, В.Л. Советкин, Ю.Г. Ярошенко, С.В. Ярушин; под общей ред. Ю.Г. Ярошенко. Екатеринбург: УГТУ – УПИ, 2008, 391 с.
8. Шульц Л.А. Энерго – экологический анализ эффективности металлургических процессов: учебн. пособие М.: Изд. ДОМ МИСиС, 2014. – 267 с
9. Старк С.Б. Газоочистные аппараты и установки в металлургическом производстве: учебник. – М.: Металлургия, 1990. 400 с.
10. Защита атмосферы от промышленных загрязнений (пер. с английского): справочник в двух частях под редакцией С. Каверта и Г.М. Инглунда. М. Металлургия. Часть 1, 1988. 760 с., Часть 2, 1988. 712 с.
11. А.М. Беленький, В.Ф. Бердышев, О.М. Блинов, В.Ю. Каганов. "Автоматическое управление металлургическими процессами", М., Металлургия, 1989.
12. Основы теории и элементы систем автоматического регулирования. Учебник для вузов / В. Ю. Каганов, Г. М. Глинков, М. Д. Климовицкий, А. К. Климушкин. – М.: Металлургия, 1987. – 270 с.
13. Блинов О.М., Беленький А.М., Бердышев В.Ф. Теплотехнические измерения и приборы. М., Металлургия, 1993 – с. 288.

ЧАСТЬ 14. ЭКСТРАКЦИЯ ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ

Раздел 1. Подготовка сырья к плавке

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

1.2 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.

1.3 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. Metallургические свойства агломерата. Энергозатраты на производство агломерата. Выбросы в окружающую среду в агломерационном производстве. Экономика процесса.

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

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

Раздел 2. Производство чугуна в доменных печах

2.1 Доменная печь. Основные процессы. Нагрев и разложение шихты.

2.2 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.

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

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

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

2.6 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.

2.7 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.

2.8 Конструкция доменных печей. Профиль печи. Футеровка и кожух. Система охлаждения. Чугунная и шлаковая лётки. Воздушные фурмы. Засыпной аппарат.

2.9 Оборудование доменных цехов. Подача материалов к доменной печи. Устройства для уборки чугуна и шлака. Разливочная машина. Очистка доменного газа. Устройство и режим работы воздухонагревателя.

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

Раздел 3. Внедоменное получение первичного металла.

3.1 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.

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

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

РЕКОМЕНДОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

а) основная литература

1. Вегман Е.Ф., Жеребин. Б.Н. Похвиснев А.Н. и др. Металлургия чугуна. М. Metallurgia. 2004, 717 с.
2. Вегман Е.Ф. Теория и технология агломерации. М. Metallurgia. 1974г., 288с.
3. Ванюков А.В., Зайцев В.Я. Теория пирометаллургических процессов. М. Metallurgia. 1993г., 415с.
4. Доменное производство. Справочник т. 1. Под редакцией Е.Ф. Ветмана. М. металлургия. 1989г., 496с.
5. Карабасов Ю.С., Чижикова В.М. Физико-химические восстановления железа из оксидов. М. Metallurgia. 1986г., 200с.
6. Китаев Б.И., Ярошенко Ю.Г., Суханов Е.Л. Теплофизика доменного производства. М. Metallurgia 1978г., 396с.
7. Леонтьев Л.И., Ватолин Н. А., Шаврин С.В. и др. Пирометаллургическая переработка комплексных руд. М. Metallurgia. 1997г., 432с.
8. Лобанов В.И., Ясников Г.П., Гордон Я.М., Телегин А.С. Техническая термодинамика М. Metallurgia 1992г., 240с.
9. Писи Дж.Г., Давенпорт В.Г., Доменный процесс. Теория и практика. М. Metallurgia. 1984г, 142с.
10. Плавка в жидкой ванне (Ванюков В.А., Быстров В. П., Васкевич А.Д. и др.) М. Metallurgia. 1988г., 208с.
11. Рамм А.Н. Современный доменный процесс. М. Metallurgia. 1980г., 304с.
12. Старк С.Б. Газоочистные аппараты и установки в металлургической промышленности. М. Metallurgia 1990г., 400с.
13. Юсфин Ю.С., Гиммельфарб А.А., Пашков А.Ф. Новые процессы получения металла. Metallurgia железа. М. Metallurgia 1994г., 320с.

