

Министерство образования и науки Российской Федерации

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Чувашский государственный педагогический
университет им. И.Я. Яковлева»**

УТВЕРЖДАЮ

Ректор  Б. Г. Миронов

«» мая 2012 г.

ПРОГРАММА

кандидатского экзамена по специальности

05.16.04 «Литейное производство»

по техническим наукам

Чебоксары 2012

Введение

В основу настоящей программы положены следующие дисциплины: теоретические основы литейного производства (теоретические основы процессов плавки, теория формирования отливки), технологические основы литейного производства (теория и технология литья в песчаные формы, технология специальных видов литья), технология производства отливок (чугунное литьё, стальное литьё, литьё из цветных металлов и сплавов), оборудование литейных цехов, механизация и автоматизация литейного производства, техника безопасности, улучшение санитарно-гигиенических условий, охрана окружающей среды. Программа разработана экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Минобразования России по металлургии и металловедению при участии ЦНИИТМАШ, МИСиС, МВТУ им. Баумана, СГТУ и МАМИ.

1. 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. Техничко-экономические показатели производства литых изделий. Современное состояние и основные тенденции развития литейного производства в России и зарубежных странах.

1.1. 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. Термодинамические особенности процессов плавления. Металлохимические свойства элементов. Основные термодинамические константы. Термодинамические функции в расчетах металлургических процессов. Кинетика гетерогенных металлургических реакций.

Взаимодействие металлов и сплавов с газами. Газонасыщение и газовыделение. Влияние температуры и давления. Системы металл-водород, металл-кислород, металл-водяной пар. Азот в жидком железе.

Взаимодействие металлических расплавов с футеровкой плавильных и раздаточных печей, с материалами плавильных тиглей. Защита металлических расплавов от взаимодействия с воздушной средой. Плавка в защитной или инертной атмосфере, вакуумная плавка. Применение шлаков, флюсов, защитных покровов. Взаимодействие металлических и шлаковых расплавов. Основы теории шлаковых расплавов. Свойства жидких шлаков. Диссоциация. Свойства конденсированных фаз. Температурная функция прочности соединений. Особенности диссоциации окислов. Прочность окислов. Углерод, кремний, марганец, сера и фосфор в жидком железе. Тепловые и физико-химические основы плавки чугуна в различных плавильных агрегатах. Пути и методы интенсификации процесса плавки чугуна.

Рафинирование расплавов от растворенных примесей и газов. Способы дегазации и раскисления. Фильтрация расплавов. Модифицирование 1 и 2 рода. Термовременная обработка расплава. Экологические проблемы при плавке и обработке расплава в жидком состоянии и заливке.

1.2. 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. Расчет затвердевания и охлаждения литейных сплавов в форме. Влияние конфигурации отливок и технологических факторов литья на кинетику затвердевания и охлаждения отливок. Управление тепловыми процессами. Моделирование тепловых процессов на ЭВМ с целью отработки технологии.

Гидравлические процессы при заполнении формы. Основные законы гидравлики. Металлические расплавы как жидкости. Способы заполнения литейных форм Назначение литниковых систем, их конструкции, процессы, происходящие в литниковых системах. Типы литниковых систем. Проектирование и расчет литниковых систем. Управление процессом заполнения форм.

Жидкотекучесть сплавов, влияние металлургических и технологических факторов на жидкотекучесть литейных сплавов и качество отливок.

Физико-химические процессы на границе отливки с формой. Газовый режим формы. Окисление поверхности отливки в газовой атмосфере формы. Карбидобразование в поверхностном слое стальных отливок. Взаимодействие окислов на поверхности отливки с материалом формы. Возникновение различных видов пригара. Способы повышения качества поверхности отливок. Поверхностное легирование.

Кристаллизационные процессы. Термодинамика зарождения и роста центров кристаллизации. Равновесная и неравновесная кристаллизация сплавов, ее причины и последствия. Влияние скорости охлаждения на процесс кристаллизации. Ликвация, неметаллические включения, газы и газовые дефекты в отливках. Влияние состава, технологических и конструкционных факторов на развитие ликвационных процессов, Основные методы ограничения развития ликвационных процессов. Влияние металлургических и технологических факторов на характер литой макро- и микроструктуры отливок. Управление кристаллизационными процессами. Способы уменьшения и устранения дефектов в отливках.

