

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

И. А. Соколова

ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЛИТЫХ ИЗДЕЛИЙ

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины для студентов
магистратуры по направлению подготовки
15.04.01 Машиностроение

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
2023

УДК 620.22

Рецензент

доцент кафедры инжиниринга технологического оборудования ФГБОУ ВО
«Калининградский государственный технический университет» В. С. Бедарев

Соколова, И. А.

Технологии производства литых изделий: учеб.-методич. пособие по изучению дисциплины для студ. магистратуры по направлению подготовки 15.04.01 Машиностроение / И. А. Соколова. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. – 106 с.

В учебно-методическом пособии по изучению дисциплины «Технологии производства литых изделий» представлены учебно-методические материалы, включающие ключевые вопросы лекций по каждой изучаемой теме, основные понятия, вопросы для самоконтроля, материалы для подготовки к практическим занятиям для студентов направления подготовки 15.04.01 Машиностроение, очной и заочной форм обучения,

Табл. 42., рис. 32, список лит. – 7 наименований.

Учебное пособие рассмотрено и рекомендовано к опубликованию кафедрой инжиниринга технологического оборудования 18 января 2023 г., протокол № 4

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины рекомендовано к изданию в качестве локального электронного методического материала методической комиссией института агрономии и пищевых систем ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» 30 мая 2023 г., протокол № 5

УДК 621.791

© Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Калининградский государственный
технический университет», 2023 г.
© Соколова И. А. 2023 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 4 |
| 1. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ..... | 7 |
| 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ..... | 17 |
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК..... | 93 |
| ПРИЛОЖЕНИЯ..... | 94 |

ВВЕДЕНИЕ

Машиностроение наиболее наукоёмкая и технологически сложная отрасль промышленности, которая стимулирует развитие науки, производства, образования. Литейное производство, являясь одним из основных методов получения заготовок в машиностроительном производстве, включает получение сплавов из шихтовых материалов, технологию изготовления литых изделий и заготовок.

В настоящее время значимость литейного производства увеличивается, несмотря на широкое развитие порошковой металлургии, использование композиционных материалов, сварных и пластически деформированных заготовок, а также изделий из пластмасс. Главной задачей внедрения современных технологий литейного производства на машиностроительных предприятиях является обеспечение выпуска продукции требуемого качества в необходимом количестве при минимальных приведённых затратах. Решение поставленной задачи возможно путём использования новых материалов, внедрения передовых, наукоёмких методов литья, реализация которых лежит на выпускниках технических вузов.

Изучаемая дисциплина – Технологии производства литых изделий – направлена на повышение конкурентоспособности отечественного машиностроения, на импортозамещение, т. е. замену зарубежного оборудования российским, обладающим аналогичными технологическими и эксплуатационными характеристиками или более высокими по сравнению с зарубежными аналогами.

Целью освоения дисциплины «Технологии производства литых изделий» является формирование системы знаний по принципам рационального выбора литых заготовок для проектируемых изделий; знаний, умений и навыков технологиям производства качественных литых заготовок из различных сплавов.

Освоение дисциплины предполагает:

- изучение современных методов литья, используемых в машиностроительном производстве;
- изучение особенностей проектирования технологические процессы литья и возможности их оптимизации.

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать:

- составы, технологические, механические и другие свойства формовочных и стержневых смесей и вспомогательных материалов, технологии и сущности различных способов литья, виды брака литья, методы контроля и исправления дефектов литых изделий;
- особенности технического перевооружения и реконструкции производства с учётом технико-экономического анализа различных способов изготовления литых заготовок машиностроения;
- принципы рационального выбора литых заготовок для проектируемых изделий;

- технологию производства качественных литых заготовок из различных сплавов;

уметь:

- ориентироваться в возможностях, достоинствах и недостатках различных способов изготовления литых заготовок;

- оценивать назначение припусков и допускаемых отклонений размеров литых заготовок с учётом последующей их механической обработки;

- анализировать чертеж детали и требования к ней с целью определения ее технологичности и выбора наиболее целесообразного способа ее изготовления;

– разрабатывать чертежи отливки, модельно-опочной оснастки и формы с учетом требований литейной технологии и оформлять их в соответствии с действующими стандартами;

владеть:

- навыками обеспечения стабильности технологических процессов литья, автоматизации и механизации различных способов изготовления литых заготовок;

- методиками расчетов литниковых и питающих систем, холодильников, грузов;

– методиками выбора материалов и последовательности технологического процесса изготовления форм и стержней; – навыками оформления нормативно-технической документации технологического процесса получения отливки.

Учебно-методическое пособие способствует формированию в системе профессиональной подготовки у студентов проектной культуры выпускника технического вуза, его сознательного и ответственного отношения к проблемам выпуска инновационной высококачественной и экономически рентабельной продукции машиностроения, путём выбора оптимального метода получения отливок и возможности применения его на производстве.

Для усвоения материала дисциплины «Технологии производства литых изделий», студент должен активно работать на лекционных и практических занятиях, организовать самостоятельную внеаудиторную деятельность.

Для оценивания поэтапного формирования результатов освоения дисциплины (текущий контроль) предусмотрены:

- тестирование по темам дисциплины;

- задания и контрольные вопросы по практическим занятиям.

Процедура оценивания знаний, умений и навыков средством «практическое занятие» предусматривает двухбалльную шкалу – «зачтено» и «не зачтено» как при выполнении занятия в группе, так и индивидуально. При выполнении практических занятий группой обучающихся при оценивании учитывается степень участия каждого. При отсутствии у обучающегося доказательств участия в коллективной работе, последний не аттестуется. Оценка «не зачтено» выставляется, если студент не выполнил и не «защитил» предусмотренные рабочей программой дисциплины практические занятия.

Тестирование и решение практических задач проводятся на практических занятиях после изучения соответствующих тем. Тестовое задание закрытого типа предусматривает выбор правильного ответа на поставленный вопрос из предлагаемых вариантов ответа. Тестовое задание открытого типа предусматривает один правильный ответ на поставленный вопрос. Перед тестированием преподаватель знакомит студентов с вопросами теста, а после тестирования проводит анализ его выполнения. Примерный перечень тестовых и практических занятий представлен в фонде оценочных средств данной дисциплины.

Аттестация по дисциплине проводится в виде дифференцированного зачёта, который выставляется по результатам текущей аттестации. При необходимости тестовые задания, приведенные в ФОС по дисциплине «Технологии производства литых изделий» или контрольные вопросы (приложение Б) могут быть использованы для проведения промежуточной аттестации.

При необходимости для обучающихся инвалидов или обучающихся с ОВЗ предоставляется дополнительное время для подготовки ответа с учетом его индивидуальных психофизических особенностей.

Для успешного освоения дисциплины «Технологии производства литых изделий» в учебно-методическом пособии приводится краткое содержание каждой темы занятия, задания, для выполнения на практических занятиях, теоретические материалы и перечень ключевых вопросов для подготовки к ним, а также содержание самостоятельной работы студентов.

1 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Осваивая курс «Технологии производства литых изделий», студент должен научиться работать на лекциях, практических занятиях и организовывать самостоятельную внеаудиторную деятельность. В начале лекции необходимо понять цель, поставленную преподавателем. На протяжении лекции необходимо внимательно слушать, фиксировать в конспекте наиболее существенную информацию, сравнивать полученную информацию с усвоенным ранее материалом в области получения машиностроительной продукции методами литья, формируя собственную систему знаний. По ходу лекции необходимо выделять новые термины, определения, находить взаимосвязь с ранее изученными понятиями.

Тематический план лекционных занятий (ЛЗ) представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Объём (трудоемкость освоения) и структура ЛЗ

| № п/п | Содержание лекционного занятия |
|-------|--|
| 1 | Технические требования к литым заготовкам и изделиям. Классификация способов литья. |
| 2 | Этапы конструирования литейной песчано-глиняной формы. Последовательность разработки технологического процесса изготовления отливок. |
| 3 | Формовочные материалы и смеси. |
| 4 | Способы литья в специальные формы. |
| 5 | Способы литья с применением внешних взаимодействий на жидкий и кристаллизирующийся металл. |
| 6 | Способы литья с непрерывным процессом формирования отливки и методы получения отливки направленной кристаллизации. |
| 7 | Классификации и диагностика дефектов отливок. Особенности получения качественных отливок из чугуна, стали, цветных металлов. |
| 8 | Аддитивные технологии в литейном производстве. |

В случае, если студент не получил ответа, на возникшие у него в процессе лекции вопросы, следует задать их в конце занятия.

Тема 1. Технические требования к литым заготовкам и изделиям. Классификация способов литья

Ключевые вопросы темы:

1. Основные сведения о качестве отливок. Требования к литым заготовкам и изделиям.

2. Классификационные признаки способов литья.

Ключевые понятия: литейное производство, литейные процессы, литьё, отливка, показатели качества отливки.

Литература: [1, с. 11–15; 2, с. 18–22; 3, с. 11–18]

Методические рекомендации

Первая тема дисциплины «Технологии производства литых изделий» позволит обучающимся получить представления об основных требованиях к литым заготовкам и изделиям, о том, что под качеством продукции литейного производства понимается совокупность свойств, обеспечивающих удовлетворение определенных потребностей в соответствии с её назначением. Для количественной оценки свойств отливок определяют их качество, используя различные его показатели, включая показатели технологичности отливки и экономного использования металла.

Второй вопрос темы посвящен классификационным признакам способов литья, включающим тип и материалы формы, природу связующих добавок, тип оснастки, способам уплотнения смеси, упрочнения формы, силового воздействия на жидкий расплав процессе заливки и кристаллизации, поверхностного или объемного упрочнения сплава в отливке.

При изучении темы необходимо обратить внимание на то, что специфические особенности литейного производства определяются совокупностью процессов, происходящих при формировании отливки. Оптимальное построение технологии литейного производства возможно лишь на основе системного учёта закономерностей литейных процессов.

Вопросы для самоконтроля:

- 1 Как определить по чертежу детали класс точности отливки?
- 2 Можно ли изготовить в кокиле литейную заготовку из алюминиевого сплава для детали, имеющей элемент с размерами $150^{+0,1}$?
- 3 В каких случаях назначается дополнительный припуск на механическую обработку?
- 4 Как определить класс точности отливки, если на чертеже детали не указаны допуски и качества?
- 5 Укажите и поясните на примере последовательность определения припусков на механическую обработку.
- 6 Какая отливка называется технологичной?
- 7 Как при конструировании отливок можно уменьшить их склонность к образованию таких дефектов, как недоливы, усадочные раковины и пористость, трещины, нарушения конфигурации из-за смещения элементов формы?

Тема 2. Этапы конструирования литейной формы. Последовательность разработки технологического процесса изготовления отливок

Ключевые вопросы темы:

1. Требования к конструкции литейной формы, обусловленные закономерностями формирования отливок. Этапы конструирования литейной формы.

