

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Волгоградский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор

 С. В. Кузьмин

« 25 » сентября 2020 г.



ПРОГРАММА

вступительного экзамена в аспирантуру по направлению
22.06.01 Технологии материалов

Волгоград 2020

Разработчики программы:

Д.т.н., профессор


Ученая степень, ученое звание

Д.т.н., профессор

Ученая степень, ученое звание

Д.т.н., доцент

Ученая степень, ученое звание



подпись



подпись



подпись

Н.А. Зюбан

И.О. Фамилия

Н.А. Кидалов

И.О. Фамилия

Л.М.Гуревич

И.О. Фамилия

1. Теоретические основы металлургии

Физико-химические основы металлургических процессов.

Функции состояния. Термодинамическое равновесие. Законы термодинамики. Термодинамические потенциалы (внутренняя энергия, энтальпия, энтропия, изобарно - изотермический и изохорно-изотермический потенциал). Термодинамика сплавов. Идеальные и реальные растворы. Термодинамическая активность (выбор стандартного состояния, методы определения, применение).

Термодинамика поверхностных явлений. Поверхностное натяжение, методы его определения.

Общая характеристика гетерогенных металлургических реакций. Признаки лимитирующих стадий.

Строение и свойства жидких металлов.

Жидкое состояние как промежуточное между твердым и газообразным. Ближний и дальний порядок. Близость свойств жидких металлов при небольших перегревах над линией ликвидус к свойствам металлов в твердом состоянии. Термодинамика процессов плавления и кристаллизации.

Строение жидких шлаков.

Теории строения шлаков. Химические и физические свойства шлаков. Основность и способы ее выражения.

2. Технология производства черных металлов

Доменный процесс.

Классификация железорудных материалов. Месторождения руд чёрных металлов. Флюсы. Топливо. Техногенное сырьё. Доменная печь. Основные процессы. Нагрев и разложение шихты. Процессы восстановления в доменных печах. Термодинамика восстановления железа. Науглероживание железа и формирование чугуна. Качество чугуна. Шлакообразование в доменных печах. Свойства шлака. Конструкция доменных печей.

Металлургия стали.

Термодинамика окисления углерода. Концентрация углерода и кислорода в стальной ванне в процессе плавки. Кинетика окисления углерода. Термодинамика окисления кремния, марганца и хрома. Физико-химические основы окисления фосфора и удаление серы. Влияние состава шлака и температуры металла на коэффициент распределения фосфора и серы между металлом и шлаком.

Влияние элементов-раскислителей на активность кислорода в жидком железе. Анализ кривой раскисления. Раскисление железа и его сплавов. Комплексное раскисление. Раскислительная способность шлаков.

Термодинамика образования неметаллических включений. Процессы укрупнения и удаления неметаллических включений в гравитационном поле. Влияние свойств поверхностей раздела фаз на скорость удаления включений из расплава. Особенности механизма удаления неметаллических включений.

Понятие о кристаллизации и затвердевании. Выращивание монокристаллов. Затвердевание отливок и слитков. Особенности затвердевания сплавов. Кристаллизация однофазных сплавов в условиях

образования плоского фронта. Понятие о равновесной кристаллизации. Особенности кристаллизации при отсутствии диффузии в твёрдой фазе, при ограниченной диффузии и отсутствии конвективного перемешивания. Влияние на процесс кристаллизации конвективного перемешивания, условия перехода от плоского фронта кристаллизации к ячеистому. Понятие о концентрационном переохлаждении и его роли в формировании структуры металла.

Гомогенная кристаллизация. Представление процесса кристаллизации с позиций классической термодинамики. Понятие о «предкристаллизационном» переохлаждении. Влияние переохлаждения на термодинамику и кинетику процесса кристаллизации металлов и сплавов. Условия и механизм образования зародышей и роста кристаллов. Гетерогенное образование зародышей.

Особенности отвода теплоты кристаллизации. Обеспечение условий для дендритного роста кристаллов. Строение дендритов. Термодинамические и кинетические особенности их развития в зависимости от тепловых и физических факторов. Понятие о дендритном параметре, как обобщённом показателе, характеризующем структуру затвердевающего металла. Методы управления процессами кристаллизации слитков и отливок.

Строение слитка спокойной стали. Особенности формирования корковой зоны слитка. Понятие о термическом переохлаждении. Условия образования зоны столбчатых кристаллов. Область глобулярных и равноосных дендритов. Особенности формирования осевой зоны слитков. Механизм образования осевых дефектов и усадочной раковины в слитке. Основы теплофизических процессов при формировании слитка. Теплообмен между слитком и изложницей. Распределение температур по сечению затвердевающего слитка и по сечению изложницы. Меры по снижению головной обрезки слитка. Строение слитка кипящей стали. Механизм образования и управление расположением пузырей в слитке кипящей стали. Особенности строения слитка полуспокойной стали, особенности химического состава и структуры. Их предназначение и особенности производства.

Неметаллические включения в слитке. Причины образования включений. Классификация включений по времени их образования и по химическому составу. Особенности распределения включений в слитках спокойной, кипящей и полуспокойной стали.

Химическая неоднородность слитка. Л - образная и V - образная ликвация. Особенности развития ликвационных процессов в крупных слитках и отливках. Роль диффузионных процессов на развитие химической сегрегации в слитке. Методы и основные направления борьбы с химической неоднородностью слитков.

Дефекты поверхности слитка - трещины, завороты, пояса, шлаковые включения, недоливы, ужимины и др. Механизм образования дефектов и способы их устранения. Основные направления повышения качества слитков. Разливка стали под шлаком и защитными смесями. Применение

синтетических шлаков. Перспективы использования суспензионной разливки и её роль в процессах управления структурой затвердевающего металла. Преимущества и недостатки. Способ формирования инокуляторов в струе при отливке слитков в вакууме.

Основные технологические схемы и конструктивные особенности установок непрерывной разливки стали (УНРС). Типы МНЛЗ (вертикальная, вертикальная с изгибом, радиальная, криволинейная с дифференцированным выпрямлением слитка, горизонтальная). Техничко-экономические показатели различных типов МНЛЗ. Перспективы развития МНЛЗ. Расчёт основных параметров различных типов МНЛЗ.