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. Трехмерное моделирование процессов затвердевания для оценки правильности разработанной технологии изготовления отливки. Усадочные деформации отливок. Горячие и холодные трещины. Теоретические основы процесса образования трещин, влияние состава, технологических и конструкционных факторов на процесс формирования трещин. Способы предохранения отливок от трещин. Остаточные напряжения в отливках. Причины возникновения остаточных напряжений. Методы исследования и количественной оценки остаточных напряжений. Технологические средства снижения уровня остаточных напряжений в отливках. Релаксация напряжений. Способы предохранения отливок от коробления. Режимы термической обработки для снижения напряжений.

2. Технологические основы литейного производства

2.1. 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. Классификация формовочных песков по содержанию глины, примесям и зерновому составу. Методы испытания. Формовочные глины, минералогический состав и их строение. Классификация глин и методы испытания. Выбор глин в зависимости от назначения смеси. Факторы, определяющие связующую способность глин.

Связующие материалы. Требования, предъявляемые к ним. Классификация связующих материалов. Органические и неорганические связующие. Синтетические смолы. Выбор связующих материалов и методы испытаний их свойств. Противопригарные и другие вспомогательные материалы. Противопригарные добавки в смесь, краски и натирки. Свойства и составы этих материалов.

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. Теория формирования прочности смесей с синтетическими смолами. Технологические процессы: SO₂ Cold-Gox-amini-Beteset-, Redset-, Alhaset-, Carbophen- Per-set- процессы. Теория формирования прочности смесей с жидким стеклом. Физико-химические процессы при отверждении смесей с цементами и фосфатами. Пластичные и жидкие ХТС с жидким стеклом. 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. Смесей для изготовления форм с тепловой сушкой и поверхностной подсушкой. Технология приготовления формовочных и стержневых смесей. Регенерация формовочных и стержневых смесей и её разновидности: гидравлическая, механическая, термическая, термомеханическая, пневматическая и др.

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. Инструмент и оборудование, используемое для изготовления модельных комплектов. Типы модельных заготовок, способы их соединения. Отделка моделей и стержневых ящиков. Унификация модельных заготовок и нормализация однотипных моделей и стержневых ящиков. Металлические и полимерные модельные комплекты. Влияние способа изготовления, числа съёмов формы и стержней на конструкцию и материал моделей и стержневых ящиков. Технология изготовления металлических модельных комплектов. Типы заготовок. Способы обработки.

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. Способы уплотнения литейных форм: прессование верхнее, нижнее; встряхивание, уплотнение пескометом. Их сравнительный анализ. Способы удаления модели из формы. Влияние способа удаления на точность операции. Виды машинной формовки. Формовка в парных опоках, стопочная формовка, безопочная формовка с вертикальной плоскостью разъема. Импульсная и вакуумная 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. Возможности механизации и автоматизации операций сборки и заливки. Автоматические заливочные устройства. Дозирование металла. Определение времени охлаждения отливки в форме, в том числе по результатам моделирования на ЭВМ. Выбивка и очистка литья. Схемы выбивки опок. Удаление стержней из отливок, механические и гидравлические методы. Способы очистки поверхности удаления заливок. Возможности механизации автоматизации отдельных операций. Термическая обработка отливок.

2.2. 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. Подвод металла в питание отливок. Основные виды дефектов кокильного литья и методы их предотвращения. Литье в облицованные кокили.

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. Гравитационный коэффициент. Механические свойства металла центробежных заготовок. Особенности технологии получения крупных толстостенных и фасонных заготовок. Теплоизоляционные покрытия изложниц, методы их нанесения. Флюсы, применяемые при производстве центробежного литья, и их назначение.

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.

3. Технология производства отливок

3.1. 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. Основные отличия эксплуатационных и литейных свойств этих групп чугунов. Области применения ГОСТы на отливки из чугуна. Особенности технологического процесса изготовления чугунных отливок. Связь механических свойств чугуна с химическим составом и скоростью охлаждения.

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. Влияние состава, физических и физико-химических факторов на структурообразование и графитизацию чугуна. Влияние основных компонентов чугуна. Влияние степени перегрева, выдержки и скорости охлаждения. Влияние инокулирующих присадок. Структурные диаграммы для серого, белого, половинчатого и высокопрочного чугуна при литье в песчаные и металлические формы. Методы их построения.

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. Принцип направленного затвердевания. Теплофизические и гидродинамические процессы в форме, методы управления ими. Современные методы контроля качества чугунных отливок.

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. Влияние масштабного фактора на механические свойства чугуна. Механические свойства при повышенных и низких температурах. Серый, ковкий, высокопрочный чугуны, чугун с вермикулярным графитом, синтетические чугуны.