2. Последовательность разработки технологического процесса изготовления отливок в песчано-глинистые формы.

Ключевые понятия: разовая литейная форма, модель, плоскость разъема формы и модели, контур детали, стержни, формовочные уклоны, направленное затвердевание, прибыль, технологические напуски, литейные базы, литниковая система.

Литература: [1, с. 15–118; 2, с. 6–14; 3, с. 20–22, 31–39]

Методические рекомендации

При освоении второй темы дисциплины студентам необходимо осознать, что для выполнения требований, предъявляемых к конструкции литейной формы, обусловленные закономерностями формирования отливок, большое значение имеет выбор положения отливки в форме при заливке. Отливку следует располагать в одной (лучше нижней) полуформе, базовые поверхности должны находиться в одной полуформе с обрабатываемыми и ответственными соосными поверхностями, а также фланцами и приливами, связанными с базовыми поверхностями жесткими размерами.

Проектирование элементов литейной формы включает определение размеров литейных форм, построение чертежа литой заготовки, установление количества стержней, конструирование стержней, выбор способа их крепления и фиксации в форме, показ знаков, стыков и взаимной фиксации, армирование стержней, организацию вентиляции.

Второй вопрос темы относится к разбору технологического процесса изготовления отливок и оформлению технологической документации. Технология изготовления включает подбор опок, изготовление форм и стержней, последовательность сборки литейной формы, учёт особенностей заливки расплава, охлаждение отливок и её выбивки, разработки формы и финишные операции.

После изучения темы студентам нужно усвоить, что конструирование литейной формы ведется в несколько этапов, осуществление которых требует материальных затрат, время на проектирование и внедрение.

Вопросы для самопроверки:

1 Назовите принципы, лежащие в основе выбора оптимального положения отливки в форме при заливке.

2 На основании каких принципов выбирается положение плоскости разъема модели и формы?

3 Перечислите способы крепления и фиксации стержней в форме.

4 Какие этапы включает разработка технологического процесса изготовления отливки?

5 Что включает в себя модельный комплект? Объясните назначение отдельных элементов модельного комплекта.

6 Какие технологические операции включает в себя процесс очистки отливок?

7 Какими способами можно удалить стержни из отливок?

8 Какие технологические приемы и оборудование применяются при удалении литников и прибылей?

9 Чем отличается очистка отливок от их зачистки?

10 Назовите способы очистки поверхности отливок.

11 Почему отливки из высоколегированных сталей стараются не подвергать газопламенной очистке поверхности?

Тема 3. Современные формовочные материалы и смеси

Ключевые вопросы темы:

1. Современные формовочные и стержневые материалы и смеси.

2. Пути расширения функциональных возможностей материалов для получения деталей и заготовок методом литья.

Ключевые понятия: жидкие самотвердеющие смеси, поверхностно-активные вещества, отвердитель, холоднотвердеющие песчано-смоляные смеси, катализаторы, жидкостекольные смеси, полученные при продувке их углекислым газом, металлофосфатные, цементные, этилсиликатные смеси.

Литература: [1, с. 131–133; 2, с. 316–325; 3, с. 250–305]

Методические рекомендации

При освоении третьей темы студентам необходимо понять, что для приготовления формовочных смесей применяют различные формовочные материалы, основными из которых являются наполнители и связующие. Студентам необходимо уяснить, что зерна наполнителя, покрытые пленкой связующего, образуют каркас смеси, обеспечивающий связь между зернами, придает смеси пластичность и прочность. Различают органические и неорганические связующие. В зависимости от растворимости в воде, смачиваемости связующие делятся на водные и неводные. К вспомогательным материалам относят отвердители холоднотвердеющих смесей на синтетических смолах.

В качестве наполнителей формовочных смесей применяют кварцевые пески, а при предъявлении специальных требований, используют магнезит, хромомagneзит, хромистый железняк, циркон, шамот, корунд, графит и др. Важно уяснить, что вода является необходимым компонентом для придания смеси соответствующих технологических свойств: прочности, пластичности, живучести, текучести, формуемости.

Второй вопрос темы посвящен изучению направлений развития функциональных возможностей современных материалов, необходимых для получения деталей и заготовок методом литья в песчаные формы, усвоению

технологии формообразования с применением жидких самотвердеющих смесей, методов упрочнения смесей прокаливанием, обжигом, вакуумированием, воздействием магнитных полей.

После изучения темы студентам нужно понять, что свойства смесей определяются свойствами исходных материалов, режимами и способами их приготовления и точностью дозировки компонентов, применяемых технологий изготовления форм и стержней. Однако большинство смесей изготавливается с использованием отработанных смесей, которые очень нестабильны, так как выдержали ряд заливок, поэтому качество формовочных смесей зависит от свойств оборотных смесей.

Вопросы для самопроверки:

1. Что такое глинистая составляющая песков? Каков ее минералогический состав?
2. Дайте характеристику высокоогнеупорных наполнителей.
3. По каким критериям осуществляется классификация связующих материалов?
4. В чем заключается механизм связующего действия жидкого стекла?
5. Охарактеризуйте масляные связующие, их технологические свойства, механизм их твердения.
6. Расскажите о классификации синтетических смол.
7. Дайте характеристику отвердителей смол.
8. Какие добавки применяются для улучшения технологических свойств смесей?
9. Охарактеризуйте роль воды в формировании свойств смесей. Какие виды влаги вы знаете?

Тема 4. Способы литья в специальные формы

Ключевые вопросы темы:

1. Литьё в оболочковые формы. Литьё в кокиль.
2. Литьё по выплавляемым моделям.

Ключевые понятия: оболочковая форма, модельные составы, воскообразный состав, плакированная и неплакированная смесь, постоянная форма, полупостоянная форма, кокиль, модельные блоки, керамическая суспензия, механические способы очистки.

Литература: [1, с. 129–136; 2, с. 52–54; 3, с. 95–113]

Методические рекомендации:

После следующей лекции студенты должны усвоить, что для получения точных отливок и отливок сложной конфигурации используются способы литья в специальные формы. Литьё в оболочковые формы – способ получения отливок путём заливки расплавленного металла в оболочковые формы из термореактивных смесей, которые отличаются достаточной прочностью, податливостью и газопроницаемостью.

Студенты должны знать, что кокильным литьём называется процесс получения отливок посредством заливки расплавленного металла в

многократно используемые металлические формы – кокили, при конструировании которых необходимо обеспечить технологичность, т. е. минимальное число разъемов, использование стандартных деталей, наличие вентиляционных каналов, присутствие элементов охлаждения и т. п.

Во второй части лекции разбираются особенности и области применения литья по выплавляемым моделям – процесса получения заготовок в неразъемных разовых огнеупорных формах, изготовленных с помощью моделей из легкоплавящихся, растворимых или выжигаемых составов, которые должны обладать минимальными значениями усадки, коэффициента термического расширения, иметь высокую жидкотекучесть в вязкопластичном состоянии.

Вопросы для самопроверки:

1. Перечислите стадии процесса получения оболочковых форм.
2. Какие основные группы модельных составов Вы знаете?
3. По каким признакам классифицируются кокили?
4. Каковы составы материалов и методы покрытия на кокилях?
5. Перечислите методы изготовления кокилей.
6. Какие этапы включает технология литья по выплавляемым моделям?
7. Какие преимущества и недостатки литья по выплавляемым моделям?

Тема 5. Способы литья с применением внешних взаимодействий на жидкий и кристаллизирующийся металл

Ключевые вопросы темы:

1. Литьё под давлением. Особенности технологического процесса литья под низким давлением и с кристаллизацией под давлением.
2. Литьё вакуумным всасыванием и выжиманием. Центробежное литьё.

Ключевые понятия: избыточное давление, рабочие поверхности, разовые покрытия, постоянные покрытия, облицовочный слой, усадочная пористость, металлопровод, герметичная камера, пуансонное прессование, пуансонно-поршневое прессование, прессование через питатели.

Литература: [1, с.192–212; 2, с. 341–354; 3, с. 235–254]

Методические рекомендации:

После пятой лекции студенты должны осознать, что для получения отливок точных размеров и формы из тугоплавких металлов применяются способы литья с применением внешних воздействий на жидкий и кристаллизирующийся металл. Возрастает роль процессов, основанных на таких способах заливки как: литьё под воздействием регулируемого перепада давлений (литье под низким давлением, литье вакуумным всасыванием, литье с противодействием и др.), литьё под поршневым или компрессионным высоким давлением (до 15 МПа), литьё под давлением, с помощью электромагнитных насосов.

Во второй части лекции подчёркивается значение литья выжиманием, предназначенного для получения крупногабаритных отливок посредством свободной заливки расплава в раскрытую форму с последующим заполнением

металлом всей её рабочей полости за счёт сближения полуформ. Центробежное литьё применяется для получения чугуновых, стальных, сплавов на основе меди, алюминия, титана, цинка, магния и др. отливок круглой формы путем свободной заливки металла во вращающиеся формы.

Вопросы для самопроверки:

1. Какова сущность физико-химических процессов, протекающих при литье сплавов под давлением?
2. Как физико-химические свойства процессов литья под давлением отражаются на свойствах отливок?
3. Каковы принципиальные особенности технологического процесса литья под давлением?
4. Назовите преимущества и недостатки литья вакуумным всасыванием.
5. Как классифицируются процессы формирования отливок при литье с кристаллизацией под давлением?
6. Перечислите основные варианты конструкций центробежных машин.
7. В чём сущность способа литья выжиманием? Для литья каких изделий предназначен способ литья выжиманием?

Тема 6. Способы литья с непрерывным процессом формирования отливки и методы получения отливки направленной кристаллизации

Ключевые вопросы темы:

1. Изучение способов литья с непрерывным процессом получения отливок.
2. Получение отливок методом направленной кристаллизации.

Ключевые понятия: непрерывное литьё, полунепрерывное литьё, кристаллизатор, металлоприёмник, температурный градиент по сечению отливки, раздаточная печь, расходующий электрод, отливки сплошного сечения, отливки с внутренними несквозными полостями, направленная кристаллизация, столбчатая, монокристаллическая и композиционная структуры, эвтектические композиты.

Литература: [1, с.192– 212; 2, с. 355–163; 3, с. 235–254]

Методические рекомендации:

После изучения шестой лекции студентам необходимо понять, что особое место в машиностроении занимают способы получения отливок с использованием непрерывных процессов их получения, при которых осуществляется свободная заливка расплавленного металла в неподвижную форму-кристаллизатор в условиях непрерывного вытягивания из неё затвердевающей отливки при непрерывном подводе сплава в форму из разливочного ковша. Конструктивно-технологические особенности электрошлакового литья позволяет при совмещении операции расплавления металла в плавильном агрегате с заливкой его в форму. Последовательное плавление электрода, рафинирование металла шлаком, направленная кристаллизация отливки, позволяет получить высокую однородность её

структуры и осуществить процесс литья без использования элементов литниковой системы.