Водород в стали, его влияние на свойства стали, пороки, вызываемые присутствием водорода в стали и его выделением из раствора в отдельную фазу. Растворимость водорода в железе и стали, влияние температуры, аллотропических превращений и химического состава на растворимость водорода.

Азот в стали, влияние азота на служебные свойства низкоуглеродистых сталей, старение стали и азота, азот как легирующий элемент и заменитель дорогостоящих компонентов сталей.

Растворимость азота в железе и его сплавах, влияние температуры и состава сплава. Температурные условия формирования и диссоциации нитридов. Поведение азота в ваннах сталеплавильных агрегатов.

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

3. Технология производства цветных и редких металлов

Производство глинозёма и фторсолей, использование отходов производство алюминия, магния и других легких металлов; технология электролиза криолитно-глиноземных расплавов; рафинирование алюминия; металлургия вторичного алюминия; ресурсосбережение; получение магния электролизом; управление качеством продукции.

Роль редких металлов в повышении качества металлургической продукции; технология переработки руд вольфрама, молибдена, ниобия, тантала, титана, циркония, гафния, рассеянных, редкоземельных и радиоактивных металлов; методы получения металлических порошков; формирование и спекание; основы технологии порошковых материалов и изделий; комплексное использование сырья и охрана окружающей среды.

4. Теоретические основы обработки металлов давлением

Обработка металлов давлением - как наука о процессах получения заготовок или деталей в результате силового воздействия инструмента на обрабатываемый материал. Обработка металлов давлением - основная заготовительная база современного машиностроения, строительной, энергетической и других отраслей. Роль советских и российских ученых в развитии теории и технологии обработки металлов давлением. Современное состояние и основные тенденции развития обработки металлов давлением в России и зарубежных странах.

Деформация сплошной среды. Главные деформации, интенсивность деформаций сдвига.

Течение сплошной среды. Поле вектора скорости. Линии тока и траектории. Главные скорости деформации, интенсивность скоростей деформаций сдвига. Степень деформации сдвига. Уравнение неразрывности и несжимаемости.

Напряжения. Пластическое состояние. Напряженное состояние. Главные нормальные и касательные напряжения. Напряжения на наклонной площадке. Уравнения связи напряженного и деформированного состояний. Условия пластичности.

Строение металлов. Анизотропия свойств монокристаллов. Дефекты кристаллического строения металлов. Пластическая деформация монокристаллов. Механизмы деформации. Скольжение. Системы скольжения в кристаллах различного типа (ГЦК, ОЦК, ГПУ). Основные положения теории дислокаций. Пластическая деформация с позиций теории дислокации.

Температурно-скоростные зависимости характеристик прочности и пластичности монокристаллов. Пластическая деформация и разрушение поликристаллов. Особенности деформации поликристаллов. Неравномерность деформации.

Процессы, происходящие при нагреве наклепанного металла: возврат, полигонизация, рекристаллизация. Влияние нагрева на структуру и свойства наклепанного металла. Диаграмма рекристаллизации 1 рода. Горячая деформация поликристаллов. Влияние горячей деформации на структуру и свойства. Диаграмма рекристаллизации 2 рода.

Внешнее трение в процессах ОМД. Физическая природа трения. Виды и законы трения. Зависимость сил трения от температуры, степени и скорости деформирования, давления, физико-химических свойств контактируемых поверхностей. Анизотропия трения. Смазки, их свойства, назначение и основные требования к ним.

Сопротивление металлов пластическому деформированию. Сопротивление деформации: определение, влияние степени и скорости деформации, температуры, истории деформирования, внешней среды. Работа и мощность деформации. Тепловыделения в процессе деформации.

Пластичность и деформируемость металлов. Основные факторы, влияющие на пластичность, схема напряженного состояния, внешняя среда и др. Виды разрушения при пластической деформации. Трещины. Теория Гриффитса. Накопление повреждений. Диаграмма пластичности. Деформация металлических материалов в состоянии сверхпластичности.

Очаг деформации, совокупность параметров, описывающих его геометрию. Условия захвата полосы валками. Трение при захвате и установившемся процессе прокатки. Контактное напряжение в очаге деформации при постоянном значении коэффициента трения. Распределение деформаций и напряжений в объеме очага деформации.

Усилие прокатки и факторы, определяющие его величину. Влияние условий трения, натяжения, ширины полосы и внешних зон на контактное давление.

Формы калибров, показатель и коэффициент формы. Внеконтактная деформация и понятие средней вытяжки в калибрах. Распределение контактных напряжений в очаге деформации. Расчет среднего давления и усилий прокатки в калибрах.

Поперечная прокатка. Скоростные условия. Деформационные параметры. Силовые условия. Напряженное состояние металла. Винтовая прокатка. Особенности процесса, очаг деформации и его параметры. Скоростные условия.

Способы формовки трубной заготовки в холодном и горячем состоянии.

Разновидности процесса волочения, деформационные показатели. Напряженно-деформированное состояние металла. Методы определения напряжений и усилия волочения.

Сущность и разновидности процессов прессования. Закономерности течения металла при прессовании прутков, профилей труб и напряженно-деформированное состояние металла. Температурные условия процессов прессования. Особенности трения при прессовании. Силовые условия процессов прессования.

Основы теорииковки. Геометрические параметры очага деформации для различных процессовковки. Напряжения и деформации приковке плоскими, комбинированными и вырезными бойками. Зоны деформации при осадке цилиндрических заготовок плоскими бойками. Напряженное состояние металла при осадке.

Объемная штамповка. Характеристика разновидностей объемной штамповки. Напряженно-деформированное состояние в процессах объемной штамповки. Стадии объемной штамповки.

Листовая штамповка и формовка.

5. Технология процессов обработки металлов давлением

Профильный и марочный сортамент прокатного производства черных и цветных металлов. Способы производства слитков и заготовок. Нагрев исходных материалов перед прокаткой и охлаждение после прокатки. Основные технологические схемы и оборудование для производства полупродукта, крупносортовой, среднесортовой, мелкосортовой стали и катанки, горячекатаного и холоднокатаного листа. Совмещенные технологические процессы в производстве листовой и сортовой продукции. Технологические особенности прокатки непрерывнолитого металла.

Характеристика качества продукции прокатного производства, схемы технологических процессов отделки исходных материалов и готовой продукции. Контроль качества, способы удаления дефектов. Технико-экономические показатели производства листовой и сортовой продукции.