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. Коррозионностойкие чугуны. Износостойкие и антифрикционные чугуны. Основы теории трения и изнашивания металлов. Ударно-абразивное изнашивание, зависимость износостойкости от твердости чугуна. Жаропрочные, немагнитные и другие виды чугунов со специальными свойствами. Методы оценки специальных свойств. Особенности технологии плавки и модифицирования легированных чугунов.

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. Металлургические процессы при плавке в электропечах. Основы плазменной, электронно-лучевой и электрошлаковой плавки. Особенности плавки синтетического чугуна на стальных отходах, металлургических окатышах и др. Технологические особенности duplex процессов. Типы печей для электроплавки чугуна и их отличительные особенности. Техничко-экономические показатели.

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. Технологические особенности плавки чугунов различных марок. Внепечная обработка чугуна. Управление процессом плавки. Использование жидкого доменного чугуна для производства фасонных отливок. Методы контроля жидкого чугуна.

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. Технология модифицирования чугуна различными присадками. Оборудование, применяемое для модифицирования чугунов. Теоретические и технологические основы суспензионной заливки.

Контроль качества отливок. Исправление дефектов. Термическая обработка отливок.

3.2. 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. Применение и технико-экономические показатели плавки в мартеновских и электрических печах и в конверторах. Управление плавкой. Раскисление, десульфурация и дефосфорация сталей. Рафинирование стали синтетическими шлаками. Электрошлаковый переплав. Непрерывная плавка стали. Плавка в плазменных печах. Металлургические особенности плавки легированных сталей. Поведение легирующих компонентов.

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. Склонность стали к образованию окисных плен: теоретические основы процесса образования окисных плен, влияние химического состава, меры предупреждения процесса образования окисных плен. Влияние химического состава стали и основных технологических факторов на объемную и линейную усадку стали. Закономерности изменения линейной усадки в процессе затвердевания и последующего охлаждения отливки. Температурный интервал затвердевания стали, его влияние на литейные свойства стали.

Классификация стали по химическому составу и структуре. Принципиальные особенности технологии изготовления отливок из углеродистых низколегированных, среднелегированных и высоколегированных сталей. Технологические особенности процесса получения заданной структуры литой стали аустенитного и ферритного классов. Основные отличия эксплуатационных и литейных свойств этих групп сталей: прочность, пластичность, жаропрочность, износостойкость, антикоррозийные свойства, жидкотекучесть, усадка, склонность к образованию горячих трещин.

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. Повышение огнеупорности формы за счет применения специальных материалов: оливиновые породы, хромистый железняк, магнезит, цирконовый песок. 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. Особенности расчета литниковых систем при заливке из стопорного ковша. Конструирование и расчет многоярусных литниковых систем. Принципы выбора температуры выбивки отливки из формы.

Особенности процесса затвердевания стали аустенитного класса типа ОХ18Н9ТЛ и влияние основных технологических факторов на получение заданной структуры. Особенности процесса затвердевания высокомарганцевой стали 110Г13Л и влияние основных технологических факторов на получение заданной структуры. Технологические методы создания направленного затвердения стали, область их применения в зависимости от толщины стенок и отливок и состава стали.

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.

3.3. 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. Применение вакуума. Прибыли, их расположение и размеры. Направленная кристаллизация. Холодильники. Кристаллизация под давлением. Особенности выбивки и очистки отливок. Контроль отливок и направление дефектов. Термическая обработка отливок. Особенности технологии изготовления отливок литьем в кокиль, под давлением, под низким давлением. Механизация и автоматизация процессов заливки и извлечения отливок из форм. Технические и экономические предпосылки, определяющие выбор способа производства отливок из алюминиевых сплавов. Области применения различных способов литья.

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. Применение зернистых фильтров и вакуума. Прибыли, их расположение и размеры. Направленная кристаллизация. Холодильники. Литье методом последовательной кристаллизации. Применение кристаллизации под давлением. Особенности выбивки, очистки и обрубки отливок. Особенности технологии литья в кокиль, под давлением, под низким давлением. Контроль качества отливок. Исправление дефектов. Химическая и термическая обработка отливок. Техничко-экономические предпосылки, определяющие выбор способа производства отливок из магниевых сплавов.

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. Прибыли, их расположение и размеры. Применение холодильников. Особенности выбивки, очистки и обрубки. Особенности технологии изготовления отливок из медных сплавов литьем по выплавляемым моделям, в кокиль, под давлением и центробежным способом. Применение жидкой штамповки. Контроль качества отливок. Исправление дефектов заваркой и пропиткой.