Во второй части лекции подчёркивается, что радикальным методом улучшения эксплуатационных свойств сплавов, работающих в условиях высоких температур и напряжений, является использование процесса направленной кристаллизации, позволяющий получить изделия со столбчатой, монокристаллической и композиционной структурой. Важный фактор обеспечения процесса направленной кристаллизации – создание максимального градиента температуры в заданном направлении роста зерна и минимального градиента в других направлениях.

Вопросы для самопроверки:

1. В чём сущность непрерывного литья? Для литья каких изделий применяется непрерывное литьё?

2. Чем отличаются разновидности способов непрерывного и полунепрерывного литья?

3. Каковы конструктивно-технологические особенности электрошлакового литья?

4. В чём суть технологического процесса направленной кристаллизации?

5. Какие типы структур сплавов могут формироваться в процессе направленной кристаллизации отливок?

6. Как влияет направленная кристаллизация на свойства жаропрочных материалов и почему?

7. В чём преимущества эвтектических композитов?

Тема 7. Классификации и диагностика дефектов отливок. Особенности получения качественных отливок из чугуна, стали, цветных металлов

Ключевые вопросы темы:

1. Механизм образования дефектов. Классификации и диагностика дефектов. Методы их предупреждения и исправления. Термическая обработка отливок.

2. Особенности технологических процессов получения чугунных и стальных отливок. Производство отливок из цветных металлов.

Ключевые понятия: недолив, неслитина, обжим, перекоп, стержневой сдвиг, разностенность, коробление, недолив, зарез, вылом, прорыв металла, пригар, спай, складчатость, ужимина, нарост, залив, просечка, окисление, несплошности, пористость, горячие, холодные и межкристаллические трещины, включения, люминесцентная, цветная, магнитная дефектоскопии.

Литература: [1, с. 192–212; 2, с. 155–163; 3, с. 235–254]

Методические рекомендации:

На следующей лекции до студентов необходимо донести то, что литейное производство обладает сложным, многофакторным характером, предопределяющим возникновение в отливках различных дефектов. В зависимости от технических условий изготовления отливок и требований к ним стандартов качества различают виды контроля, которые позволяют выявить

дефекты: нетехнологичность конструкции деталей, несовершенство технологического процесса, нарушения технологии и недоброкачественность технологических материалов.

Дефекты, вызываемые нарушением технологии, могут быть следствием отступления от технологии на каждой операции: при подготовке формовочных и шихтовых материалов, формовке, плавке, заливке, термообработке и т. д. Дефектность и брак отливок неизбежно возрастают при неудовлетворительном состоянии оборудования и оснастки, а также при небрежной работе.

После процессов литья в отливках сохраняются значительные внутренние напряжения. Структура и свойства отливок могут быть значительно улучшены посредством термической обработки, вид которой (отжиг, нормализация, закалка, отпуск, старение) определяется природой сплава, конфигурацией отливки и техническими условиями.

Вторая часть лекции посвящена особенностям изготовления отливок из медных, алюминиевых, магниевых сплавов, легированных сталей, серых, высокопрочных и ковких чугунов.

Вопросы для самопроверки:

1. В стальной отливке с небольшим градиентом температуры по высоте появились усадочные дефекты. Что необходимо изменить в технологии для устранения усадочных дефектов?

2. В отливке с небольшим градиентом температуры возникли напряжения. Каковы причины появления напряжений и меры по их устранению?

3. Почему внутренняя горячая трещина чаще образуется в наиболее толстой части отливки?

4. Почему применение податливых формовочных смесей снижает вероятность образования холодных трещин в отливке?

5. Назовите основные внешние признаки, отличающие газовый дефект от усадочного.

6. Чем может быть вызвано образование пригара на отливках?

7. Что такое отбел на чугунных отливках? Можно ли его устранить?

8. Как отличить горячую трещину от холодной?

9. Как влияет продолжительность заливки на образование объемных газовых раковин?

10. В какие части отливки, склонной к образованию холодных трещин (тонкие или толстые) следует подводить металл?

Тема 8. Аддитивные технологии в литейном производстве

Ключевые вопросы темы:

1. Аддитивные технологии и прототипирование в литейном производстве. Методы получения литейных синтез-форм и синтез-моделей за счет технологий послойного синтеза. Технологии синтеза металлических изделий и форм для литья металлов и пластмасс. Литье полиуретановых смол в силиконовые формы.

2. Аддитивные технологии и порошковая металлургия. Технологии синтеза песчаных литейных форм. Системы вакуумного литья цветных

металлов. Компьютерная томография для измерений и неразрушающего контроля литых и металлопорошковых изделий.

Ключевые понятия: аддитивные технологии прототипирование экструдеры, системы вакуумного смешивания и сушки, фотополимерная 3d-печать, синтез-форма, синтез-модель, спекание, сплавление, склеивание, полимеризация, системы вакуумного смешивания и сушки.

Литература: [1, с. 272–303; 2, с. 85–102; 3, с. 170–191]

Методические рекомендации:

После изучения седьмой темы студент должен знать, что принцип работы 3D-принтера состоит в послойном построении изделий – моделей, форм, мастер-моделей и т. д. путем фиксации слоев модельного расплавленного материала (металла или термопласта) и их последовательного соединения между собой различными способами: спеканием, сплавлением, склеиванием, полимеризацией – в зависимости от особенностей конкретной технологии. Интенсивно развивающимся направлением использования фотополимеров в литейном деле является изготовление высокоточных мастер-моделей для последующего получения через силиконовые формы восковых моделей, так и для литья полиуретанов. Динамичное развитие получило направление непосредственного ускоренного выращивания песчаных форм для литья металлов, а также выращивание металлических изделий, пресс-форм для литья модели, технологической оснастки для литья детали. Для производства песчаных литейных форм используется или послойное спекание плакированного песка лазерным лучом, или послойное нанесение связующего состава. Литейные модели могут быть получены из порошкового полистирола (для последующего литья по выжигаемым моделям) или из фотополимерных композиций.

Вторая часть лекции посвящена изучению новых технологий, находящихся на стыке аддитивных технологий, литейного производства и порошковой металлургии, других традиционных технологий. Для измерений и неразрушающего контроля литых и металлопорошковых изделий используется компьютерная томография.

До студентов необходимо донести то, что современные принтеры способны выполнять детали машин и механизмов с лучшими прочностными свойствами, изготовить конструкции, которые невозможно выполнить традиционными методами обработки материалов. Аддитивные технологии сокращают цикл внедрения новых моделей машин, так как позволяют быстро спроектировать, напечатать, испытать и оптимизировать конструкцию.

Вопросы для самопроверки:

1. Какие современные решения сейчас доступны пользователям 3D-принтеров?
2. Какие задачи решают 3D-технологии?
3. Какие преимущества и недостатки 3D-печати?
4. За счет каких систем 3D-принтеры стали называться умными?
5. Как обеспечивать стабильную работу 3D-принтеры?
6. Когда выгоднее применять классические технологии, а когда – аддитивные?
7. Каковы перспективы применения 3D-технологии?

2 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ П О ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Практические занятия по дисциплине «Технологии производства литых изделий» являются важной составной частью учебного процесса освоения курса, так как способствуют формированию у студентов умений и навыков назначения припусков и технологических напусков, расчёта размеров литниковой системы, внутренних и наружных холодильников и т. д., что помогает лучшему усвоению дисциплины, закреплению полученных знаний.

Каждый студент в составе группы должен выполнить в аудитории в соответствии с учебной программой плановое число работ. Отчёт о выполнении каждой работы оформляется студентом индивидуально и включает в себя краткий конспект и выполненное задание по изучаемой теме на текущем практическом занятии, которые предъявляются преподавателю.

В ходе самостоятельной подготовки к практическому занятию студентам необходимо не только воспользоваться литературой, рекомендованной преподавателем, но и проявить самостоятельность в поиске новых источников, интересных фактов, связанных с темой практического занятия.

Тематический план практических занятий (ПЗ) представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Объем (трудоёмкость освоения) и структура ПЗ

| № п/п | Наименование практических занятий |
|-------|--|
| 1 | Определение припусков на механическую обработку |
| 1 | Выбор литейных баз и положения отливки в форме, определение плоскости разъема при заливке. |
| 1 | Построение чертежа литой заготовки. Назначение технологических напусков на отливки в песчаные формы. |
| 2 | Проектирование и расчет литниковых систем для литья в песчаные формы |
| 2 | Расчет и конструирование внутренних и наружных холодильников |
| 2 | Проектирование стержней литейной формы |
| 3 | Определение оптимального состава формовочных смесей |
| 4 | Расчет литниковой системы для кокильного литья легких металлов и сплавов. |
| 6 | Расчет технических параметров центробежного литья |
| Итого | |

Студент должен выполнить расчеты оборудования и ответить на вопросы преподавателя.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1. Определение припусков на механическую обработку

Цель работы: получение практических умений и навыков расчета припусков на механическую обработку на отливки в песчаные формы для получения требуемого качества готовой детали.

Теоретический материал

Припуск на механическую обработку – слой металла, предназначенный для снятия в процессе механической обработки, который регламентируется ГОСТом и зависит от точности детали, метода изготовления отливки и места расположения в форме. Значение припуска будет больше, если поверхность расположена в верхней части формы, и меньше, если она находится в нижней части формы или сбоку.

Основные припуски на механическую обработку назначают в зависимости от допусков размеров отдельно для каждого элемента отливки в соответствии с ГОСТ Р 53464–2009.

Размерная точность литых заготовок, определяемая степенью приближения действительных размеров отливки к номинальным размерам, указанным на чертеже получаемой из них детали, является одним из основных показателей качества. В понятие размерной точности включаются класс точности размеров, масса отливки, допуски её размеров, допуски на толщину необрабатываемых стенок, ребер, уступов и т. п.

Разница между наибольшим и наименьшим предельными размерами, в пределах которых находится действительное значение размера отливки, измеренное с заданной точностью, называется допуском.

Разница между действительным размером и соответствующим номинальным размером называется отклонением. Если действительный размер больше номинального, то отклонение будет положительным, в противном случае – отрицательным.

Алгебраическая разность между предельным и номинальным размерами называется предельным отклонением, которое может быть верхним и нижним. Пространство, ограниченное верхним и нижним предельными отклонениями, образует поле допуска [3, с. 26].

Допустимая взаимосвязь между номинальным размером до необрабатываемой поверхности детали L_0 , номинальным L_0 , предельными LoA и LoB размерами (LoA – наименьший, LoB – наибольший размер отливки и допуском размера отливки T_c показана на рис. 1.