Сортамент и методы испытаний стальных труб. Характеристика основного оборудования и технологий производства трубных заготовок.

Режимы нагрева. Виды брака при нагреве, способы его предотвращения и устранения.

Характеристика и классификация технологических процессов производства горячедеформированных бесшовных труб. Прошивка заготовок. Раскатка гильз в черновые (передельные) трубы.

Технология и принципы расчета маршрутов волочения труб. Отделочные операции при холодной прокатке и волочения труб. Качество холодно-деформированных труб.

Основы технологии производства сварных труб. Основные операции процесса. Подготовка листового металла в сварке. Технология производства труб непрерывной печной сваркой, электросваркой на непрерывных трубоэлектросварочных агрегатах, дуговой сваркой под слоем флюса прямошовных, спиральношовных и многошовных труб.

Волочильное производство. Сортамент и основные требования, предъявляемые к качеству изделий, получаемых волочением. Технологический процесс и основное оборудование для производства прутков, труб, проволоки, калиброванного металла и фасонных профилей волочением.

Типовые технологические схемы производства прессованных полуфабрикатов и изделий. Разновидности процесса прессования по условиям контактного взаимодействия заготовки с инструментом, температурным условиям и типу инструмента и инструментальных комплектов.

Способы получения пресс-изделий различных типов. Особенности прессования различных металлов и сплавов. Управление течением металла и свойствами пресс-изделий.

Прессовое оборудование, проектирование технологического инструмента.

Основы технологииковки. Заготовки для поковки: слитки, непрерывно-литые и прокатанные заготовки, их макростроение (геометрические модели). Нагрев металла перед ковкой. Основные типы агрегатов дляковки. Разновидности операцийковки, оборудования и режимы отделки, методы управления и контроля качеством продукции ковочного производства.

Технологические процессы объемной штамповки. Сортамент продукции и характеристика исходных заготовок. Разработка стадий технологического процесса объемной штамповки. Выбор технологического оборудования. Отделочные операции и пути повышения качества штампованных поковок. Особенности эксплуатации штампов. Перспективы развития технологии и оборудования объемной штамповки.

Технологические процессы листовой штамповки и формовки, области применения и классификация изделий. Технологическая оснастка: эксплуатация и применение смазочно-охлаждающей жидкостей. Перспективы разработки новых процессов и оборудования.

Импульсное (высокоскоростное) нагружение в процессах деформирования металлов. Механизмы пластической деформации. Сортамент продукции. Основные технологические операции и оборудование.

Производство полуфабрикатов и изделий из порошковых материалов методами прокатки, прессования (экструзии), обработки взрывом, аэро- и газостатического прессования.

Производство композиционных материалов (слоистых, волокнистых, дисперсно-упрочненных) с использованием процессов прокатки и прессования. Схемы технологических процессов. Качество продукции.

Материалы, получаемые СВС (самораспространяющийся высокотемпературный синтез) процессом. Основные технологические операции и оборудование.

6. Теоретические основы литейного производства

Литейное производство как наука о процессах получения металлических расплавов и отливок. Литейное производство - основная заготовительная база современного машиностроения. Роль советских ученых в развитии теории и технологии литейного производства. Современное состояние и основные тенденции развития литейного производства в России и зарубежных странах.

Теоретические основы процессов плавки

Свойства металлов и сплавов в твёрдом и жидком состоянии, определяющие условия плавки (плотность, температура плавления, давление пара, вязкость и др.) Структура металлических расплавов.

Взаимодействие металлических расплавов с футеровкой плавильных и раздаточных печей, с материалами плавильных тиглей. Защита металлических расплавов от взаимодействия с воздушной средой. Особенности диссоциации окислов. Прочность окислов. Углерод, кремний, марганец, сера и фосфор в жидком железе.

Рафинирование расплавов от растворенных примесей и газов. Способы дегазации и раскисления. Фильтрация расплавов. Модифицирование 1 и 2 рода. Термовременная обработка расплава.

Теория формирования отливки

Понятие о качестве отливки. Основные закономерности формирования свойств отливки. Теплообмен между отливкой и формой. Тепловые свойства литейных сплавов и материала форм и стержней. Математические модели теплового взаимодействия отливки и формы.

Гидравлические процессы при заполнении формы. Основные законы гидравлики. Металлические расплавы как жидкости. Способы заполнения литейных форм

Физико-химические процессы на границе отливки с формой. Газовый режим формы. Окисление поверхности отливки в газовой атмосфере формы. Карбидобразование в поверхностном слое стальных отливок

Кристаллизационные процессы. Термодинамика зарождения и роста центров кристаллизации. Равновесная и неравновесная кристаллизация сплавов, ее причины и последствия.

Усадочные процессы. Физическая природа усадки. Усадочная пористость. Влияние технологических факторов и состава сплавов на формирование усадочных раковин. Прибыли и их классификация. Основы расчета прибылей. Регулирование работы прибылей и организация питания отливок.

7. Технологические основы литейного производства

Теория и технология литья в песчаные формы.

Требования, предъявляемые к формовочным материалам. Физико-химические, механические и технологические свойства формовочных и стержневых смесей. Методы определения. Кварцевые формовочные пески, их минералогический состав.

Связующие материалы. Требования, предъявляемые к ним. Классификация связующих материалов. Органические и неорганические связующие. Синтетические смолы

Классификация формовочных и стержневых смесей. Формовочные смеси для сырых и упрочнённых форм. Формовочные и стержневые смеси с тепловым и химическим упрочнением. Технологические свойства смесей. Критерии выбора смесей при разработке технологии. Физико-химические и технологические особенности упрочнения смесей с неорганическими и органическими связующими. Теоретические основы процессов холодного отверждения смесей с синтетическими смолами. Физико-химические принципы получения жидких самотвердеющих смесей ЖСС. Методы испытаний свойств ХТС и ЖСС. Виды ЖСС и области их использования. Реологические свойства ЖСС и ХТС. Смеси для изготовления форм с тепловой сушкой и поверхностной подсушкой.

Требования к модельно-литейной оснастке. Ее элементы, конструкция и назначение. Модели, стержневые ящики, подмодельные плиты, стержневые плиты, драйера, опоки. Классификация модельных комплектов. Выбор материалов для их изготовления. Разработка технологического процесса изготовления отливок. Определение линии разъема формы, количества стержней. Припуски на усадку и механическую обработку, литейные уклоны. Конструкции деревянных модельных комплектов. Классы точности и прочности. Выбор древесных пород для изготовления модельных комплектов. Предварительная обработка древесины.