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. Особенности технологии литья. Характеристика формовочных и стержневых смесей. Меры по устранению пригара. Особенности заливки форм. Применение зернистых фильтров и вакуума. Прибыли их расположение и размеры. Применение холодильников. Особенности технологии выбивки форм, обрубки и очистки отливок. Контроль отливок и исправление дефектов. Термообработка отливок. Особенности технологии изготовления отливок литьем по выплавляемым моделям, по методу Шоу, в кокили.

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. Особенности литья в разовые формы. Характеристика формовочных смесей. Особенности

литниковых систем. Расположение и размер прибылей. Использование центробежной силы. Особенности охлаждения отливок в форме, выбивки форм и стержней и очистки отливок. Исправление дефектов отливок аргоно-дуговой заваркой. Особенности технологии литья титановых сплавов по выплавляемым моделям и в оболочковые формы. Тугоплавкие металлы и сплавы. Физико-химические и технологические свойства. Особенности технологии плавки и литья.

Цинковые сплавы. Промышленные марки сплавов, их состав. Свойства и области применения. Печи для плавки сплавов. Особенности технологии плавки, рафинирования и модифицирования. Технология литья в кокиль и под давлением. Особенности литниковых систем. Прибыли и их расположение. Особенности обрезки и обрубки отливок.

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. Ликвация в слитках непрерывного литья. Окисные плены в слитке. Использование фильтров при литье. Литье в магнитный кристаллизатор. Особенности непрерывного литья слитков и заготовок из алюминиевых, магниевых, никелевых, цинковых, медных сплавов и сплавов тугоплавких и благородных металлов. Литье по методу Степанова. Литье методом вакуумного всасывания. Особенности технологии. Совмещенные методы литья и пропитки. Механическая и термическая обработка слитков и др. заготовок.

4. 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. Рабочий процесс прессовых машин с пневматическим, гидравлическим и электромагнитным приводом. Конструктивные особенности прессовых машин с нижним и верхним прессованием, с плоской, профильной плитой, с диафрагменной и многоплунжерной головками, рычажные прессовые машины.

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. Рабочий процесс пневматического встряхивающего механизма: индикаторные диаграммы и их анализ. Общая методика расчета встряхивающего механизма. Рабочий процесс встряхивающего механизма с полной амортизацией ударов в режиме чистого встряхивания и встряхивания с одновременным прессованием. Особенности компоновки встряхивающих формовочных машин. Методы управления встряхивающими машинами.

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. Конструктивные особенности пескодувных клапанов. Конструкции пескодувных формовочных и стержневых машин.

Импульсный процесс уплотнения литейных форм. Разновидности процесса: низкого давления, высокого давления, газоимпульсный процесс. “Жесткий” и “мягкий” импульс. Технологические возможности импульсного процесса, его недостатки. Клапаны импульсных машин. Импульсно-прессовый процесс уплотнения. Пескодувно-импульсно-прессовый процесс уплотнения.

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. Расчет основных параметров систем подачи смеси, метательной головки и механизма перемещения головки в процессе укладки. Ширококовшовые пескометы. Основные типы конструкций пескометов. Технологические возможности уплотнения пескометом.

Формовочные машины для изготовления безопочной парной, стопочной вертикальной или горизонтальной формы. Основные требования к процессу уплотнения и прочности формы. Особенности компоновки машин.

Стержневые машины для процессов получения стержней по горячим и холодным ящикам. Классификация стержневых машин по способу изготовления стержня в горячей и холодной оснастке. Особенности формирования и отверждения стержней. Компоновка и кинематика стержневых машин. Основные способы нагрева и регулирования температуры оснастки. Способы получения катализатора и их подача в ящики.

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. Особенности работы смесителей непрерывного действия: сдвоенные бегуны и барабанные смесители. Расчет мощности, главного привода смешивающих бегунов.

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. Дробеметные очистные машины: особенности дробеметной очистки, принцип действия дробеметного колеса, расчет рабочего процесса, типы дробеметных аппаратов и компоновки машин. Очистные дробеметные установки типа “два в одном” и “три в одном”. Дисковые и ленточные пилы. Гидропескоструйные установки. Обрубные прессы. Рабочий процесс установок.

Машины литья под давлением. Особенности и основные параметры процесса литья под давлением. Основные конструктивные типы машин литья под давлением. Машины вертикальной и горизонтальной холодной камерой прессования, с горячей камерой прессования. Рабочий процесс механизма прессования машины литья под давлением. Динамика аккумуляторного привода механизма прессования без мультипликатора и с

мультипликатором. Способы и устройства включения мультипликатора. Типы и кинетика запирающих механизмов. Расчет основных параметров машин литья под давлением. Компоновка машин литья под давлением из унифицированных узлов.