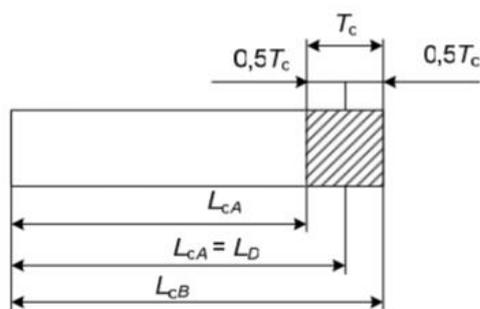


Рисунок 1 – Взаимосвязь между номинальным размером до необрабатываемой поверхности детали, номинальным, предельными размерами и допуском отливки [3, с. 27].

Взаимосвязь между номинальным размером до обрабатываемой поверхности детали L_D , номинальным L_0 , предельными L_{0A} и L_{0B} размерами отливки, припуском на механическую обработку Z на сторону и допуском размера отливки T_c при обработке каждой поверхности отливки от своей базы представлена на рис. 2.

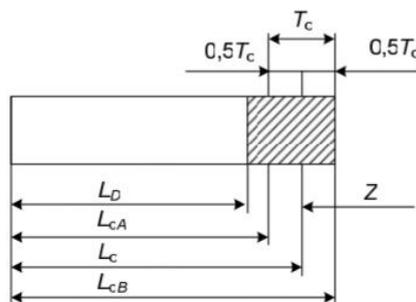


Рисунок 2 – Взаимосвязь между номинальным размером до обрабатываемой поверхности детали, номинальным, предельными размерами отливки, припуском на сторону на обработку резанием и допуском отливки [3, с. 27]

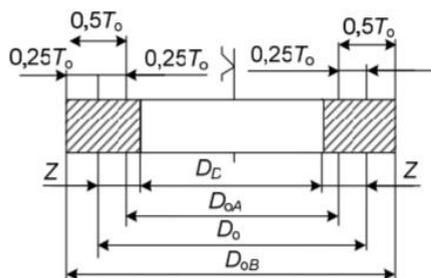


Рисунок 3 – Взаимосвязь между параметрами при обработке отливок типа тел вращения или противоположных поверхностей симметричных отливок от общей базы [3, с. 27]

На рис. 3 показана взаимосвязь между параметрами при обработке отливок типа тел вращения или противоположных поверхностей симметричных отливок от общей базы.

Таблица 3 – Значения допусков механически обрабатываемых деталей

| Номинальный размер, мм | Допуск, мм, для классов точности размеров отливок | | | | | | | | | | |
|------------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3Т | 3 | 4 | 5Т | 5 | 6 | 7Т | 7 | 8 |
| До 4 | 0,06 | 0,08 | 0,10 | 0,12 | 0,16 | 0,20 | 0,24 | 0,32 | 0,40 | 0,50 | 0,64 |
| 4 - 6 | 0,07 | 0,09 | 0,11 | 0,14 | 0,18 | 0,22 | 0,28 | 0,36 | 0,44 | 0,56 | 0,70 |
| 6 - 10 | 0,08 | 0,10 | 0,12 | 0,16 | 0,20 | 0,24 | 0,32 | 0,40 | 0,50 | 0,64 | 0,80 |
| 10 – 16 | 0,09 | 0,11 | 0,14 | 0,18 | 0,22 | 0,28 | 0,36 | 0,44 | 0,56 | 0,70 | 0,90 |
| 16 – 25 | 0,10 | 0,12 | 0,16 | 0,20 | 0,24 | 0,32 | 0,40 | 0,50 | 0,64 | 0,80 | 1,00 |
| 25 – 40 | 0,11 | 0,14 | 0,18 | 0,22 | 0,28 | 0,36 | 0,44 | 0,56 | 0,70 | 0,90 | 1,10 |
| 40 – 63 | 0,12 | 0,16 | 0,20 | 0,24 | 0,32 | 0,40 | 0,50 | 0,64 | 0,80 | 1,00 | 1,20 |
| 63 – 100 | 0,14 | 0,18 | 0,22 | 0,28 | 0,36 | 0,44 | 0,56 | 0,70 | 0,90 | 1,10 | 1,40 |
| 100 – 160 | 0,16 | 0,20 | 0,24 | 0,32 | 0,40 | 0,50 | 0,64 | 0,80 | 1,00 | 1,20 | 1,60 |
| 160 - 250 | - | - | 0,28 | 0,36 | 0,44 | 0,56 | 0,70 | 0,90 | 1,10 | 1,40 | 1,80 |
| 250 – 400 | - | - | 0,32 | 0,40 | 0,50 | 0,64 | 0,80 | 1,00 | 1,20 | 1,60 | 2,00 |
| 400 – 630 | - | - | - | - | 0,56 | 0,70 | 0,90 | 1,10 | 1,40 | 1,80 | 2,40 |
| 630–1000 | - | - | - | - | - | 0,80 | 1,00 | 1,20 | 1,60 | 2,00 | 2,60 |
| 1000–1600 | - | - | - | - | - | - | - | 1,40 | 1,80 | 2,20 | 2,80 |
| 1600–2500 | - | - | - | - | - | - | - | - | 2,00 | 2,40 | 3,20 |
| 2500-4000 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 3,20 | 3,60 |
| 4000-6300 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 6300-10000 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

Продолжение таблицы 3

| Номинальный размер, мм | Допуск, мм, для классов точности размеров отливок | | | | | | | | | | |
|------------------------|---|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 9Т | 9 | 10 | 11Т | 11 | 12 | 13Т | 13 | 14 | 15 | 16 |
| До 4 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,6 | 2,0 | – | – | – | – | – | – |
| 4 – 6 | 0,9 | 1,1 | 1,4 | 1,8 | 2,2 | 2,8 | – | – | – | – | – |
| 6 – 10 | 1,0 | 1,2 | 1,6 | 2,0 | 2,4 | 3,2 | 4,0 | 5,0 | – | – | – |
| 10 – 16 | 1,1 | 1,4 | 1,8 | 2,2 | 2,8 | 3,6 | 4,4 | 5,6 | 7,0 | – | – |
| 16 – 25 | 1,2 | 1,6 | 2,0 | 2,4 | 3,2 | 4,0 | 5,0 | 6,4 | 8,0 | 10,0 | 12,0 |
| 25 – 40 | 1,4 | 1,8 | 2,2 | 2,8 | 3,6 | 4,4 | 5,6 | 7,0 | 9,0 | 11,0 | 14,0 |
| 40 – 63 | 1,6 | 2,0 | 2,4 | 3,2 | 4,0 | 5,0 | 6,4 | 8,0 | 10,0 | 12,0 | 16,0 |
| 63 – 100 | 1,8 | 2,2 | 2,8 | 3,6 | 4,4 | 5,6 | 7,0 | 9,0 | 11,0 | 14,0 | 18,0 |
| 100 – 160 | 2,0 | 2,4 | 3,2 | 4,0 | 5,0 | 6,4 | 8,0 | 10,0 | 12,0 | 16,0 | 20,0 |
| 160 – 250 | 2,2 | 2,8 | 3,6 | 4,4 | 5,6 | 7,0 | 9,0 | 11,0 | 14,0 | 18,0 | 22,0 |
| 250 – 400 | 2,4 | 3,2 | 4,0 | 5,0 | 6,4 | 8,0 | 10,0 | 12,0 | 16,0 | 20,0 | 24,0 |
| 400 – 630 | 2,8 | 3,6 | 4,4 | 5,6 | 7,0 | 9,0 | 11,0 | 14,0 | 18,0 | 22,0 | 28,0 |
| 630 – 1000 | 3,2 | 4,0 | 5,0 | 6,4 | 8,0 | 10,0 | 12,0 | 16,0 | 20,0 | 24,0 | 32,0 |
| 1000 – 1600 | 3,6 | 4,4 | 5,6 | 7,0 | 9,0 | 11,0 | 14,0 | 18,0 | 22,0 | 28,0 | 36,0 |
| 1600 – 2500 | 4,0 | 5,0 | 6,4 | 8,0 | 10,0 | 12,0 | 16,0 | 20,0 | 24,0 | 32,0 | 40,0 |
| 2500 – 4000 | 4,4 | 5,6 | 7,0 | 9,0 | 11,0 | 16,0 | 18,0 | 22,0 | 28,0 | 36,0 | 44,0 |
| 4000 – 6300 | 6,0 | 6,4 | 8,0 | 10,0 | 12,0 | 20,0 | 20,0 | 24,0 | 32,0 | 40,0 | 50,0 |
| 6300 – 10000 | – | 8,0 | 10,0 | 12,0 | 16,0 | 24,0 | 24,0 | 32,0 | 40,0 | 50,0 | 64,0 |

Допуск размеров отливок зависит от технологии последующей механической обработки и связан с требованиями к готовому изделию. Допуски размеров и массы отливок в интервале изменения номинальных размеров регламентированы ГОСТ Р 53646–2009, который устанавливает 16 классов точности и шесть промежуточных классов с индексом [5, с. 37]. Точность повышается по мере снижения номера качества. В табл. 3

конкретный допуск для каждого класса точности размеров отливок определяется в зависимости от номинальных размеров по ГОСТ Р 53646–2009.

Номинальный размер – это номинальное расстояние между обработанной поверхностью и базой её механической обработки. При обработке поверхностей вращения в качестве номинального размера выступает их номинальный диаметр. При обработке наклонных фасонных и конических поверхностей, заданных координатами одной базы за номинальный размер принимают наибольший из размеров.

В ГОСТ установлены симметричное расположение поля допуска, которое применяется для размеров всех остальных элементов отливок, не подвергаемых и подвергаемых механической обработке, и несимметричные или одностороннее расположение поля допуска, применяемое для размеров элементов отливок (кроме толщин стенок), находящихся в одной части формы и не подвергаемых механической обработке. Для охватывающих элементов (отверстие) поле допуска располагают «в плюс», а для охватываемых (вал) – «в минус».

Класс точности отливки определяется по чертежу детали, где указаны предельные отклонения размеров, которые ставятся непосредственно после номинальных размеров (например, $20_{+0,21}$) или в технических условиях с указанием номера качества (например, $+ (IT14)/2$). Если на чертеже предельные отклонения на размер не указаны или нет предписаний в технических условиях, то эти размеры отвечают качествам IT12 – IT16. Значения допусков размеров механически обрабатываемых деталей для классов от IT5 до IT15 приведены в табл. 4 [5].