Классификация способов изготовления литейных форм основные приемы ручной формовки. Формовка в почве, кессонах и жакетах. Формовка в парных-опоках по неразъемной и разъемной моделям. Формовка в нескольких опоках. Изготовление отливок в стержнях. Анализ операций технологического процесса изготовления форм с позиции их механизации и автоматизации. Машинная формовка.

Изготовление стержней. Классы сложности стержней, их влияние на выбор типа стержневой смеси и технологию изготовления стержня.

Изготовление стержней пескодунным, пескострельным методами по холодной и нагреваемой оснастке. Преимущества упрочнения стержней в оснастке. Изготовление стержней и форм с тепловой сушкой. Изготовление

стержней из ЖСС и ПСС. Сборка и заливка литейных форм. Расчет усилий, действующих на форму при заливке её металлом. Литейные ковши.

Технология специальных видов литья

Классификация, характерные особенности и область применения специальных видов литья, их преимущества и недостатки.

Кокильное литье. Области применения. Особенности формирования структуры и свойств отливок при литье в кокиль черных и цветных сплавов. Особенности подготовки форм при литье в кокиль.

Литье под давлением. Область применения. Особенности формирования структуры и свойств отливок при литье под давлением. Машины с холодной и горячей камерой сжатия. Литье методом выжимания.

Центробежное литье. Гидродинамические особенности центробежного литья. Давление металла в форме. Особенности процесса затвердевания отливки в поле центробежных сил. Особенности формирования моно- и биметаллических заготовок. Ликвационные явления при центробежном литье. Удаление неметаллических включений и газов. Усадочные явления. Макро- и микроструктура отливок. Явление полосчатости.

Непрерывное литье. Теоретические основы непрерывного литья. Его преимущества и недостатки. Электрошлаковое литье. Сущность метода электрошлакового литья.

Литье по выплавляемым моделям. Области применения. Технологический процесс изготовления моделей и форм. Литниковые системы. Подготовка форм под заливку. Сплавы, применяемые для литья по выплавляемым моделям.

Другие виды литья: литье по выжигаемым моделям, литье в оболочковые формы, литье в вакуумированные и магнитные формы. Литье выжиманием. Особенности каждого процесса.

8. Технология производства отливок

Чугунное литье

Применение чугуна в машиностроении и других отраслях народного хозяйства. Характеристика чугуна как конструкционного, так и литейного материала. Номенклатура чугунов, используемых для изготовления отливок: серый чугун с пластинчатым графитом, ковкий чугун, высокопрочный чугун, легированные чугуны со специальными свойствами.

Кристаллизация и структурообразование чугунов. Основы теории кристаллизации чугуна по стабильной и метастабильной системам. Современные представления о кристаллизации и формообразовании графита.

Гипотезы и теоретические представления о возможной роли межфазной энергии, переохлаждения, адсорбционных и дислокационных явлений при формообразовании графита.

Основы получения высококачественных чугунных отливок. Выбор состава чугуна, физических и физико-химических методов воздействия на его кристаллизацию. Основные принципы подвода металла и питания отливок. Конструкция и расчет дроссельных литниковых систем.

Механические свойства и конструкционная прочность чугуна с различной формой графита. Современные методы оценки механических свойств. Основы линейной механики разрушения. Влияние состава, структуры, величины зерна, количества, характера распределения неметаллических включений и содержания газов.

Легированные чугуны с высокими параметрами специальных свойств. Теоретические основы легирования. Основные легирующие компоненты и их влияние на термодинамику и кинетику структурообразования. Классификация по составу, назначению, структуре. Жаростойкие чугуны, теоретические основы процесса окисления металлов. Рост чугуна при термоциклировании. Изменения структуры свойства чугуна при длительной выдержке в области высоких температур.

Технологические свойства чугуна. Характеристика, методы исследования и качественной оценки основных параметров технологических свойств чугунов: жидкотекучести, линейной усадки, склонности к ликвации и трещинообразованию. Связь литейных свойств с процессами кристаллизации и графитообразования.

Плавка чугуна. Теоретические основы плавки чугуна. Современные тенденции в развитии методов плавки чугуна. Принцип выбора плавильных агрегатов. Влияние технологии плавки на свойства жидкого чугуна и качество металла в отливках. Плавка чугуна в вагранке. Особенности плавки в коксовых коксогазовых и газовых вагранках на холодном и подогретом дутье. Особенности основного и кислого процессов. Современные методы интенсификации плавки. Плавка чугуна в электропечах.

Требования, предъявляемые к шихтовым материалам в зависимости от марок чугуна и характера их назначения. Топливо. Флюсы. Подготовка шихтовых материалов и флюсов к плавке. Расчет шихты.

Модифицирование чугуна. Теоретические основы модифицирования. Модифицирование чугуна для получения различных форм графита. Модифицирование чугунов с пластинчатым графитом. Модифицирование ковких чугунов. Модифицирующие присадки для получения заданной структуры, принцип их действия.

Стальное литье

Плавка стали. Классификация процессов и способов плавки сталей. Шихтовые материалы. Физико-химические и технологические особенности плавки углеродистых сталей в мартеновских печах, в электрических дуговых и индукционных печах, в вакуумных печах. Конверторные процессы. Внепечное вакуумирование.

Классификация литейных свойств стали и основные методы определения этих свойств. Влияние углерода, кремния, марганца и меди на практическую и истинную жидкотекучесть стали. Связь жидкотекучести с диаграммой состояния системы железо-углерод.

Классификация стали по химическому составу и структуре. Принципиальные особенности технологии изготовления отливок из углеродистых низколегированных, среднелегированных и высоколеги-

рованных сталей. Технологические особенности процесса получения заданной структуры литой стали аустенитного и ферритного классов.

Классификация пороков стальных отливок: размерные пороки, поверхностные пороки, пороки сплошности стенок, несоответствие структуры и неоднородность химического состава, несоответствие механических свойств. Основные причины их возникновения.

Особенности изготовления форм и стержней. Формовочные и стержневые смеси для стальных отливок. Окраска форм и стержней. Особенности разработки технологии изготовления стальных отливок. Расчет литниково -питающих систем. Определение мест установки прибылей и холодильников (внутренних, наружных). Расчет их размеров.