Машины для литья в кокиль. Основные типы кокилей и установок. Кинематика однопозиционных и многопозиционных кокильных машин. Расчет основных параметров привода сборки и разборки кокиля.

Машины для литья под низким давлением. Основные параметры процесса. Рабочий процесс машины. Расчет основных параметров машины с учетом изменения уровня металла в ковше в процессе работы машины.

Центробежные машины. Конструктивные типы машин для литья гильз и труб: со стационарной и сменными изложницами, однопозиционные и многопозиционные машины. Выбор привода вращения изложницы.

Машины для изготовления оболочковых форм и форм точного литья. Особенности процесса формирования и отверждения оболочки. Конструкция и компоновка машин в зависимости от способа формирования оболочки.

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

5. 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. Технологические основы автоматизации литейных процессов. Анализ технологического процесса с позиций автоматизации. Структурная схема управляемой операции. Входные и выходные величины. Структурная схема автоматизируемого технологического процесса (одно- и многооперационного). Назначение автоматически контролируемых и регулируемых параметров, выбор управляющих воздействий и установление законов управления.

Автоматизированный привод литейных машин –автоматов. Электрические, пневматические и гидравлические исполнительные, распределительные и управляющие устройства приводов. Регулирование скорости и развиваемых усилий. Динамика приводов. Выбор типа привода в соответствии с нагрузочной характеристикой и особенностями работы автоматической машины. Коэффициенты полезного действия и использования установленных мощностей. Способы повышения значений этих показателей. Системы автоматического контроля: назначение систем, структурная схема и функции элементов. Прямые и косвенные способы контроля. Требования ISO 9000 к автоматическому контролю и примеры их реализации в литейном производстве.

Системы автоматической защиты. Назначение и структурная схема. Автоматическая защита оборудования, изделия, оператора и окружающей среды от несанкционированных действий механизмов и оборудования, нарушений в питании энергией и материалами, неправильных действий оператора. Автоматическая защита от катастрофических последствий.

Системы автоматического управления технологическими процессами. Принципы управления: жёсткое, по возмущению и отклонению. Структурные схемы и их анализ. П, ПИ и ПИД способы управления. Программное управление. Цифровое управление. Управляющие ЭВМ, схемы использования в режиме советчика и прямого управления.

Автоматическое управление многооперационными литейными машинами-автоматами. Методы описания объекта автоматизации: структурная схема многооперационного процесса, Конструктивно-технологическая и функциональная схемы,

циклограмма и тактограмма, логические условия, определяющие заданную последовательность работы механизмов и защитные блокировки.

Основы проектирования высокоэффективных автоматических литейных машин и линий. Принципы повышения производительности автоматических машин: интенсификация процессов, совмещение выполнения операций во времени, распределение выполнения операций процесса в пространстве и совмещение их выполнения во времени, использование многоместной оснастки. Машины-автоматы дискретного действия. Организация выполнения многооперационного в пространстве и времени. Одно- и многопозиционные и челночные автоматы и их анализ с позиций производительности, надёжности и качества производимой продукции. Многопоточные машины. Машины-автоматы непрерывного действия. Автоматические линии: структурные и компоновочные решения, транспортные системы линий. Модульный принцип компоновки линий. Системы управления.

Гибкое автоматизированное производство отливок, как перспективное направление развития автоматизации в литейном производстве. Особенности ГАП, проблемы и направления их разрешения. Методы и средства создания ГАП отливок: особенности технологии и оснастки, технологической подготовки, автоматическая замена оснастки и перестройка технологических режимов при частом переходе на изготовление новой партии отливок. Примеры автоматизации производства отливок в разовых песчаных формах и специальными способами литья.

Поточные механизированные и частично автоматизированные литейные линии. Состав поточной линии. Транспортные системы поточных линий: горизонтально-замкнутые тележечные непрерывно- движущие и пульсирующие конвейеры. Непрерывно движущиеся и толкающие подвесные конвейеры, рольганговые транспортные системы. Основные виды связи технологического участка с непрерывным и пульсирующим конвейером. Типовые поточные линии формовки- заливки- выбивки, изготовления стержней, литья в кокиль и под давлением.