Таблица 4 – Значения допусков механически обрабатываемых деталей

| Размер детали | Допуск, мкм, для классов | | | | | | | | | | |
|---------------|--------------------------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| ≥ 6 | 4 | 6 | 10 | 14 | 25 | 40 | 60 | 100 | 140 | 250 | 400 |
| 3 - 6 | 5 | 8 | 12 | 18 | 30 | 48 | 75 | 120 | 180 | 300 | 480 |
| 6 - 10 | 6 | 9 | 15 | 22 | 36 | 58 | 90 | 150 | 220 | 360 | 580 |
| 10 - 18 | 8 | 11 | 18 | 27 | 43 | 70 | 110 | 180 | 270 | 430 | 700 |
| 18 - 30 | 9 | 13 | 21 | 33 | 52 | 84 | 130 | 210 | 330 | 520 | 840 |
| 30 - 50 | 11 | 16 | 25 | 39 | 62 | 100 | 160 | 250 | 390 | 620 | 1000 |
| 50 - 80 | 13 | 19 | 30 | 46 | 74 | 120 | 190 | 300 | 460 | 740 | 1200 |
| 80 - 120 | 15 | 22 | 35 | 54 | 87 | 140 | 220 | 350 | 540 | 870 | 1400 |
| 120 - 180 | 18 | 25 | 40 | 63 | 100 | 160 | 250 | 400 | 630 | 1000 | 1600 |
| 160 - 250 | 20 | 29 | 46 | 72 | 115 | 185 | 290 | 460 | 720 | 1150 | 1850 |
| 250 - 315 | 23 | 32 | 52 | 81 | 130 | 210 | 320 | 520 | 810 | 1300 | 2100 |
| 315 - 400 | 25 | 36 | 57 | 89 | 140 | 230 | 360 | 570 | 890 | 1400 | 2300 |
| 400 - 500 | 27 | 40 | 63 | 97 | 155 | 250 | 400 | 630 | 970 | 1550 | 2500 |

Номер качества по значению предельного отклонения можно найти по табл. 4. Например, для размера детали $20_{+0,21}$ по значению предельного

отклонения 0,21 находим номер качества IT12. Класс точности литой заготовки связан с качеством детали. Эта зависимость отражена в табл. 5 [25].

Таблица 5 – Классы точности размеров отливок в зависимости от классов точности размеров обработанных деталей по ГОСТ Р 53464–2009

| Показатель | Значение | | | | |
|---|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 1 – 3т | 3 – 5т | 5 – 7т | 7 – 9т | 9–16 |
| Класс точности размеров отливок | | | | | |
| Класс точности размеров деталей, получаемых механической обработкой | IT9 и грубее | IT10 и грубее | IT11 и грубее | IT12 и грубее | IT13 и грубее |
| | IT8 и точнее | IT8 – IT9 | IT9 – IT10 | IT9 – IT11 | IT10 – IT12 |

Для определения класса точности отливки необходимо найти классы точности всех размеров детали. Класс точности отливки определяется по наименьшему классу точности для всех размеров обработанной детали по табл. 1.3. Например, если наименьший класс точности размеров детали IT12 отвечает размеру $20_{+0,21}$, то по табл. 5 определяем класс точности отливки – 9т.

В соответствии с классом точности можно по табл. 1.1 определить допуски всех размеров отливки. Например, для обрабатываемого размера 20 в соответствии с классом точности 9т находим допуск 1,2 мм. Класс точности изготовленной отливки зависит от ее сложности и применяемого способа литья. Для каждого способа литья характерен ряд факторов, определяющих размерную точность отливок. При литье в песчаные формы на точность получаемых отливок влияет главным образом точность изготовления модельной и стержневой оснастки, а также способ изготовления формы и применяемые формовочные материалы

Допуски размеров перпендикулярных к плоскости разъема элементов отливки, оформляемых двумя полуформами, устанавливают в соответствии с классом точности отливки. Допуски размеров элементов, оформляемых одной частью формы или одним стержнем, принимают на 1–2 класса точнее. Для элементов, образуемых тремя и более частями формы, а также толщин стенок, ребер и фланцев допуски устанавливают на 1–2 класса грубее. Допуски размеров от предварительно обработанной поверхности до литой поверхности принимают на 2 класса точнее

В процессе производства происходит смещение полуформ относительно друг друга, следствием которого является смещение элементов отливки, выполняемых в разных полуформах. Предельные отклонения смещений от номинального положения элементов отливок по плоскости разъема формы по ГОСТ Р 53464–2009 приведены в табл. 6.

Таблица 6 – Предельные отклонения смещения от номинального положения элементов отливки по плоскости разъема по ГОСТ Р 53464–2009

| Расстояние между центрирующими устройствами формы, мм | Предельное отклонение смещения для классов точности размеров отливок, ± мм, не более | | | | | | | | | |
|---|--|------|-------|------|------|------|---------|--------|-------|-------|
| | 1–3 | 4–5Т | 5–6 | 7Т–7 | 8–9Т | 9–10 | 11Т–12Т | 12–13Т | 13–14 | 15–16 |
| До 630 | 0,24 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,6 | 2,0 |
| 631–1600 | 0,30 | 0,4 | 0,5 4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,6 | 2,0 | 2,4 |
| 1601–4000 | 0,40 | 0,5 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,6 | 2,0 | 2,4 | 3,0 |
| Св. 4000 | 0,50 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,4 | 2,0 | 2,4 | 3,0 | 4,0 |

Основные припуски на механическую обработку назначают в зависимости от допусков размеров отдельно для каждого элемента отливки в соответствии с ГОСТ Р 53464–2009. Для назначения основных припусков на механическую обработку используют данные, указанные в табл. 7 (ГОСТ Р 53464–2009). Значения припусков приведены в зависимости от величины допуска размеров и номера ряда припуска.

Таблица 7 – Основные припуски на обработку отливок резанием по ГОСТ Р 53464–2009

| Допуск размеров отливок, мм | Основной припуск для рядов, мм | | | | | |
|-----------------------------|--------------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| До 0,12 | 0,2–0,4 | - | - | - | - | - |
| 0,13 – 0,16 | 0,3–0,5 | 0,6–0,8 | - | - | - | - |
| 0,17 – 0,20 | 0,4–0,6 | 0,7–1,0 | 1,0–1,4 | - | - | - |
| 0,21 – 0,24 | 0,5–0,7 | 0,8–1,1 | 1,1–1,5 | - | - | - |
| 0,25 – 0,30 | 0,6–0,8 | 0,9–1,2 | 1,2–1,6 | 1,8–2,2 | 2,6–3,0 | - |
| 0,31 – 0,40 | 0,7–0,9 | 1,0–1,3 | 1,4–1,8 | 1,9–2,4 | 2,8–3,2 | - |
| 0,41 – 0,50 | 0,8–1,0 | 1,1–1,4 | 1,5–2,0 | 2,0–2,6 | 3,0–3,4 | - |
| 0,51 – 0,60 | 0,9–1,2 | 1,2–1,6 | 1,6–2,2 | 2,2–2,8 | 3,2–3,6 | - |
| 0,61 – 0,80 | 1,0–1,4 | 1,3–1,8 | 1,8–2,4 | 2,4–3,0 | 3,4–3,8 | 4,4–5,0 |
| 0,81 – 1,00 | 1,1–1,6 | 1,4–2,0 | 2,0–2,8 | 2,6–3,2 | 3,6–4,0 | 4,6–5,5 |
| 1,01 – 1,20 | 1,2–2,0 | 1,6–2,4 | 2,2–3,0 | 2,8–3,4 | 3,8–4,2 | 4,8–6,0 |
| 1,21 – 1,60 | 1,6–2,4 | 2,0–2,8 | 2,4–3,2 | 3,0–3,8 | 4,0–4,6 | 5,0–6,5 |
| 1,61 – 2,00 | 2,0–2,8 | 2,4–3,2 | 2,8–3,6 | 3,4–4,2 | 4,2–5,0 | 5,5–7,0 |
| 2,01 – 2,40 | 2,4–3,2 | 2,8–3,6 | 3,2–4,0 | 3,8–4,6 | 4,6–5,5 | 6,0–7,5 |
| 2,41 – 3,00 | 2,8–3,6 | 3,4–4,5 | 3,6–4,5 | 4,2–5,0 | 5,0–6,5 | 6,5–8,0 |
| 3,01 – 4,00 | 3,4–4,5 | 3,8–5,0 | 4,2–5,5 | 5,0–6,5 | 5,5–7,0 | 7,0–9,0 |
| 4,01 – 5,00 | 4,0–5,5 | 4,4–6,0, | 5,0–6,5 | 5,5–7,5 | 6,0–8,0 | 8,0–10 |
| 5,01 – 6,00 | 5,0–7,0 | 5,5–7,5 | 6,0–8,0 | 6,5–8,5 | 7,0–9,5 | 9,0–11,0 |
| 6,01 – 8,00 | - | 6,5–9,5 | 7,0–11,0 | 7,5–11,0 | 8,5–12,0 | 10,0–13,0 |
| 8,01 – 10,0 | - | - | 9,0–12,0 | 10,0–13,0 | 11,0–14,0 | 12,0–15,0 |
| 10,1 – 12,0 | - | - | 10,0–13,0 | 11,0–14,0 | 12,0–15,0 | 13,0–16,0 |
| 12,1 – 16,0 | - | - | 13,0–15,0 | 14,0–16,0 | 15,0–17,0 | 16,0–19,0 |
| 16,1 – 20,0 | - | - | - | 17,0–20,0 | 18,0–21, | 19,0–22,0 |
| 20,1 – 24,0 | - | - | - | 20,0–23,0 | 21,0–24,0 | 22,0–25,0 |
| 24,1 – 30,0 | - | - | - | - | 26,0–29,0 | 27,0–30,0 |
| 0,1 – 40,0 | - | - | - | - | - | 34,0–37,0 |

| Допуск размеров отливок, мм | Основной припуск для рядов, мм | | | | | |
|--------------------------------|--------------------------------|---|---|---|---|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 40,1 – 50,0 | - | - | - | - | - | 42,0 |
| 50,1 – 60,0 | - | - | - | - | - | 50,0 |

Примечание. Значения основных припусков относятся к поверхностям отливки, находящимся при заливке снизу или сбоку; припуск на верхние поверхности допускается увеличивать до значения, соответствующего следующему ряду.

Ряд припуска зависит от сложности отливки и способа ее получения. Для определения ряда припуска можно использовать данные табл. 8.