Дефекты стальных отливок, их классификация. Отличительные особенности классификации дефектов стальных отливок, принятой в РФ, от международной классификации. Усадочные раковины и пористость, теоретические основы процесса формирования этих дефектов, зависимость данного процесса от состава, свойств стали и технологических факторов. Методы предупреждения возможности образования указанных дефектов. Особенности очистки и обрубки отливок. Удаление прибылей.

Контроль качества стальных отливок. Методы и технология исправления дефектов отливок. Термическая обработка стальных отливок.

Литье из цветных металлов и сплавов

Алюминиевые сплавы. Физико-механические свойства и области применения. Сплавы со специальными свойствами. Литейные свойства алюминиевых сплавов. Принципы легирования. Промышленные марки литейных и деформируемых сплавов. Печи для плавки алюминиевых сплавов. Особенности технологии плавки различных групп промышленных сплавов. Рафинирование и модифицирование. Характеристика формовочных и стержневых смесей. Особенности литниковых систем при литье в разовые формы. Применение зернистых и жидких фильтров.

Магниевого сплавы. Промышленные марки литейных и деформируемых сплавов, их состав, основные физико-механические и литейные свойства, области применения. Печи для плавки магниевых сплавов. Особенности технологии плавки магниевых сплавов. Флюсы. Рафинирование и модифицирование. Меры по предотвращению горения сплавов. Литье в разовые формы. Характеристика формовочных и стержневых смесей. Особенности литниковых систем. Особенности технологии заливки форм. Ковши чайникового типа.

Медные сплавы. Промышленные марки литейных и деформируемых сплавов, их свойства и области применения. Печи для плавки меди и медных сплавов. Особенности технологии плавки, рафинирования и модифицирования. Литье в разовые формы. Характеристика формовочных и стержневых материалов. Особенности литниковых систем. Особенности технологии литья. Применение зернистых фильтров в вакууме.

Никелевые сплавы. Промышленные марки литейных и деформируемых никелевых сплавов, их свойства и области применения. Принципы

легирования сплавов. Жаропрочные никелевые сплавы. Печи для плавки сплавов. Технология плавки, рафинирования и модифицирования основных групп никелевых сплавов. Литье в разовые формы.

Титановые сплавы. Промышленные марки литейных и деформируемых сплавов, их состав, свойства и области применения. Печи для плавки тугоплавких сплавов. Дуговые, индукционные и плазменные. Технология плавки литейных и деформируемых сплавов.

Цинковые сплавы. Промышленные марки сплавов, их состав. Свойства и области применения. Печи для плавки сплавов. Особенности технологии плавки, рафинирования и модифицирования.

Благородные металлы и сплавы на их основе. Состав, свойства и области применения. Печи для плавки. Особенности технологии плавки и рафинирования. Особенности технологии литья по выплавляемым моделям.

Литье слитков из сплавов цветных металлов. Литье слитков в изложницы. Технология литья. Смазки, воронки. Структура и плотность слитков и заготовок (прутков, труб, профилей и полос) из алюминиевых, магниевых, медных, никелевых и тугоплавких сплавов. Литье слитков непрерывным методом. Принцип литья. Кристаллизаторы. Литейные машины. Закономерности непрерывного литья. Глубина и форма лунки и влияние лунки на структуру и качество слитка и заготовок. Причины пористости слитков. Ширина двухфазной области в слитке и влияние скорости литья на эту характеристику. Термические напряжения и трещины в слитках.

Оборудование литейных цехов

Классификация оборудования литейных цехов. Типы литейного оборудования. Основные элементы технологической машины. Рабочие процессы литейных машин и требования к ним.

Прессовые формовочные машины. Связь между уплотнением формовочной смеси и сжимающими напряжениями, уравнения уплотнения прессованием.

Расчет основных параметров прессового механизма. Высокоскоростное прессование. Встряхивающие формовочные машины. Характер уплотняющего воздействия на формовочную смесь при уплотнении встряхиванием. Уравнение встряхивания, работа встряхивания. Классификация встряхивающих механизмов по характеру рабочего процесса во встряхивающем цилиндре и по степени амортизации ударов.

Классификация формовочных машин по способу извлечения модели из формы, анализа этих способов. Особенности компоновки прессовых и прессово-встряхивающих механизмов с различным способом извлечения моделей.

Пескодувные машины и пескострельные машины. Различие этих машин. Особенности процесса уплотнения пескодувным способом. Аналитический расчет рабочего процесса пескодувной машины: расчетная схема, процесс в пескодувном резервуаре, процесс в технологической емкости, расчет основных параметров механизма.

Импульсный процесс уплотнения литейных форм. Разновидности процесса: низкого давления, высокого давления, газоимпульсный процесс. "Жесткий" и "мягкий" импульс.

Пескометы. Процесс уплотнения смеси пескометным способом. Рабочий процесс пескомета с осевым и тангенциальным подводом смеси в головку пескомета. Формирование пакета смеси на роторе, сход пакета смеси с ротора.

Формовочные машины для изготовления безопочной парной, стопочной вертикальной или горизонтальной формы.

Стержневые машины для процессов получения стержней по горячим и холодным ящикам. Классификация стержневых машин по способу изготовления стержня в горячей и холодной оснастке.

Оборудование для приготовления формовочных и стержневых смесей. Классификация смесителей: катковые, лопастные, шнековые, смесители периодического и непрерывного действия. Рабочие процессы смесителей с горизонтальной и вертикальной осью вращения катков, лопаточных, шнековых вихревых и вибрационных смесителей.

Плавильные печи. Классификация печей. Конструкция отражательных и тигельных печей. Дуговые и индукционные печи. Рабочий цикл плавильных печей. Технические характеристики печей. Оборудование для заливки форм. Типы ковшей. Классификация заливочных установок по способу выдачи металла. Рабочий процесс заливочного ковша с поворотным механизмом и пневматическим устройством вытеснения металла из ковша. Расчет основных параметров заливочных установок. Дозирующие установки.

Оборудование для выбивки и очистки литья. Эксцентриковые, инерционные и ударные выбивные решетки: особенности процесса выбивки, рабочий процесс, расчет параметров оптимального режима. Установка для выбивки методом прошивания. Установки для выбивки с использованием вакуумирования. Объемная вакуумная выбивка. Выбивка методом вакуумной прошивки. Гидравлические установки для выбивки стержней, особенности рабочего процесса, расчет основных параметров.