Автоматические литейные линии (опочные и безопочные). Состав автоматических литейных линий. Литейные линии с “жесткой” 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. Особенности построения технологического процесса, компоновки и конструкции линий для массового, серийного и мелкосерийного производства отливок, способы автоматической смены оснастки на линиях. Автоматизация процесса смесеприготовления. Состав операций и типовая схема системы смесеприготовления. Автоматизация процесса смешивания: автоматическое управление смесителями периодического и непрерывного действия, автоматический контроль свойств исходных компонентов и готовой смеси, автоматизация процесса охлаждения отработанной формовочной смеси. Автоматизация основных операций процесса изготовления разовых песчаных форм. Автоматизация процесса формовки: базовых процессов уплотнения, управления процессом уплотнения; особенности конструкций формовочных, однопозиционных, челночных, сдвоенных челночных и многопозиционных формовочных автоматов карусельного и литейного типов, автоматов для изготовления опочных и безопочных, парных и стопочных форм. Автоматизация процесса сборки и скрепления форм. Типовые автоматические линии изготовления отливок в разовых песчаных опочных и безопочных формах, в оболочковых формах и по выплавляемым моделям.

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.

6. 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.

Вопросы техники безопасности в плавильных отделениях. Требования промышленной санитарии, предъявляемые к различным типам вагранок. Очистка и дожигание ваграночных газов. Конструкции и технические характеристики вентиляционных устройств от электродуговых печей. Техника безопасности при эксплуатации высокочастотных индукционных электропечей. Требования техники безопасности при выпуске и заливке металла, а также при обработке жидкого металла различными присадками. Техника безопасности при производстве цветных металлов и сплавов. Меры безопасности при работе с магниевыми сплавами.

Техника безопасности при применении холоднотвердеющих формовочных и стержневых смесей по горячей оснастке. Обеспыливание и аэрация помещений. Особенности техники безопасности при ручной формовке и при применении формовочных и стержневых машин. Основные требования техники безопасности при выбивке отливок. Требования к инструменту и конструкции обрубного оборудования и его рациональное размещение.

Литература

1. Рубцов Н.Н. История литейного производства в СССР Ч.1. М.: Машгиз. 1962.
2. Куманин И.Б. Вопросы теории литейных процессов. М: Машиностроение. 1975.
3. Пикунов М.В. Плавка металлов, кристаллизация сплавов, затвердевание отливок. М.: МИСиС. 1997.
4. Жуховицкий А.А., Шварцман Л.А. Основы физической химии. М.: Metallургия, 1987.
5. Краткий справочник физико-химических величин. Под ред. Равделя М.: Химия. 1983.
6. Гуляев Б.Б. Теория литейных процессов. Л.: Машиностроение. 1976. - 214 с.
7. Баландин Г.Ф. Основы теории формирования отливок. М.: Машиностроение. 1998. - 450 с.
8. Леви Л.И., Мариенбах Л.М. Основы теории металлургических процессов и технология плавки литейных сплавов. - М.: Metallургия, 1967. – 496 с.
9. Борнацкий И.И. Основы физической химии. М.: Metallургия, 1989.
10. Семенченко, В.К. Поверхностные явления в металлах и сплавах. Госиздат технико-теоретич. литературы, М., 1957. – 491 с.
11. Левич В.Г. Физико-химическая гидродинамика. Физматгиз, 1959. – 699 с.
12. Диаграммы состояния двойных металлических систем. В 3 томах под ред. Академика РАН Лякишева Н.Г. М.: Машиностроение, 1996.