б) дополнительная литература

1. Гиндин Л.М. Экстракционные процессы и их применение. М. Наука, 1984 г., 144с.
2. Жеребин Б.Н. Практика ведения доменной печи. М. Metallurgia 1980г., 248с.

3. Жеребин Б. Н., Пареньков А. Е., Бабанков В.В. Неполадки и аварии в работе доменных печей. Екатеринбург, УГТУ-УПИ, 2001г., 397с.
4. Лякишев Н.П. Гасик М.И. Metallургия хрома. М. Издательство «Элиз» 1999г., 582с.
5. Падерин С.Н., Филиппов В.В. Теория и расчёты металлургических систем и процессов. М. МИСиС, 2001г., 334с.
6. Тарасов В. П. Газодинамика доменного процесса. М. Metallургия, 1990г., 216с.
7. Юсфин Ю.С. Базилевич Т. Н. Обжиг железорудных окатышей. М. Metallургия, 1973г., 272с.
8. Юсфин Ю.С. Даньшин В.В., Пашков Н.Ф и др. Теория металлизации железорудного сырья. М. Metallургия, 1982г., 256с.

ЧАСТЬ 15. МЕТАЛЛУРГИЯ ВТОРИЧНЫХ РЕСУРСОВ

Раздел 1. Промышленность и окружающая среда

1.1 Окружающая среда. Основные понятия. Биосфера, атмосфера, литосфера, гидросфера. Естественные и искусственные экосистемы. Первичная природная, квазиприродная и артеприродная среда.

1.2 Устойчивое развитие. Энергетический, демографический, социальный, экологический кризисы. Понятие глобального кризиса цивилизации. Концепция устойчивого развития.

Раздел 2. Ресурсо-экологические основы социально-экономического развития

2.1 Биосферный ресурс. Биологический подресурс. Экосистемы и биоразнообразие. Лесные ресурсы и проблемы их сохранения. Земельные ресурсы. Водные ресурсы.

Химический подресурс. Основы химии окружающей среды. Парниковый эффект. Сохранность озонового экрана. Выбросы и загрязнения. Биоаккумуляция и биоконцентрирование. Синергический эффект. Токсичные металлы. Органические искусственные соединения. Выбросы в атмосферу, гидросферу, литосферу.

Физический подресурс. Шумы и вибрация. Электромагнитное излучение. Ионизация. Тепловое загрязнение. Естественная радиоактивность. Биологическое загрязнение.

2.2 Природные ресурсы. Классификация природных ресурсов.

Топливо-энергетические ресурсы. Ресурсы нефти, газа, угля. Низкокалорийные топлива. Ресурсы ядерной энергетики. Альтернативные источники энергии. Минеральные ресурсы. Классификация минеральных ресурсов. Ресурсы металлов. Ресурсы нерудных материалов.

Раздел 3. Техносфера и техногенные ресурсы

3.1 Техносфера. Круговороты элементов в биосфере и техносфере. Ресурсные циклы. Элементопотоки. Микроэлементы в металлургии.

3.2 Техногенные ресурсы. Отходы производства и потребления. Обращение с отходами. Вторичное сырьё. Паспортизация и сертификация отходов. Хранение отходов. Утилизация и использование отходов. Переработка отходов. Обезвреживание и уничтожение отходов. Особенности отходов как вида сырья. Токсичность отходов. Классы опасности отходов. Критерии отнесения опасных отходов к классу опасности.

Техногенные материалы и техногенное сырьё. Вторичные материалы. Металлолом. Движение техногенных ресурсов.

Раздел 4. Основы управления ресурсами

4.1 Основные законы и правила управления ресурсами. Истощаемость природных ресурсов. Конкуренционное использование ресурсов. Закон убывающей отдачи. Социально-экологическое равновесие. Закон падения природно-ресурсного потенциала. Закон «шагреновой кожи». Закон неустраняемости отходов и/или побочных воздействий производства. Правило меры преобразования природных систем. Качество продукции как вид ресурса. Закон суммирования ресурсов. Лимитирующий ресурс. Согласование управления ресурсами и состояние окружающей среды. «Венок законов» Б. Коммонера.