Оборудование для контроля качества отливок. Термические печи. Конструкция, принцип действия, рабочий процесс.

9. Механизация и автоматизация литейного производства

Технические, экономические и социальные преимущества автоматизации. Влияние степени автоматизации на производительность труда, качество литейных изделий, экономические показатели и условия обслуживания оборудования. Особенности автоматизации литейных процессов. Структурная схема автоматической машины. Функциональное назначение привода, исполнительного механизма, технологической оснастки-инструмента, устройств контроля и управления.

Автоматизированный привод литейных машин -автоматов. Электрические, пневматические и гидравлические исполнительные, распределительные и управляющие устройства приводов. Регулирование скорости и развиваемых усилий.

Системы автоматического управления технологическими процессами. Принципы управления: жёсткое, по возмущению и отклонению.

Структурные схемы и их анализ. ТТ, ПИ и ПИД способы управления. Программное управление. Цифровое управление. Управляющие ЭВМ, схемы использования в режиме советчика и прямого управления.

Автоматические литейные линии (опочные и безопочные). Состав автоматических литейных линий. Литейные линии с "жёсткой" и "гибкой" связью, замкнутые и разомкнутые линии, однопоточные и многопоточные линии, расчет производительности и надежности линии по соответствующим показателям ее составных элементов. Особенности выбора технологического процесса, реализуемого на автоматических линиях.

Автоматизация процесса заливки, охлаждения и выбивки форм. Особенности построения участков охлаждения и выбивки по двум схемам: охлаждение отливки в опочной форме с последующей выбивкой, охлаждение отливки сначала в опочной форме, затем отделение кома с отливкой от опок и охлаждение отливки в коме с последующей выбивкой отливки из кома.

Автоматизация основных операций процесса плавки. Типовая механизация и автоматизация на складах шихты. Автоматизация составления и завалки шихты в плавильные агрегаты. Автоматизация процесса плавки: схема регулирования режима работы дуговой и индукционной электропечи, регулирование дутья вагранки. Автоматический контроль и регулирование температуры в индукционных печах. Механизация транспортировки расплавленного металла от плавильных агрегатов к заливочным установкам.

Автоматизация и механизация процесса обрубки и очистки отливок. Типовые поточные линии очистки литья.

10. Техника безопасности, улучшение санитарно-гигиенических условий. Охрана окружающей среды

Характеристика условий труда в литейных цехах. Важнейшие факторы, влияющие на условия труда в литейных цехах. Основные источники загрязнения. Предельно допустимые концентрации пыли, газов и различных аэрозолей в производственных помещениях литейных цехов. Нормы освещённости, температуры, предельно допустимый шум.

11. Теоретические основы материаловедения

Строение и свойства материалов.

Строение атома и периодическая система элементов Д.И. Менделеева. Электронная структура. Типы межатомных связей в кристаллах. Кристаллическое строение твердых тел. Типы кристаллических решеток металлов и их характеристика. Реальное строение металлических и неметаллических кристаллов. Анизотропия свойств кристаллов. Дефекты кристаллического строения: точечные, линейные, поверхностные и объемные. Дислокационная структура и прочность металлов.

Формирование структуры металла при кристаллизации

Агрегатные состояния веществ. Энергетические условия и термодинамика процесса кристаллизации. Самопроизвольная и

несамопроизвольная кристаллизация. Форма кристаллических образований. Строение слитка. Полиморфизм. Аморфное состояние металлов.

Строение пластически деформированных металлов

Структурные изменения в металлах в условиях холодной и горячей пластической деформации. Температура рекристаллизации. Строение металлов после возврата и рекристаллизации. Механизм и стадии процесса рекристаллизации.

Основы теории сплавов и термической обработки.

Условия термодинамического равновесия. Определение системы, фазы, структуры. Смеси, химические соединения, твердые растворы, промежуточные фазы. Правило фаз. Основные типы диаграмм состояния двойных сплавов и методы их построения. Эвтектическое и перитектическое превращения. Виды ликвации. Фазовые и структурные превращения в твердом состоянии. Эвтектоидное превращение. Связь между свойствами сплавов и типом диаграммы состояния.

Диаграммы состояния железо-цементит и железо-графит. Влияние легирующих компонентов на критические точки железа и стали, свойства феррита и аустенита.

Фазовые превращения в стали при нагреве и охлаждении. Процесс образования аустенита при нагреве. Механизм превращений переохлажденного аустенита. Изотермические и термокинетические диаграммы. Влияние состава стали на процесс распада аустенита. Критическая скорость охлаждения при закалке. Мартенситное превращение, механизм и кинетика. Структура и свойства мартенсита. Влияние деформации на мартенситное превращение. Превращения при отпуске стали. Изменение структуры и свойств при отпуске. Отпускная хрупкость и способы ее предотвращения.

12. Методы исследования структуры и физических свойств материалов

Методы исследования структуры и фазового состава.

Металлографические и фрактографические методы исследования, оптическая и электронная, в том числе дифракционная микроскопия (просвечивающий и сканирующий электронные микроскопы). Рентгеновские методы исследования: структурный и спектральный методы анализа.

Физические методы неразрушающего контроля дефектов материалов.

Ультразвуковая дефектоскопия. Рентгеновская и гамма-дефектоскопия. Метод вихревых токов. Магнитная и тепловая дефектоскопия.

Упругие свойства материалов.

Модуль упругости и его зависимость от кристаллической структуры материала.

Пластическая деформация и деформационное упрочнение

Процессы скольжения и двойникования. Краевые, винтовые и смешанные дислокации. Вектор Бюргерса. Скольжение и переползание дислокаций. Взаимодействие дислокаций между собой и с примесями. Особенности деформации монокристаллов и поликристаллов. Влияние

границ зерен на пластическую деформацию поликристаллов. Влияние пластической деформации на структуру и свойства материалов. Механизм упрочнения. Разрушение материалов. Виды разрушения материалов. Механизмы зарождения трещин. Трещиностойкость.

Механические свойства материалов и методы их определения

Классификация методов механических испытаний. Значение механических характеристик в материаловедении. Механические свойства, определяемые при статическом нагружении. Испытания на растяжение, сжатие, изгиб, кручение, трещиностойкость. Влияние легирования, структуры концентраторов напряжений и масштабного фактора на характеристики механических свойств.