13. Степанов Ю.А., Баландин Г.Ф., Рыбкин В.А. Технология литейного производства М.: Машиностроение, 1983.
14. Васильев В.А. Физико-химические основы литейного производства. Учебное пособие. - М.: Изд. МВТУ, 1994. - 324 с.
15. Мельников И.Е., Куклев В.Г., Шабунев К.З., Шумский И.Я. Теория металлургических процессов. М., Металлургия. 1977. – 533 с.
16. Литейное производство. Под ред. Михайлова А.М. М: Машиностроение. 1987. - 255 с.
17. Рабинович Б.В. Введение в литейную гидравлику. М.: Машиностроение. 1966. - 423 с.
18. Гиршович Н.Г. Кристаллизация и свойства чугуна в отливках. М.: Металлургия, 1996.
19. Леви Л.И., Кантеник С.К. Литейные сплавы. - М.: Высшая школа, 1967. – 435 с.
20. Диаграммы состояния двойных и многокомпонентных систем на основе железа. Справочник под ред. Банных О.А. и Дрица М.Б. М: Металлургия, 1986.
21. Еланский Г.Н. Строение и свойства металлических расплавов. М.: Металлургия, 1991. – 160 с.
22. Медведев Я.И. Газовые процессы в литейной форме. - М.: Машиностроение, 1980 – 197 с.
23. Воздвиженский В.М., Грачев В.А., Спаский В.В. Литейные сплавы и технология их плавки в машиностроении. - М.: Машиностроение, 1984. - 432 с.
24. Валисовский И.В. Пригар на отливках. Машиностроение, 1983. – 188 с.
25. Василевский П.Ф. Технология стального литья. М.: Машиностроение, 1974.
26. Тищенко В.Г. Пирометрия жидких металлов Киев.: Наукова думка, 1964.
27. Галдин Н.М. и др. Литниковые системы и прибыли для фасонных отливок. М.: Машиностроение, 1992. – 252 с.
28. Головин С.Я. Особые виды литья. М.: Машиностроение, 1959. – 462 с.
29. Шкленник Я.И., Озеров В.А. и др. Литьё по выплавляемым моделям. М.: Машиностроение, 1984.
30. Степанов, Ю.А., Баландин Г.Ф., Рыбкин, Г.Ф. Специальные виды литья. М.: Машиностроение, 1983. - 284 с.
31. Шульте Ю.А. Производство отливок из стали. Киев-Донецк: Вища школа, 1983.- 183 с.
32. Нарита К. Кристаллическая структура неметаллических включений в стали. М.: Металлургия. 1969. – 186 с.
33. Стальное литьё. Справочник под ред. Дубинина Н.П. М.: Машиностроение, 1961. - 888 с.
34. Бидуля П.Н. Технология стальных отливок. М.: Госнаучиздат по чёрной и цветной металлургии, 1961. – 350 с.
35. Кнюппель Г. Раскисление и вакуумная обработка стали. Металлургия, 1984. – 412 с.
36. Материалы в машиностроении. Энциклопедия. Раздел 2. Том II-2 по ред. Долбенко Е.Т. М.: Машиностроение, 2000.
37. Грузных И.В., Оболенцев Ф.Д. Надёжность и технологичность в производстве стальных отливок. С-П.: Политехника. 1992. – 270 с.
38. Новиков И.И. и др. Литниковые системы и прибыли для фасонных отливок. М.: Машиностроение, 1994. – 479 с.
39. Трухов А.П. Усадочные явления в чугунных отливках. М., Машиностроение, 1985. - 44 с.
40. Справочник по чугунному литью. Под ред. Гиршовича Н.Г. Л.: Машиностроение, 1978. - 738с.
41. Сухарчук Ю.С., Юдкин А.К. Плавка чугуна в вагранках. М.: Машиностроение, 1981. – 175 с.

42. Чугунное литьё в машиностроении. Под ред. Клёцкина Г.И. М., 1987. – 319 с.
43. Чугун. Под ред. Шермана А.Д., Жукова А.А. Металлургия: 1991. – 567 с.
44. Высокопрочные чугуны для отливок. Под ред. Александрова Н.Н. Машиностроение, 1982. – 222 с.
45. Горшков А.А., Волощенко М.В., Дубов В.В., Рамаренко О.Ю. Справочник по изготовлению отливок из высокопрочного чугуна. Машгиз, 1961.
46. Ващенко К.И., Софрони Л. Магнийевый чугун, Машгиз, 1960. – 485 с.
47. Захарченко Э.В., Левченко Ю.Н., Горенко В.Г., Вареник П.А. Отливки из чугуна с шаровидным и вермикулярным графитом. Наукова думка, 1986. – 248 с.
48. Горшков А.А. Справочник по изготовлению отливок из высокопрочного чугуна. Машгиз, 1960. – 301 с.
49. Рябчиков И.В., Мизин В.Г., Лякишев Н.П., Дубровин А.С. Ферросплавы с редко и щелочноземельными металлами. Металлургия, 1983. – 272 с.
50. Литовка В.И. Повышение качества высокопрочного чугуна в отливках. Наукова думка, 1987. – 203 с.
51. Бобро Ю.Г. Легированные чугуны. М.: Машиностроение, 1975.
52. Константинов Л.С., Трухов А.П. Напряжения, деформации и трещины в отливках. М.: Машиностроение, 1981. – 199 с.
53. Коцюбинский О.Ю. Стабилизация размеров чугунных отливок. М.: Машиностроение, 1974. – 296 с.
54. Курдюмов А.В., Пикунов М.В., Чурсин В.М., Бибиков Е.Л. Производство отливок из сплавов цветных металлов. М.: Металлургия, 1986.
55. Портной К.И., Лебедев А.А. Магниеые сплавы. Справочник ГНТИ по черной и цветной металлургии. М., 1952. – 735 с.
56. Рейнор Г.В. Металловедение магния и его сплавов. Металлургия, 1964.
57. Курдюмов А.В. и др. Флюсовая обработка и фильтрование алюминиевых расплавов. М.: Металлургия, 1980. – 195 с.
58. Чурсин Б.С. и др. Флюсовая обработка и фильтрование алюминиевых расплавов. М.: Металлургия, 1985. – 195 с.
59. Берг П.П. Проверка качества отливок, изд.2-ое, М.: Машгиз, 1957.
60. Лакедемонский А.В. и др. Литейные дефекты и способы их устранения. М.: Машиностроение, 1972.
61. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий / под ред. В.В. Клюева. М.: Машиностроение, 1986.
62. Алешин Н.П. Контроль качества сварочных работ. М.: Высшая школа, 1986.
63. Воздвиженский В.М. и др. Контроль качества отливок. Учебное пособие. М.: Машиностроение, 1990.
64. Зотов Б.Н. Художественное литьё. М.: Машиностроение, 1988.
65. Матвиенко И.В. Оборудование литейных цехов. Учебник. М.: Машиностроение, 1985. – 398 с.
66. Орлов, Г.М. Автоматизация и механизация процесса изготовления литейных форм. - М., Машиностроение, 1988. – 259 с.
67. Аксёнов П.Н., Орлов Г.М., Благоднаров Б.П. Машины литейного производства. Атлас конструкций. Учебное пособие. М.: Машиностроение, 1972. – 152.
68. Орлов Г.М. Автоматизация и механизация процесса изготовления литейных форм. М.: Машиностроение, 1988. – 259 с.
69. Аксёнов П.Н. Оборудование литейных цехов. Учебник. М.: Машиностроение, 1977. – 512 с.
70. Миляев А.Ф. Проектирование новых и реконструкция действующих литейных цехов. Магнитогорск, 1999.
71. Туманский Е.Ф. Проектирование литейных цехов. Киев: УМК, 1992.