4.2 Правила соотношения природных и техногенных ресурсов. Жизненный цикл изделия, его стадии. Экобалансы. Показатели, характеризующие структуру экобаланса: расход природных материальных ресурсов, критерии использования энергии, параметры воздействия на окружающую среду.

Раздел 5. Экологически чистое производство

5.1 Устойчивое экологически безопасное промышленное развитие. Устойчивое потребление. Сущность экологически чистого производства применительно к производственным процессам, к продукции, к сфере услуг. Всеохватывающий характер экологически чистого производства. Лучшие из доступных и лучшие из возможных технологий.

5.2 Обеспечение минимальных энергозатрат на проведение производственного процесса и пути энергосбережения. Вторичные энергоресурсы. Материалосбережение и рециклинг. Производственный и глобальный рециклинг. Вторичный расход энергии и вторичные выбросы.

5.3 Минимизация производственных выбросов в окружающую среду. Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС). Основные методы и устройства для очистки выбросов в атмосферу и водоёмы. Подавление выбросов технологическими приёмами. Эффективность очистки газов.

Раздел 6. Основы металлургического производства

6.1 Производство чёрных металлов. Подготовка сырьевых материалов к плавке. Руды чёрных металлов. Флюсы. Топливо. Схема подготовки железорудных материалов к плавке. Дробление. Грохочение. Обогащение руд. Окускование железорудных

материалов. Агломерация железных руд. Процессы, происходящие при агломерации. Технология агломерации. Получение железорудных окатышей. Энергозатраты на окускование железных руд. Выбросы в окружающую среду при окусковании руд.

6.2 Производство чугуна в доменных печах. Доменная печь. Основные процессы в доменной печи. Нагрев и разложение материалов. Процессы восстановления железа и попутных элементов. Механизм и кинетика восстановления. Показатели развития процессов восстановления. Науглероживание железа и формирование чугуна. Качество чугуна. Шлаковый режим. Поведение серы. Горение топлива. Теплообмен и тепловые балансы. Газодинамика доменной плавки и движение шихтовых материалов. Методы ресурсосбережения и интенсификации. Роль каменноугольного кокса и его заменители. Использование доменных печей для утилизации техногенных материалов. Конструкции доменных печей и оборудование доменных цехов. Энергозатраты на производство чугуна и выбросы в окружающую среду.

6.3 Внедоменное получение первичного металла. Твердофазные процессы производства первичного металла. Сырьё и топливо. Степень металлизации. Пирофорность продукции. Качество металлизированного сырья. Жидкофазные процессы. Конструкции агрегатов для внедоменного получения первичного металла. Энергозатраты и выбросы в окружающую среду.

Раздел 7. Воздействие металлургии на окружающую среду

7.1 Влияние металлургии на биосферный ресурс. Воздействие на видовое разнообразие и состояние экосистем. Влияние металлургического производства на состояние лесов и земельного покрова. Выбросы металлургических агрегатов в водоёмы. Воздействие металлургических предприятий на глобальное изменение климата (парниковый эффект, озоновый экран). Потребность металлургической промышленности в атмосферном кислороде. Выбросы металлургических предприятий в атмосферу. Возможности формирования в процессе производства черных и цветных металлов экотоксикантов.

7.2 Отходы металлургического производства. Производство кокса. Производство железорудных агломерата и окатышей. Доменное производство. Внедоменное получение железа. Производство стали. Прокатное производство. Производство цветных металлов. Производство редких металлов. Энергохозяйство металлургических предприятий.

7.3 Формирование выбросов в металлургических агрегатах. Основы прогнозирования выбросов. Необходимая информация для расчётов. Материальные балансы элементов. Принципы термодинамического моделирования.

7.4 Техногенные месторождения на территориях металлургических предприятий. Элементопотоки. Определение объемов месторождений. Миграции элементов. Воздействие техногенных месторождений на состояние окружающей среды.

Раздел 8. Рециклинг материалов на металлургических предприятиях

8.1 Отходы отраслей народного хозяйства. Производственный рециклинг на металлургических предприятиях. Переработка пылей, шламов, шлаков, окалины.