Таблица 8 – Классы точности размеров и масс и ряды припусков на механическую обработку отливок для различных способов литья по ГОСТ Р 53464-2009

| Способ литья | Максимальный размер отливки, мм | Класс точности размеров и масс отливок, ряд припусков в зависимости от типа металла и сплава | | |
|---|---------------------------------|--|---|---|
| | | Цветные с температурой плавления ниже 700 °С | Цветные с температурой плавления выше 700 °С, серый чугун | Ковкий, высокопрочный и легированный чугун, сталь |
| Литье под давлением в металлические формы | До 100 | $\frac{3т-5}{1}$ | $\frac{3-6}{1}$ | $\frac{4-7т}{1}$ |
| | Св. 100 | $\frac{3-6}{1}$ | $\frac{4-7т}{1}$ | $\frac{5т-7}{1}$ |
| Литье в керамические формы и по выплавляемым и выжигаемым моделям | До 100 | $\frac{3-6}{1}$ | $\frac{4-7т}{1-2}$ | $\frac{5т-7}{1-2}$ |
| | Св. 100 | $\frac{4-7}{1-2}$ | $\frac{5т-7}{1-2}$ | $\frac{5-8}{1-2}$ |
| Литье в кокиль и под низким давлением в металлические формы со стержнями и без них; в песчаные формы, отверждаемые в контакте с оснасткой | До 100 | $\frac{4-9}{1-2}$ | $\frac{5т-10}{1-3}$ | $\frac{4-9}{1-2}$ |
| | Св. 100 до 630 | $\frac{5т-10}{1-3}$ | $\frac{5-10т}{1-3}$ | $\frac{5-11т}{1-3}$ |
| | Св. 630 | $\frac{5т-10}{1-3}$ | $\frac{5-11т}{1-3}$ | $\frac{6-11т}{2-4}$ |
| Литье в песчаные формы, отверждаемые вне контакта с оснасткой; в сырые и сухие песчано-глинистые формы; центробежное | До 630 | $\frac{6-11}{2-4}$ | $\frac{7т-12}{2-4}$ | $\frac{7-13т}{2-5}$ |
| | Св. 630 до 4000 | $\frac{7-12}{2-4}$ | $\frac{8-13т}{3-5}$ | $\frac{9т-13}{3-6}$ |
| | Св. 4000 | $\frac{8-13т}{3-5}$ | $\frac{9т-13}{3-6}$ | $\frac{9-14}{4-6}$ |

Примечание. В числителе указаны классы точности размеров и масс, в знаменателе – ряды припусков. Меньшие их значения относятся к простым отливкам и условиям массового автоматизированного производства; большие значения – к сложным, мелкосерийно и индивидуально изготовленным отливкам; средние – к отливкам средней сложности и условиям механизированного серийного производства. Классы точности масс следует принимать соответствующими классам точности отливок.

В табл. 7 для каждого интервала значений допусков размеров отливки в каждом ряду припусков предусмотрены два значения основного припуска.

Меньшее значение устанавливается для более грубых квалитетов точности обработки деталей, большее значение – для более точных квалитетов. При более высокой точности размеров допускается увеличение основного припуска до ближайшего большего значения из того же ряда. На обрабатываемых поверхностях, расположенных при заливке сверху, допускается увеличивать припуск до значения, соответствующего следующему ряду припусков.

Из-за смещения полуформ, коробления отливок предельное отклонение расположения частей отливки может превзойти половину допуска на соответствующий размер отливки. В этом случае на смещенные поверхности кроме основного назначают дополнительный припуск на механическую обработку. Предельное отклонение расположения определяют, как сумму предельных отклонений смещения (см. табл. 6) и коробления (табл. 9).

Таблица 9 – Предельные отклонения коробления элементов отливок

| Интервалы максимальных размеров отливки, мм | Предельное отклонение, мм, при степени коробления отливки | | | | | | | | | |
|--|--|------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| До 100 | – | – | – | – | – | 0,10 | 0,16 | 0,24 | 0,4 | 0,5 |
| 101–160 | – | – | – | – | 0,10 | 0,16 | 0,24 | 0,40 | 0,6 | 1,0 |
| 161–240 | – | – | – | 0,10 | 0,16 | 0,24 | 0,40 | 0,60 | 1,0 | 1,6 |
| 241–400 | – | – | 0,10 | 0,16 | 0,24 | 0,40 | 0,60 | 1,00 | 1,6 | 2,4 |
| 401–630 | – | 0,10 | 0,16 | 0,24 | 0,40 | 0,60 | 1,00 | 1,60 | 2,4 | 4,0 |
| 631–1000 | 0,10 | 0,16 | 0,24 | 0,40 | 0,60 | 1,00 | 1,60 | 2,40 | 4,0 | 6,0 |
| 1001–1600 | 0,16 | 0,24 | 0,40 | 0,60 | 1,00 | 1,60 | 2,40 | 4,00 | 6,0 | 10,0 |
| 1601–2400 | 0,24 | 0,40 | 0,60 | 1,00 | 1,60 | 2,40 | 4,00 | 6,00 | 10,0 | 16,0 |
| 2401–4000 | – | 0,60 | 1,00 | 1,60 | 2,40 | 4,00 | 6,00 | 10,00 | 16,0 | 24,0 |
| 4001–6300 | – | – | 1,60 | 2,40 | 4,00 | 6,00 | 10,00 | 16,00 | 24,0 | 40,0 |
| 6301–10000 | – | – | – | 4,00 | 6,0 | 10,0 | 16,00 | 24,00 | 40,0 | 60,0 |

Примечание. Предельные отклонения коробления симметричны.

Степень коробления определяют по табл. 10 в зависимости от отношения наибольшего и наименьшего габаритных размеров отливки.

Таблица 10 – Зависимость степени коробления от соотношения размеров сторон отливок по ГОСТ Р 53464–2009

| Показатель | Значение | | | |
|---|----------|-----------|-----------|---------|
| Отношение наименьшего габаритного размера отливки к наибольшему | св. 0,20 | 0,20–0,10 | 0,10–0,05 | до 0,05 |
| Степень коробления (элемента отливки) | 1–7 | 2–8 | 3–9 | 4–10 |

Примечание. Меньшие значения степеней коробления относятся к простым отливкам из легких цветных сплавов, не подвергаемых термической обработке; большие значения – к сложным термообрабатываемым отливкам из черных сплавов

По табл. 4 находим, что размеру $120_{+0,14}$ отвечает квалитет IT10, а размеру $200_{+0,20}$ – IT11. Детали соответствует квалитет IT10. С помощью табл. 5

выясняем, что для получения детали с точностью, отвечающей качеству IT10, необходимо иметь литую заготовку, изготовленную с 7-м классом точности. По табл. 3 для 7-го класса точности находим допуски указанных размеров отливки: для размера 120 мм допуск составит 1,2 мм, а для размера 200 мм – 1,4 мм. По табл. 7 для изготовления отливки в песчаной форме с 7-м классом точности определяем 3-й ряд припусков на механическую обработку. Основным припуск устанавливаем с помощью табл. 9 по найденным значениям допусков и ряда припусков. Для вертикальной поверхности с размером 120 мм основным припуск принимаем равным 2,2 мм. Для верхней горизонтальной поверхности с размером 200 мм принимаем припуск, отвечающий 4-му ряду припусков, – 3 мм.

Таблица 11 – Дополнительные припуски на обработку отливок резанием

| Допуск размера отливки (свыше – до), мм | Наибольшая погрешность расположения (свыше – до), мм | Дополнительный припуск, мм |
|--|--|-------------------------------|
| До 0,06 | До 0,12 | 0,1 |
| 0,06 – 0,08 | 0,03 – 0,12 | 0,1 |
| | 0,12 – 0,16 | 0,2 |
| 0,08 – 0,10 | 0,04 – 0,16 | 0,1 |
| | 0,16 – 0,20 | 0,2 |
| 0,10 – 0,12 | 0,05 – 0,16 | 0,1 |
| | 0,16 – 0,24 | 0,2 |
| 0,12 – 0,16 | 0,06 – 0,20 | 0,1 |
| | 0,20 – 0,30 | 0,2 |
| 0,16 – 0,20 | 0,08 – 0,20 | 0,1 |
| | 0,30 – 0,40 | 0,3 |
| 0,20 – 0,24 | 0,10 – 0,24 | 0,1 |
| | 0,24 – 0,40 | 0,2 |
| | 0,40 – 0,50 | 0,4 |
| 0,24 – 0,30 | 0,12 – 0,24 | 0,1 |
| | 0,24 – 0,40 | 0,2 |
| | 0,40 – 0,50 | 0,3 |
| | 0,24 – 0,30 | 0,4 |
| | 0,50 – 0,60 | 0,5 |
| 0,30 – 0,40 | 0,15 – 0,30 | 0,1 |
| | 0,30 – 0,40 | 0,2 |
| | 0,40 – 0,50 | 0,3 |
| | 0,50 – 0,60 | 0,4 |
| | 0,60 – 0,80 | 0,6 |
| 0,40 – 0,50 | 0,20 – 0,40 | 0,1 |
| | 0,40 – 0,50 | 0,2 |
| | 0,50 – 0,60 | 0,3 |
| | 0,60 – 0,80 | 0,5 |
| | 0,80 – 1,00 | 0,8 |

Дополнительный припуск на вертикальной поверхности должен компенсировать отклонение, вызванное короблением отливки и смещением

полуформ. По табл. 6 находим, что предельное отклонение смещения при расстоянии между центрирующими штырями 500 мм равно 0,5 мм для 7-го класса точности отливки. При отношении минимального и максимального габаритных размеров, равном 0,5, степень коробления сложной отливки примем равной 6 (см. табл. 10). Предельное отклонение за счет коробления составит 0,24 мм (см. табл. 9). Суммарная наибольшая погрешность расположения равна 0,74 мм. При допуске размера 1,2 мм по табл. 11 находим дополнительный припуск – 0,2 мм.

Горизонтальная поверхность выполняется в одной (верхней) полуформе, поэтому отклонения размеров из-за смещения полуформ не будет. Величина же отклонения из-за возможного коробления будет меньше половины допуска.

Таким образом, принимаем следующие значения припусков на механическую обработку для рассматриваемых поверхностей: 3,0 мм для горизонтальной поверхности (размер 200 мм) и $2,2 + 0,2 = 2,4$ мм для вертикальной поверхности (размер 120 мм).

Контроль размерной точности отливок осуществляют путем измерения действительных размеров, проверки соответствия действительных размеров допустимым предельным значениям и контроля отливок разметкой. При любом способе основой для контроля размерной точности является чертеж отливки, разрабатываемый конструктором.

При построении чертежа отливки кроме определения припусков необходимо предусматривать технологические напуски для обеспечения направленности затвердевания, скругления углов – галтели. Отверстия, диаметр которых меньше некоторых предельных значений, при литье не выполняют, а обеспечивают их при последующей механической обработке. Эти отклонения чертежа отливки от чертежа детали увеличивают металлоемкость отливки. Показателем экономичности использования металла в отливке является КИМ, равный отношению массы детали к массе литой заготовки, выраженному в процентах [3, 5].

Задание

По чертежу детали, выданному преподавателем, рассчитать припуски на механическую обработку для диаметра и наружной поверхности вращения по 11-му качеству.