72. Богдан К.С. и др. Средства и системы автоматизации литейного производства. М.: Машиностроение, 1981.
73. Горский А.И. Расчет машин и механизмов автоматических линий литейного производства. М.: Машиностроение, 1978. - 404 с.
74. Горский А.И. Надежность литейного оборудования. М.: Машиностроение, 1993. - 272 с.
75. Ключев А.С. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. М.: Энергия, 1980. - 412 с.
76. Немировский Р.Г. Автоматические линии литейного производства. Киев, Донецк: Высшая школа, 1981. - 284 с.
77. Каширский Б.Л. Автоматические приборы, регуляторы и вычислительные системы. Справочное пособие. М.: Машиностроение, 1976. - 383 с.
78. Илларионов И.Е., Васин Ю.П. Формовочные материалы и смеси. Ч I. Изд-во ЧувГУ, Чебоксары, 1992. - 223 с.
79. Илларионов И.Е., Васин Ю.П. Формовочные материалы и смеси. Ч II. Изд-во ЧувГУ, Чебоксары, 1995. - 288 с.
80. Илларионов И.Е. и др. Металлофосфатные связующие и смеси. Изд-во ЧувГУ, Чебоксары, 1995. - 288 с.
81. Заплатин, В. Н. Справочное пособие по материаловедению (металлообработка) : учеб. пособие для нач. проф. образования / В. Н. Заплатин, Ю. И. Сапожников, А. В. Дубов ; под ред. В. Н. Заплатина. - 3-е изд., стер. - М. : Академия, 2009. - 222 с.
82. Лабораторный практикум по материаловедению в машиностроении и металлообработке : учеб. пособие для нач. проф. образования / В. Н. Заплатин и др. ; под ред. В. Н. Заплатина. - М. : Академия, 2010. - 233 с.
83. Материаловедение и технология металлов : учеб. для вузов по машиностр. спец. / Г. П. Фетисов и др. ; под ред. Г. П. Фетисова. - Изд. 5-е, стер. - М. : Высш. шк., 2007. - 862 с.
84. Основы материаловедения (металлообработка) : учеб. для нач. проф. образования / В. Н. Заплатин и др. ; под ред. В. Н. Заплатина. - 4-е изд., испр. - М. : Академия, 2010. - 250 с.

Составитель: доктор технических наук, профессор Илларионов И.Е.

Программа кандидатского экзамена по специальности 05.16.04 «Литейное производство» обсуждена на заседании кафедры машиноведения 15 мая 2012 г. (протокол № 9).

Зав.кафедрой машиноведения
к.т.н., доцент



В.И. Добролюбов