8.2 Вторичная металлургия. Основы вторичной металлургии железа, марганца, хрома, ванадия. Вторичная металлургия меди, никеля, свинца, цинка и других тяжелых цветных металлов. Вторичная металлургия золота, серебра и металлов платиновой группы. Вторичная металлургия алюминия, магния, редких и радиоактивных металлов.

8.3 Глобальный рециклинг. Оценка качества техногенного сырья. Переработка на металлургических предприятиях отходов энергетики, химии, машиностроения и др. утилизация материалов, содержащих экотоксиканты.

8.4 Переработка твердых бытовых отходов и осадков сточных вод.

8.5 Энергетическая роль металлургических предприятий. Получение энергоносителей. Комплексная переработка углей.

8.6 Получение попутной продукции. Шлакопереработка, Получение гранулированного шлака, щебня, пемзы, шлаковаты, литых изделий, шлакоситаллов из доменных шлаков. Производство фосфатшлаков, шлакоизвестковых и шлакофосфорных удобрений из сталеплавильных шлаков. Использование ферросплавных шлаков. «Плавка на шлак» для получения сырья для производства алюминия титана и др.

РЕКОМЕНДОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

а) основная литература

1. Юсфин Ю. С., Леонтьев Л.И., Черноусов П.И. Промышленность и окружающая среда М. Академкнига, 2002г., 480с.

2. Андруз Д., Бримблекуб П., Джикелз Т. и др. Введение в химию окружающей среды. М. Мир, 1999г., 271с.

3. Бобович Б.Б., Деткин В.В. Переработка отходов производства и потребления. М. Интермет-Инжиниринг, 200г., 496с.

4. Воскобойников В.Г., Кудрин В.А., Якушев А.М. Общая металлургия. М. Металлургия, 1998г., 768с.

5. Леонтьев Л.И., Ватолин Н.А., Шаврин С.В. и др. Приометаллургическая переработка комплексных руд. М. Metallurgia, 1997г., 432с.

6. Лисиенко В.Г., Щёлоков Я.М., Родин С.Е. и др. Методология и информационное обеспечение сквозного экстренного анализа. Екатеринбург, УГТУ, 2001г., 98с.

7. Уткин Н.И. Производство цветных металлов. М. Интермет –Инженеринг, 2000г., 442с.

8. Худяков И.Н., Дорошкевич А. П., Карелов С.В. Metallurgia вторичных цветных металлов. М. Metallurgia, 1978г., 528с.

9. Черепанов К.А., Черныш Г.И., Динельт и др. Утилизация вторичных материальных ресурсов в metallurgии. М. Metallurgia, 1994г., 224с.

10. Шульц Л. А. Элементы безотходной технологии в metallurgии. М. Metallurgia, 1991г., 174с.

б) дополнительная литература

1. Варенков А.Н., Костиков В.И. Химическая экология и инженерная безопасность metallургических производств. М. Интермет – Инженеринг, 200г., 382с.

2. Лисин В.С., Юсфин Ю.С. Ресурсо-экологические проблемы XXI века и metallurgia. М. Высшая школа. 1998г., 447с.

3. Люри Д.И. Развитие ресурсоиспользования и экологические кризисы. М. Издательство «Дельта», 1997г., 174с.

4. Медоуз Д.Х., Медоуз Д.Л., Рандерс Й. За пределами роста. М. Издательская группа «Прогресс» - «Пангея», 1994г., 304с.

5. Поляков В.В. Ресурсообеспечение в Чёрной metallurgии. М. Машиностроение, 1993г., 320с.

ЧАСТЬ 16. ТЕРМОХИМИЯ МАТЕРИАЛОВ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Раздел 1. Основы термодинамики

Энтальпия, энтропия, активность, химический потенциал, движущая сила. Закон Гесса. Первый закон термодинамики. Второй закон термодинамики. Третий закон термодинамики. Энергия Гельмгольца. Энергия Гиббса. Давление пара над раствором. Правило фаз. Однокомпонентные диаграммы состояния. Диаграммы состояния двойных систем. Правило рычага. Диаграммы состояния тройных систем, политермические и изотермические разрезы, проекции поверхностей ликвидуса и солидуса. Закон Рауля. Растворы: идеальные, разбавленные, регулярные.