Вопросы для самоконтроля:

1. От каких факторов зависит величина припуска на механическую обработку?
2. Чем определяется размерная точность литых заготовок?
3. Как связаны требования к готовому изделию с допуском размеров отливок?
4. Как определяется класс точности отливки?
5. От чего зависит степень коробления отливки?
6. Что должен компенсировать дополнительный припуск на механическую обработку?
7. Следствием чего является смещение элементов отливки, выполняемых в разных полуформах?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2. Выбор литейных баз и положения отливки в форме, определение плоскости разъема при заливке

Цель работы: получение практических умений и навыков выбора литейных баз, положения отливки в форме при заливке, а также определения плоскости разъема формы.

Теоретический материал

В качестве литейной базы для механической обработки преимущественно лучше выбирать поверхности, которые у готовой детали останутся необработанными, так как они должны обеспечить надежный зажим детали в приспособлении или патроне металлорежущего станка. При этом базовые поверхности и поверхности, обрабатываемые на этих базах, должны быть расположены в одной полуформе. В случае невозможности иметь общую базу для получения отливки и её механической обработки расстояние между базами принимают минимальным, и допуск базового размера назначается наименьшим.

После выбора литейных баз наносят размеры, определяющие форму и положение необрабатываемых поверхностей относительно этих баз. Отдельно наносят размеры, определяющие положение обрабатываемых поверхностей относительно конструкторских баз или баз для механической обработки.

Выбор оптимальной плоскости разъёма модели и формы, т. е. положения отливки в форме при заливке расплавленного металла, осуществляется в зависимости от особенностей конфигурации отливки, требований к плотности металла, шероховатости поверхностей и т. д., и обусловлен необходимостью обеспечить соблюдение условий, позволяющих получить качественную отливку при наименьших затратах на ее изготовление [3, с.71]:

- положение отливки в форме должно обеспечивать направленное затвердевание и питание всех нижележащих элементов отливки через вышележащие из прибылей. Для этого необходимо разместить наиболее массивные ее узлы в верхних или боковых частях формы, которые должны иметь площадки или поверхности для размещения верхних или боковых прибылей (рис. 4). Прибыли, установленные вверху, не обеспечат питания изолированных узлов в нижних фланцах. Боковые прибыли, установленные по разъему формы, не смогут пропитать нижнюю толстую стенку отливки.

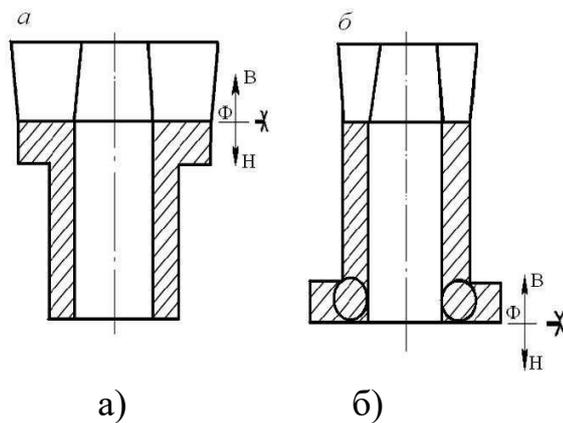


Рисунок 4 – Положение в форме отливки «Корпус люка» [3, с. 70]:
а – правильное; б – неправильное

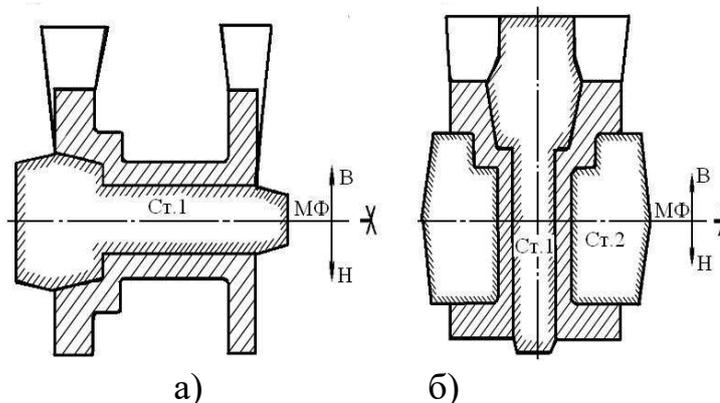


Рисунок 5 – Положение в форме отливки «Колонка»:
а – правильное; б – неправильное

- положение отливки в форме должно обеспечивать наиболее простое выполнение литниковой системы, так чтобы сплав поступал в форму по наименьшему пути спокойно, не фонтанировал и не размывал стержни и выступающие части в полости формы. Длинные (высокие) отливки лучше располагать в форме горизонтально, чтобы уменьшить скорость движения сплава в литниковой системе и обеспечить плавное заполнение формы. Для простоты выполнения литниковых систем при формовке выбранное положение отливки в форме должно обеспечивать размещение литникового хода (шлакоуловителя) и питателей в плоскости разреза формы;

- для предотвращения образования газовых раковин положение отливки в форме должно обеспечивать преимущественно верхний отвод газов из стержней (через верхние знаковые части). Показанное на рис. 5, а положение отливки в форме нерационально, так как в верхней части отливки нет возможности для выхода газов из стержня (знаковая часть стержня отсутствует). Для устранения этого следует изменить конструкцию отливки, предусмотрев в ее верхней части отверстие для выхода знаковой части стержня или принять меры по вентиляции стержня. Вариант, показанный на рис. 5, б,

лишен этого недостатка, но он неприемлем, так как не обеспечивает питания отливки;

- положение отливки в форме должно обеспечивать получение формы с минимальным количеством стержней. Вариант, изображенный на рис. 5, а, рациональнее не только с точки зрения обеспечения направленности затвердевания отливки, но и с точки зрения меньшей трудоемкости изготовления формы. Получение формы по варианту, данному на рис. 5, б, что связано с применением либо двух плоскостей разъема и трех опок, либо двух стержней вместо одного по варианту, показанному на рис. 5;

- ответственные и подвергаемые обработке поверхности, особенно поверхности трения, следует располагать внизу или вертикально либо наклонно, чтобы уменьшить число пороков, связанных с неметаллическими включениями и образованием газовых раковин;

- для предотвращения недоливов и спаев при подводе металла по разъему формы тонкие стенки отливки целесообразно располагать внизу вертикально или наклонно;

- формы для отливок, имеющих конфигурацию тел вращения с обрабатываемыми наружными и внутренними поверхностями, преимущественно заливают в вертикальном положении;

- большие плоские поверхности не следует располагать сверху. Иначе рекомендуется делить их ребрами на меньшие участки, что уменьшает возможность образования ужимин и разрушения верхней поверхности формы лучистой теплотой сплава, заполняющего форму;

- для отливок, имеющих полости, оформляемые стержнями, необходимо обеспечение надежной установки и фиксации стержней на знаках в нижней полуформе, так как крепление стержней в верхней полуформе трудоемко и менее надежно.

Вариант выбора положения отливки в форме должен быть согласован с условиями выбора поверхности разъема формы. При разработке технологического процесса изготовления отливки необходимо рассмотреть несколько альтернативных вариантов положения отливки в форме при заливке.

Для улучшения условий заполнения формы и обеспечения направленности затвердевания стенок отливки иногда после заливки изменяют положение формы в пространстве – метод частичного и полного поворота. Например, протяжённые столы металлорежущих станков формируют горизонтально, а собранные формы под заливку ставят вертикально.

Плоскостью разъема литейной формы называется плоскость, по которой форма разделяется на полуформы или части форм сборного корпуса. Часто плоскость разъема формы совпадает с плоскостью разъема модели.

При определении плоскости разъема формы необходимо стремиться, чтобы:

- число разъемов формы было минимальным. Целесообразно иметь одну плоскость разъема и изготавливать отливку в двух полуформах;
- модель свободно извлекалась из формы после формовки.

Кроме того, при выборе плоскости разреза мысленно проверяется наличие участков отливки, препятствующие свободному извлечению из формы оформляющей их модели, путём наличие образующихся теневых участков при освещении отливки параллельными лучами, перпендикулярными выбранной плоскости разреза модели (рис. 6).

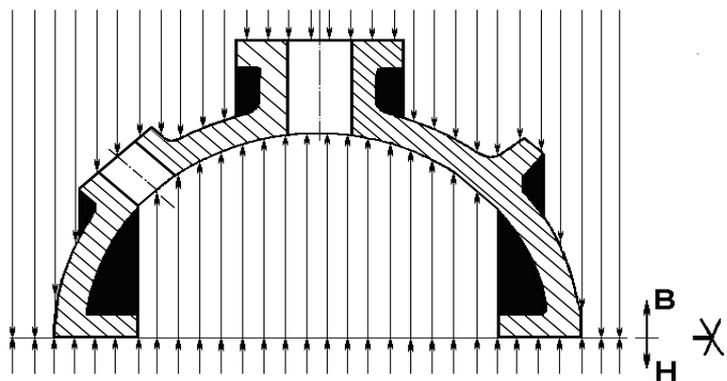


Рисунок 6 – Схема проверки возможности свободного извлечения модели из формы и стержня из стержневого ящика [3, с. 74]

Затененные участки указывают на элементы в конструкции модели, которые не могут быть извлечены из формы после формовки без ее разрушения. Например, бобышка 2 должны быть оформлены или стержнями (рис. 7, а), или с применением отъемных частей 1 модели (рис. 7, в), которые при съеме модели остаются в форме и затем извлекаются из нее (рис. 7, б);

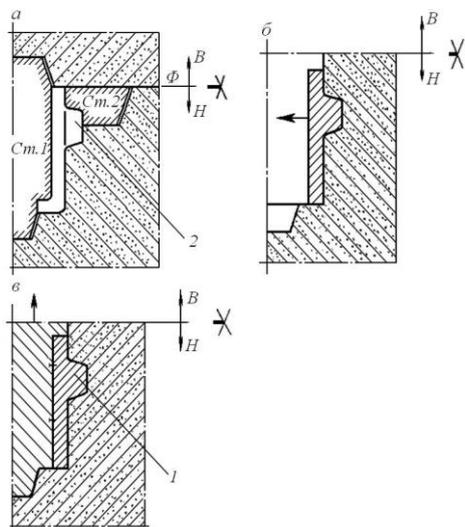


Рисунок 7 – Применение стержней (а) и отъемных частей модели (б, в) для оформления бобышки: 1 – отъемная часть модели; 2 – бобышка

Отливки следует располагать в одной (лучше нижней) полуформе с целью повышения её точности. Базовые поверхности, обрабатываемые ответственные соосные с базовыми поверхности, фланцы и приливы, связанные с базовыми поверхностями жесткими размерами рекомендуется располагать в одной полуформе (рис. 8, а);