Механические свойства, определяемые при динамическом нагружении. Влияние скорости деформирования на характеристики прочности и пластичности. Динамические испытания на изгиб образцов. Ударная вязкость. Методы определения ударной вязкости и ее составляющих.

Испытания на твердость.

Поведение материалов под нагрузкой при охлаждении и нагреве.

Поведение материалов под нагрузкой при охлаждении от комнатных температур до криогенных. Хладостойкость и критическая температура хрупкости, методы определения. Поведение материалов под нагрузкой при нагреве от комнатных температур до температуры рекристаллизации и выше. Синеломкость и тепловая хрупкость. Жаростойкость и жаропрочность. Ползучесть, диаграммы ползучести, предел ползучести. Теория рекристаллизационной ползучести. Длительная прочность, диаграммы длительной прочности, предел длительной прочности. Механизм хрупкого разрушения при ползучести. Релаксация напряжений, диаграммы релаксации, релаксационная стойкость. Влияние легирования и структуры на характеристики жаропрочности материалов.

Воздействие внешней среды.

Закономерности окисления металлов. Коррозия металлов и сплавов под напряжением. Коррозионное растрескивание. Межкристаллитная коррозия.

13. Технология, химико-термической термомеханической обработки и поверхностного упрочнения материалов

Термическая обработка стали. Основные виды термической обработки стали. Выбор вида термической обработки в зависимости от назначения изделия.

Химико-термическая обработка. Общие закономерности. Цементация с последующей термической обработкой. Азотирование. Влияние легирующих компонентов на толщину, твердость и износостойкость азотированного слоя. Структура и свойства азотированной стали. Нитроцементация стали. Диффузионная металлизация: алитирование, хромирование, силицирование и т.п. Многокомпонентные покрытия. Диффузионное насыщение в ионизированных газовых средах.

Термомеханическая обработка. Основные виды: предварительная, высокотемпературная, низкотемпературная. Структура и свойства материалов после термомеханической обработки.

14. Металлы и сплавы в машиностроении

Конструкционные углеродистые и легированные стали.

Требования, предъявляемые к конструкционным сталям. Металлургическое качество сталей. Классификация углеродистых сталей по качеству, структуре и областям применения. Влияние углерода и примесей на свойства углеродистых сталей. Углеродистые качественные стали. Автоматные стали. Углеродистые инструментальные стали.

Легированные стали. Влияние легирующих компонентов и примесей на дислокационную структуру и свойства сталей. Классификация и маркировка легированных сталей. Цементуемые (нитроцементуемые) легированные стали. Улучшаемые легированные стали. Пружинные стали общего назначения. Шарикоподшипниковые стали. Износостойкие стали.

Высокопрочные мартенситностареющие стали

Принципы легирования. Мартенситное превращение. Влияние легирующих элементов на кинетику фазовых превращений и особенности термической обработки. Экономнолегированные мартенситностареющие стали. Свойства мартенситностареющих сталей и области применения.

Коррозионностойкие стали

Общие принципы легирования и структура коррозионностойких сталей. Хромистые, хромоникелевые, хромомарганцевоникелевые и хромозотистые аустенитные стали. Высоколегированные кислотостойкие стали. Жаростойкие и окалиностойкие стали.

Жаропрочные стали и сплавы

Принципы легирования жаропрочных сталей и сплавов. Упрочняющие фазы. Жаропрочные стали перлитного и мартенситного классов. Жаропрочные стали аустенитного класса с карбидным и интерметаллидным упрочнением. Области применения в машиностроении.

Инструментальные стали

Классификация инструментальных сталей по теплостойкости, структуре и областям применения. Быстрорежущая сталь и особенности ее термической обработки. Штамповые стали для деформирования в горячем и холодном состоянии. Стали для форм литья под давлением и прессования.

Чугуны

Свойства и назначение чугунов. принципы классификации. Вспыс, серые, высокопрочные и ковкие чугуны. Фазовые превращения в чугунах. Применение в машиностроении

Цветные металлы и сплавы

Алюминий и его сплавы. Классификация алюминиевых сплавов. Деформируемые алюминиевые сплавы. Литейные алюминиевые сплавы. Особенности термической обработки. Спеченные алюминиевые сплавы. Области применения алюминия и его сплавов.

Магний и его сплавы

Классификация магниевых сплавов. Деформируемые и литейные сплавы. Термическая обработка магниевых сплавов.

Медь и ее сплавы

Влияние примесей на структуру и свойства меди. Классификация медных сплавов. Латунни, их свойства. Строение и свойства оловянных, алюминиевых, свинцовых, марганцовистых и бериллиевых бронз. Области применения меди и ее сплавов.

Титан и его сплавы

Классификация легирующих элементов и типы сплавов титана. Механические, технологические и коррозионные свойства титановых сплавов. Конструкционные и жаропрочные сплавы титана. Особенности термической обработки.

15. Неметаллические материалы в машиностроении

Полимеры и пластические массы.

Классификация и структура полимерных материалов. Молекулярная структура полимеров. Особенности механических свойств полимеров, обусловленные их строением. Релаксационные свойства. Вязкое течение растворов и расплавов полимеров. Старение и стабилизация полимеров. Влияние внешних факторов на процесс разрушения. Физико-механические, адгезионные, фрикционные, антикоррозионные, диэлектрические свойства полимеров, методы исследования этих свойств.

Состав, классификация и свойства пластических масс. Пластмассы на основе термопластичных и термореактивных полимеров. Отвердители, наполнители, пластификаторы, катализаторы, пигменты, ингибиторы. Методы переработки пластмасс в изделия. Материалы, технология и оборудование для получения полимерных покрытий.

Композиционные материалы

Принципы создания и основные типы композиционных материалов. Композиционные материалы с нульмерными и одномерными наполнителями. Эвтектические композиционные материалы. Композиционные материалы на неметаллической основе. Основы расчета на прочность изделий из композиционных материалов. Области и перспективы применения композиционных материалов в машиностроении.

Резиновые материалы

Состав и классификация резин. Технология приготовления резиновых смесей и формирования деталей из резины. Физико-механические свойства резины. Влияние условий эксплуатации на свойства резин. Применение резиновых материалов в машиностроении.