Раздел 2. Кристаллическая структура и дефекты кристаллического строения

Типичные кристаллические решётки металлов. Кристаллографические плоскости и направления с наибольшей плотностью упаковки атомов в кубической и гексагональных решётках. Типы твёрдых растворов: твёрдые растворы замещения, внедрения и вычитания. Факторы, влияющие на растворимость в твёрдом состоянии (правила Юм-Розери). Структура и химический состав интерметаллических соединений. Соединения с широкой областью гомогенности: электронные соединения, фазы Лавеса, фазы с широкой областью гомогенности образованные переходными металлами. Классификация дефектов. Вакансии, подвижность вакансий и самодиффузия. Дислокации, взаимодействие дислокаций, поперечное скольжение и переползание. Дефекты упаковки. Сегрегации примесей на дислокациях и дефектах упаковки. Строение границ зёрен и субзёрен. Миграция границ, влияние на неё примесей и включений.

Раздел 3. Фазовые и структурные превращения в сплавах

Кристаллизация расплава, гомогенное и гетерогенное зарождение кристаллов. Кривые Таммана. Макро- и микроструктура литого металла. Модифицирование. Ликвация. Эвтектическая кристаллизация, строение эвтектик. Бездиффузионная кристаллизация. Зарождение при фазовых превращениях в твердом состоянии, взаимная ориентировка фаз, принцип структурного и размерного соответствия. Строение и механизм движения межфазной границы при росте кристаллов в твердом состоянии, сдвиговое и нормальное превращение. Особенности мартенситного превращения. Фазовые переходы I и II рода. Химическое и магнитное упорядочение, магнитные

переходы. Температуры Кюри и Нееля. Фазовые превращения при нагреве, растворение частиц второй фазы, гомогенизация. Термокинетические кривые.

Раздел 4. Диффузия в металлах и сплавах

Механизмы диффузии.

Коэффициенты диффузии.

Химическая диффузия.

Раздел 5. Основы термической обработки

Классификация видов термической обработки. Гомогенизационный отжиг. Дорекристаллизационный и рекристаллизационный отжиг. Отжиг для уменьшения остаточных напряжений. Закалка, старение и отпуск. Термомеханическая обработка. Химико-термическая обработка. Сущность и назначение каждого вида термической обработки, основные закономерности изменения структуры и свойств.

Раздел 6. Экспериментальные методы

Световая и электронная микроскопия (растровая и просвечивающая). Методы локального химического анализа. Рентгенографический и электроннографический фазовый анализ. Калориметрические исследования: классификация калориметров, калориметрия растворения, калориметрия сброса, калориметрия прямой реакции. Дифференциальная сканирующая калориметрия и ДТА: Термический анализ, измерения теплоемкости. Использование диффузионных пар для анализа фазовых равновесий. Построение фазовых диаграмм керамических систем. Построение диаграмм состояния для систем с летучими или быстро реагирующими элементами

Раздел 7. Основы термодинамического моделирования

Минимизация энергии Гиббса. Метод равенства потенциалов. Calphad метод. Термодинамическое описание. Данные для чистых элементов. Моделирование стехиометрического соединения. Моделирование твердых растворов. Моделирование жидкой фазы. Моделирование ионных соединений. Моделирование газовой фазы.

Раздел 8. Физические и термофизические свойства неорганических материалов

Классификация физических свойств по их структурной чувствительности. Тепловые свойства. Термическое расширение. Дилатометрическое исследование фазовых

превращений. Магнитные и электрические свойства. Применение магнитных и электрических методов для изучения фазовых равновесий, изменений микроструктуры и превращений в сплавах. Вязкость расплавов. Теплопроводность и электропроводность. Поверхностное натяжение. Плотность.

Раздел 9. Механические свойства металлов

Упругая и пластическая деформация. Коэффициенты и модули упругости. Способы определения упругих констант. Системы скольжения в кубических и гексагональных металлах, Диаграммы деформации моно- и поликристаллов. Механизмы пластической деформации. Теории упрочнения при деформации. Упрочнение в твердых растворах. Упрочнение второй фазы. Влияние границ зерен и субзерен на упрочнение в поликристалле. Зависимость механических свойств от состава в двойных системах. Разрушение. Механизмы хрупкого и вязкого разрушения и строение изломов. Переход от вязкого разрушения к хрупкому. Хладноломкость.

Раздел 10. Цветные металлы и сплавы

Алюминий, магний, титан, медь, никель, цинк, свинец, олово; их структура, свойства и области применения. Характеристика основных групп промышленных цветных сплавов на основе алюминия, магния, титана, меди, никеля, цинка, свинца и олова. Особенности химического и фазового состава и термической обработки, свойства, маркировка по ГОСТу и области применения.

Раздел 11. Стали

Классификация сталей. Фазовые превращения в сталях. Термическая обработка сталей. Мартенситные превращения в сталях. Образование бейнита. Двойникование в высокопрочных сталях. Стали типа TWIP и TRIP. Водородное охрупчивание сталей.

Раздел 12. Тугоплавкие металлы и сплавы

Особенности строения и свойства тугоплавких металлов. Взаимодействие с окружающей средой. Проблема хладноломкости. Направления легирования и области применения.

Раздел 13. Керамические материалы

Кристаллическая структура оксидных соединений типа: шпинель (нормальная/инверсионная), галит, оливин, пироклор, пировскит, флюорит. Окисление металлов. Кислородный потенциал. Свойства керамических материалов и их применение

Раздел 14. Другие типы материалов

Свойства водных растворов. Шлаки и штейн. Полупроводники. Припои. Газообразные вещества и их взаимодействие с твердыми неорганическими материалами и расплавами.

РЕКОМЕНДОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

а) основная литература

1. А. М. Захаров. Диаграммы состояния двойных и тройных систем. М., Металлургия, 1978 г
2. И. И. Новиков. Дефекты кристаллического строения металлов. М., Металлургия, 1983 г.
3. W.J. Boettinger; U.R. Kattner; Kil Won Moon; J. Perepezko; NIST Recommended Practice Guide: DTA and Heat-Flux DSC Measurements of Alloy Melting and Freezing
4. Robert W. Cahn and Peter Haasen Physical Metallurgy 4th ed. Elsevier Science 1996
5. A Prince Alloy Phase Equilibria Elsevier Pub. Co., 1966
6. O.Kubaschewski, C.V.Alcock and P.J.Spencer, Materials Thermochemistry, Pergammon Press 6th edition
7. ИА Кисилева, ЛП Огородова. Термохимия минералов и неорганических материалов Москва, Научный мир, 1997 256стр.
8. H Lukas, S. Fries, B. Sundman. Computational Thermodynamics:The Calphad Method. Cambridge University Press, 2007
9. Б. Г. Лившиц. Металлография, М., Металлургия, 1971 г
10. B.Bokstein, M.Mendeleev, D.J.Srolovitz "Thermodynamics & Kinetics in Materials Science", Oxford Univ.Press, 2005;
11. ИИ Новиков. Теория термической обработки. М: Металлургия 1986.
12. Б. А. Колачев, В. А. Ливанов, В. И. Елагин. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. М., МИСИС, 2005 г.
13. М. Л. Бернштейн, В. А. Займовский. Структура и механические свойства металлов. М., Металлургия, 1980.

14. Золоторевский. В.С. Механические свойства металлов. М., Metallurgy, 1998.
15. Metallovedenie i termicheskaya obrabotka stali. Spravochnik. M., Metallurgy; 1984 g., ch. 1.
16. Б. Т. Лившиц, В. С. Крапошин, Я. Л. Линецкий. Физические свойства металлов и сплавов. М., Metallurgy, 1980 г.
17. МИ Гольдштейн, СВ Грачев, ЮГ векслер. Специальные стали М: Metallurgy 1985.

б) дополнительная литература

1. M Hillert. Phase Equilibria, Phase Diagrams and Phase Transformations: Their Thermodynamic Basis. Cambridge University Press, 1998.
2. N. Saunders, A.P. Miodownik CALPHAD (Calculation of Phase Diagrams): A Comprehensive Guide. Pergamon 1998.
3. Уманский Я.С., Скаков Ю.А. Физика металлов. М., Атомиздат, 1978.

ЧАСТЬ 17. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Раздел 1. Межатомные взаимодействия и электронное строение твердого тела

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

1.2. 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

2.1. 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.

2.2. Аморфное состояние, металлические стекла. Нанокристаллы. Квазикристаллы.