Лакокрасочные и клеящие материалы

Состав и классификация лакокрасочных материалов. Особенности кремнийорганических покрытий. Технологические методы нанесения лакокрасочных покрытий. Технология нанесения лакокрасочных покрытий. Сравнительные свойства лакокрасочных покрытий и их применение в машиностроении.

Клеящие материалы, состав и классификация

Физико-химическая природа. Конструкционные клеи. Состав клеевых соединений. Методы получения клеевых соединений и их испытания. Применение клеевых соединений в машиностроении.

Литература, рекомендуемая для подготовки к вступительному экзамену

1. Производство стали [Текст]. Т. 4 : Непрерывная разливка металла / Д. А. Дюдкин, В. В. Кисиленко, А. Н. Смирнов. - М. : Теплотехник, 2009. - 528 с.
2. Ефимов В.А., Эльдарханов А.С. Современные технологии разливки и кристаллизации. Производство стали [Текст] . Т. 3 : Внепечная металлургия стали / Д. А. Дюдкин, В. В. Кисиленко. - М. : Теплотехник , 2010. - 544 с.
3. Григорян В.А., Белянчиков Л.Н., Стомахин Л.Я. Теоретические основы электросталеплавильных процессов. М. Металлургия. 1987, 272с.
4. Металлургия стали. Под редакцией В.И. Явойского и Г.Н. Ойса. М. Металлургия 1973, 816с.
5. Явойский В.И. Теория процессов производства стали. М. Металлургия 1985, 344с.
6. Еланский Г. Н., Еланский Д. Г. Строение и свойства металлических расплавов: учеб. пособие для студ. вузов. - М.: МГВМИ, 2006. - 227 с.
7. . Флемингс М. Процессы затвердевания [Текст] / пер. с англ. В. Н. Вигдоровича [и др.], под ред. А. А. Жукова, Б. В. Рабиновича. - М. : Мир, 1977. - 424 с.
8. Зеликман А.Н., Коршунов Б.Г. Металлургия редких металлов. М. Металлургия 1991, - 432с.
9. Николаев И.В., Москвитин В.И., Фомин Б.А. Металлургия лёгких металлов. М. Металлургия 1997, 430с.
10. Чалых В. М. Производство алюминия.- М.: Металлургия, 1997.- 350 с.
11. Гун Г.Я. Теоретические основы обработки металлов давлением (теория пластичности). Учебник для вузов. М.: Металлургия, 1980. - 456 с.
12. Тюрин В.А., Мохов А.И. Теория обработки металлов давлением. Под ред. Проф. В.А. Тюрин. Учебник для вузов. - Волгоград РПК «Политехник». 2000. - 416 с.
13. Полухин П.И., Горелик С.С., Воронцов В.К. Физические основы пластической деформации. Учебное пособие для вузов. М.: Металлургия, 1982. 584 с.
14. Охрименко Я.М., Тюрин В.А. Теория процессовковки. Учебное пособие для вузов. М.: Высшая школа. 1977. - 295 с.
15. Перлин И.Л., Ерманок М.З. Теория волочения. Учебник для вузов. М.: Металлургия, 1971. - 447 с.
16. Технология производства труб. Учебник для вузов. / И.Н. Потапов, А.П. Коликов, В.Н. Данченко и др. М.: Металлургия, 1984. - 528 с.

17. Кучеряев Б.В. Механика сплошных сред. Учебник для вузов. М.: МИСиС, 2000. - 320 с.
18. Пикунов М.В. Плавка металлов, кристаллизация сплавов, затвердевание отливок. М: МИСиС. 1997.
19. Жуховицкий А.А., Шварцман Л.А. Основы физической химии. М.: Metallurgy, 1987.
20. Баландин Г.Ф. Основы теории формирования отливок. М.: Машиностроение. М.: МВТУ. 1998.-450с.
21. Борнацкий И.И. Основы физической химии. М.: Metallurgy. 1989.
22. Васильев В. А. Физико-химические основы литейного производства. Учебное пособие - М.: Изд. МВТУ. 1994.- 324 с.
23. Гиршович Н.Г. Кристаллизация и свойства чугуна в отливках. М.: Metallurgy, 1996.
24. Еланский Т.Н. Строение и свойства металлических расплавов. М.: Metallurgy. 1991.-160с.
25. Галдин Н.М. и др. Литниковые системы и прибыли для фасонных отливок. М.: Машиностроение. 1992.-252с.
26. Головин С.Я. Особые виды литья. М.: Машиностроение. 1959.-462с.
29. Шкленник Я.И., Озеров В.А. и др. Литьё по выплавляемым моделям. М.: Машиностроение. 1984.
27. Кньюпель Г. Раскисление и вакуумная обработка стали. Metallurgy. 1984.-412с.
28. Материалы в машиностроении. Энциклопедия. Раздел 2. том 11-2 под ред. Долбенко Е.Т. М: Машиностроение. 2000.
29. Грузных И.В., Оболенцев Ф.Д. Надёжность и технологичность в производстве стальных отливок. С-П.: Политехника. 1992.-270с.
30. Новиков И.И. и др. Литниковые системы и прибыли для фасонных отливок. М.: Машиностроение. 1994.-479с.
31. Арзамасов Б.Н., Макарова В.И., Мухин Г.Г. и др. Материаловедение, М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2001.648 с.
32. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. - М.: Машиностроение. 1990. 528 с.
33. Фетисов Г.П. Кариман М.Г., Матюнин В.М. и др. Материаловедение и технология металлов. /Под ред. Фетисова Г.П. М.: Высшая школа. 2001,640 с.
34. Ильин А. А. Механизм и кинетика фазовых и структурных превращений в титановых сплавах. - М.: «Наука», 1994. 304 с.
35. Новиков И.И., Розин К.М. Кристаллография и дефекты кристаллической решетки. М.: Metallurgy. 1990. 336 с.
36. Золоторевский В. С. Механические свойства металлов. - М.: МИСИС. 1998. 400 с.
37. Лифшиц В.Г. Металлография. М.: Metallurgy, 1990. 236 с.
38. Шмитт-Томас К.Г. Металловедение для машиностроения. М.: Metallurgy. 1995. 512 с.

39. Колачев Б.А.. Елагин В.И.. Ливанов В.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. - М.: Изд-во «МИСИС». 1999. 416 с.