Раздел 3. Дефекты кристаллического строения

3.1. Точечные дефекты. Вакансии и межузельные атомы. Равновесная концентрация точечных дефектов. Неравновесные точечные дефекты. Рождение, миграция и сток вакансий. Группы вакансий.

3.2. 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. Атмосферы Коттрелла, Снука, Сузуки.

3.3. 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

4.1. Твердые растворы замещения, внедрения и вычитания. Упорядоченные твердые растворы (сверхструктуры). Электронные соединения (фазы Юм-Розери), фазы внедрения, фазы Лавеса, σ -фазы.

4.2. 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.

Раздел 5. Диффузия

5.1. 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.

5.2. Диффузия в поле градиента концентраций. Концентрационная зависимость коэффициентов диффузии. Эффект Киркендалла. Выравнивающая и разделительная (реактивная) диффузия. Диффузия в силовых полях.

Раздел 6. Кристаллизация

6.1. Гомогенное зарождение кристаллов в расплаве. Критический размер зародыша. Скорость образования и скорость роста кристаллических зародышей. Непрерывный, ступенчатый и дислокационный механизмы роста. Кинетика кристаллизации. С-образная диаграмма кристаллизации. Критическая скорость охлаждения расплава. Гетерогенное зарождение.

6.2. 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.

6.3. Структура слитка. Модифицирование. Направленная кристаллизация. Зонная плавка. Выращивание монокристаллов из расплава. Закалка из жидкого состояния.

6.4. Эвтектическая кристаллизация. Строение эвтектических колоний. Нормальная, аномальная и вырожденная эвтектики. Перитектическая кристаллизация.

Раздел 7. Фазовые превращения в твердом состоянии

7.1. Полиморфные превращения. Нормальный и сдвиговый механизмы превращения. Принцип структурного и размерного соответствия.

7.2. Эвтектоидное превращение, механизм и кинетика. Эвтектоидное превращение в сталях. Строение перлита. Диаграммы изотермических превращений. Термокинетические диаграммы.

7.3. Мартенситное превращение. Термодинамика, механизм и кинетика мартенситного превращения. Микроструктура и субструктура мартенсита. Обратимость превращения. Эффект памяти формы.

7.4. Бейнитное превращение. Механизм и кинетика бейнитного превращения. Строение бейнита.

7.5. 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.

7.6. Упорядочение твердого раствора. Дальний и ближний порядок. Антифазные домены. Изменение свойств раствора при упорядочении.

Раздел 8. Структурные превращения в твердом состоянии

8.1. 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.

8.2. 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.

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

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

Раздел 9. Способы воздействия на структуру и свойства материалов

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

9.1.1. 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.

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

9.1.3. Закалка без полиморфного превращения.

9.1.4. 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.

9.1.5. Старение. Изменение свойств сплавов при старении. Дисперсионное твердение. Естественное и искусственное старение. Перестаривание.

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

9.2. Термомеханическая обработка. Низкотемпературная и высокотемпературная термомеханическая обработка сталей и стареющих сплавов.

9.3. 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.

9.4. Порошковая металлургия, основные технологические этапы.

9.5. 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

10.1. Пластическая деформация скольжением и двойникованием. Диаграммы деформации моно- и поликристаллов. Системы скольжения. Деформационное

упрочнение; влияние на него температуры и скорости деформации. Теория предела текучести.

10.2. Основные механические характеристики материалов. Пределы пропорциональности, упругости, текучести и прочности, истинное сопротивление разрыву, характеристики пластичности при растяжении, твердость, вязкость разрушения и ударная вязкость.

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

10.3. 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.

10.4. Жаропрочность. Стадии ползучести. Релаксация напряжений. Длительная прочность. Влияние состава и структуры материала на жаропрочность.

10.5. Усталость. Диаграммы усталости. Механизм усталостного разрушения. Факторы, влияющие на усталостную прочность. Термическая усталость. Контактная усталость.

Раздел 11. Взаимодействие материалов с окружающей средой

11.1. Окисление, термодинамика и кинетика процесса. Легирование с целью защиты от окисления. Внутреннее окисление.

11.2. Электрохимическая коррозия. Равномерная, межкристаллитная, точечная коррозия. Коррозия под напряжением. Коррозионное растрескивание. Коррозионная усталость. Коррозия в жидких металлах.

Раздел 12. Физические свойства материалов

12.1. Упругие свойства материалов. Закон Гука для изотропных и анизотропных материалов. Связь модулей упругости с потенциалом межатомного взаимодействия. Модули упругости гетерогенных материалов.

12.2. Термическое расширение. Ангармонизм колебаний атомов в кристаллической решетке. Температурный коэффициент линейного расширения гетерогенных материалов.

12.3. Теплоемкость. Квантовые теории решеточной теплоемкости Эйнштейна и Дебая. Температура Дебая. Спектр нормальных колебаний решетки. Фононы.

Ангармоническая составляющая теплоемкости. Вакансионная составляющая теплоемкости. Электронная теплоемкость. Теплоемкость сплавов. Изменение теплоемкости при фазовых и структурных превращениях.

12.4. 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.

12.5. 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.

12.6. Магнитные свойства. Диамагнетизм и парамагнетизм атомов. Закон Кюри. Диамагнетизм и парамагнетизм электронного газа. Магнитное упорядочение. Ферромагнетизм. Молекулярное поле Вейсса. Обменное взаимодействие. Ферромагнитные домены. Доменные границы. Энергия магнитной анизотропии. Характеристики петли гистерезиса и кривой намагничивания ферромагнетика. Теория коэрцитивной силы.

Раздел 13. Методы исследования и контроля структуры и свойств материалов

13.1. 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.

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

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

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

13.5. Методы измерения физических свойств. Термический анализ. Абсолютный и дифференциальный методы измерения. Калориметрия; методы смещения, ввода и протока тепла; сканирующая, модуляционная и импульсная калориметрия. Дилатометрия; оптический, емкостный, индуктивный датчики перемещения. Методы измерения теплопроводности. Резистометрия, мостовые и потенциометрические методы. Измерение магнитных свойств диа-, 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).

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

Раздел 14. Основные классы материалов в металлургии

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

14.2. Сплавы на основе железа. Углеродистые стали. Белые, серые, половинчатые, ковкие и высокопрочные чугуны. Легированные стали, классификации по фазовому равновесию, структуре, области применения, уровню легированности. Низколегированные стали повышенной прочности. Конструкционные улучшаемые стали. Пружинные и износостойкие стали. Штамповые стали. Инструментальные стали для режущего и измерительного инструмента. Быстрорежущие стали. Жаропрочные феррито-перлитные, мартенситные и аустенитные стали. Нержавеющие ферритные и аустенитные стали. Жаростойкие стали.

14.3. Цветные металлы и сплавы, легирование, термическая обработка, структура, свойства, области применения. Алюминий и его сплавы. Магний и его сплавы. Титан и его сплавы. Никель и его сплавы. Медь и ее сплавы. Сплавы на основе тугоплавких металлов (Mo, W, Nb, Cr). Цинк, свинец, олово и их сплавы.

14.4. 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.

14.5. Композиционные материалы. Дисперсно-упрочненные композиционные материалы на алюминиевой и никелевой основе, структура и свойства, принципы выбора упрочнителей. Волокнистые композиционные материалы на основе алюминия, титана, никеля, магния; виды и свойства упрочнителей. 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.

14.6. Неметаллические материалы. Идеальная и реальная структура графита. Углеродистые материалы, структура и свойства. Поликристаллические алмазы, физическая классификация, структура, химический и изотопный состав, дефектность, свойства.

РЕКОМЕНДОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Лившиц Б.Г. Металлография. – М.: Металлургия, 1990. – 336 с.
2. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. – М.: Наука, 1978. – 792 с.
3. Захаров А.М. Диаграммы состояния двойных и тройных систем. - М.: 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. – М.: Металлургия, 1982. – 632 с.
6. Жуховицкий А.А., Шварцман Л.А. Физическая химия. – М.: Металлургия, 1976. – 350 с.
7. Лившиц Б.Г., Крапошин В.С., Линецкий Я.Л. Физические свойства металлов и сплавов. – М.: 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.
17. Кривоглаз М.А. Теория рассеяния рентгеновских лучей и тепловых нейтронов реальными кристаллами. – Киев: Наукова Думка, 1953. – 408 с.