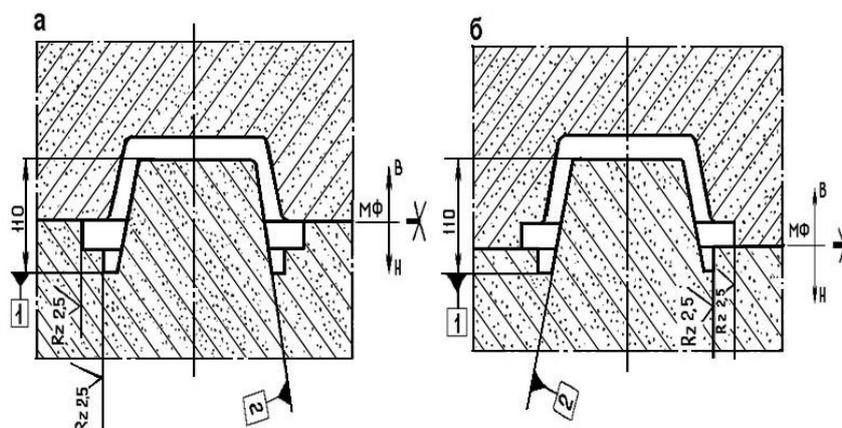


Рисунок 8 – Положение плоскости разъема формы:
а – правильное; б – неправильное [3, с. 75]

Ответственные поверхности должны занимать в форме строго определенное положение по отношению к базовым поверхностям. В случае невозможности их расположить в одной полуформе, определённое положение ответственных поверхностей достигается с помощью специальной оснастки и средств контроля. На рис. 8, б показано неправильное положение плоскости разъема, так как из-за смещения полуформ затруднено фиксирование наружной поверхности фланца относительно базы. Базовые поверхности не должны пересекаться линией разъема формы и стержнями. Литейные швы и заусенцы на базовых поверхностях недопустимы.

Если не происходит повышения трудоемкости изготовления стержня, то необходимо добиваться такого расположения отливки в форме, чтобы сократить количества стержней, заменой их болванами или объединением нескольких стержней в один. Болваны желательно располагать в нижней полуформе, так как при этом уменьшаются усилия, стремящиеся их разрушить при извлечении модели из формы (рис. 9).

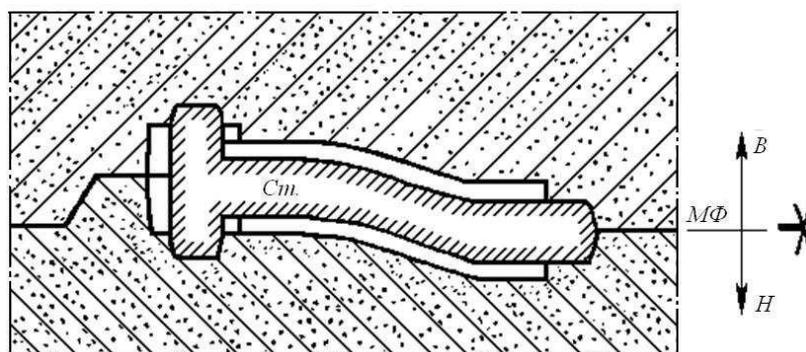


Рисунок 9 – Схема выполнения болвана в нижней полуформе [3, с. 76]

Поверхность разъема по возможности должна быть плоской. Фасонной поверхности разъема профилю желательно придать простую геометрическую форму, что упрощает форму модельных плит и их изготовление.

Обе полуформы должны иметь примерно одинаковую наименьшую высоту.

Для получения тонкостенных отливок и отливок с малыми отверстиями поверхность разъема должна проходить так, чтобы эти элементы находились в одном месте формы.

Фиксирование стержней целесообразно выполнять в нижней полуформе.

Задание

По чертежу детали, выданному преподавателем, выбрать технологические и литейные базы, определить положение отливки в форме при заливке и плоскости разъема формы.

Вопросы для самоконтроля:

- 1 Какие базы называются литейными?
- 2 Какие поверхности следует выбирать в качестве литейных?
- 3 В зависимости от каких факторов осуществляется выбор оптимальной плоскости разъёма модели и формы?
- 4 Какой отвод газа может предотвратить образование газовых раковин?
- 5 Где следует расположить ответственные поверхности и поверхности подвергаемые механической обработке?
- 6 Как следует располагать полости, чтобы получить отливки повышенной точности?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3. Построение чертежа литой заготовки. Назначение технологических напусков на отливки в песчаные формы

Цель работы: получение практических умений и навыков разработки чертежа литой заготовки, включая назначение технологических напусков на отливки.

Теоретический материал

Следующим этапом получения отливки в песчаные формы после определения положения отливки в форме и выбора поверхности её разъема является чертеж отливки с учетом анализа технологичности детали.

Основанием для получения чертежа литой заготовки является чертёж детали и допускается выполнять его непосредственно на чертеже детали.

Оптимальная плоскость разъема указывается на чертеже детали стрелками и буквами «В» (верх) и «Н» (низ). Разъём как модели, так и формы изображается на всех проекциях отрезком или ломанной штрихпунктирной линией, заканчивающейся знаком «X – X», над которой указывается буквенное обозначение разъема – МФ (Модель, Форма). Направление разъема указывается сплошной основной линией, перпендикулярной линии разъема и ограниченной стрелками (рис. 10).

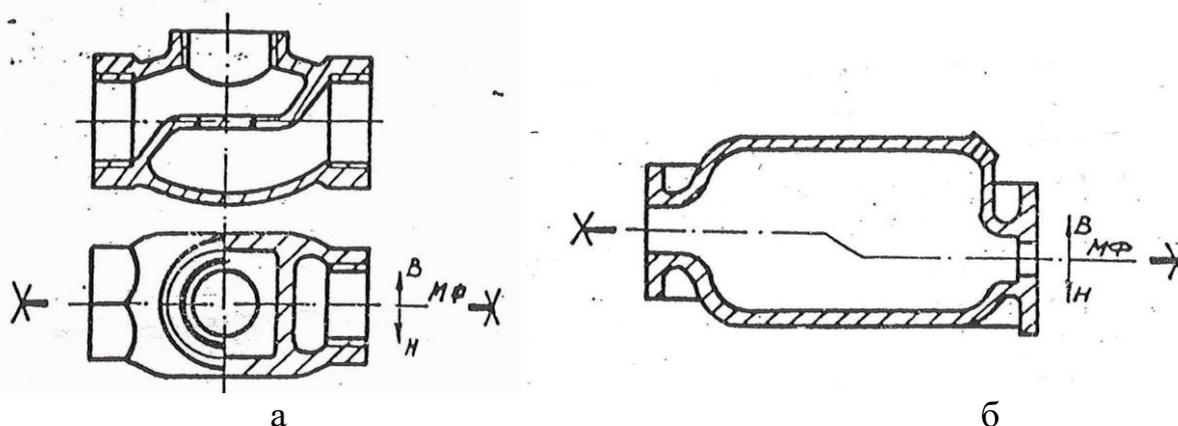


Рисунок 10 – Обозначение симметричной (а) и несимметричной (б) модели, формы и их положение в процессе заливки расплавленного металла

По допускам размеров детали или по приведенным на чертеже техническим условиям определяют класс точности отливки и допуски её размеров. С учетом класса точности отливки, требований к ней, серийности производства и технических возможностей цеха выбирают способ литья.

Возможности литья в разовые песчаные формы с точки зрения обеспечения чистоты поверхности по табл. 12 определяют поверхности отливки, подвергаемые механической обработке, к которым относят все поверхности детали, шероховатость которых Rz меньше значений, достигаемых при принятом способе изготовления отливок. Шероховатость необрабатываемых поверхностей, соответствующая шероховатости литой

поверхности при принятом способе литья, обозначается в правом верхнем углу чертежа, если она нормируется по техническим условиям. Если шероховатость необрабатываемых поверхностей не нормируется, то она не указывается.

Таблица 12 – Шероховатость R_z поверхностей отливок, полученных различными способами литья

| Способ литья | Максимальный размер отливки, мм | R_z поверхности отливки, мкм | | |
|--|---------------------------------|---|-----------------------|--|
| | | цветные сплавы с температурой плавления, °С | | ковкий, высокопрочный и легированный чугуны, сталь |
| | | ниже 700 | выше 700, серый чугун | |
| Под давлением | До 100 | 6,3 – 1,6 | 12,5 – 3,2 | 20,0 – 6,3 |
| | Св. 100 | 12,5 – 3,2 | 20,0 – 6,3 | 20,0 – 10,0 |
| В керамические формы, по выплавляемым моделям | До 100 | 12,5 – 3,2 | 25,0 – 10,0 | 32,0 – 10,0 |
| | Св. 100 | 25,0 – 6,3 | 32,0 – 10,0 | 40,0 – 12,5 |
| В кокиль и под низким давлением, в металлические формы без песчаных стержней и с ними, в песчаные формы, отверждаемые в контакте с оснасткой | До 100 | 20,0 – 10,0 | 32,0 – 16,0 | 40,0 – 20,0 |
| | Св. 100 | 32,0 – 16,0 | 40,0 – 20,0 | 50,0 – 25,0 |
| | До 630 | – | – | – |
| | Св. 630 | 40,0 – 20,0 | 50,0 – 25,0 | 63,0 – 32,0 |
| В песчаные формы, отверждаемые вне контакта с оснасткой, в сырые и сухие песчаные формы | До 630 | 80,0 – 40,0 | 100,0 – 50,0 | 125,0 – 63,0 |
| | Св. 630 | 125,0 – 50,0 | 125,0 – 63,0 | 200,0 – 125,0 |
| | До 4000 | – | – | 125,0 – 200, |
| | Св. 4000 | 125,0 – 63,0 | 200,0 | Св. 200,0 |

С учетом положения отливки в форме и выбранной плоскости разъема назначают припуски на механическую обработку для всех обрабатываемых поверхностей. Контур отливки с учетом припусков на механическую обработку изображают сплошной тонкой линией. Величину припуска указывают цифрой под или перед знаком шероховатости поверхности детали. Припуск штрихуют в плоскости разреза отливки.

Очертания внутренних и наружных поверхностей отливки должны быть упрощены, т. е. содержать минимальное число разъемов. Технологический припуск применяется для облегчения и упрощения процесса получения отливки. К ним относятся литейные формовочные уклоны, напуски, приливы, ребра, галтели.

Поверхности отливок, перпендикулярные плоскости разъема формы, должны иметь конструктивные уклоны, чтобы обеспечить свободное извлечение, без разрушения формы, моделей. Если в направлениях, перпендикулярных плоскости разъема, не предусмотрены конструктивные

уклоны, то необходимо назначить формовочные уклоны для лучшего съема полуформ с модели в соответствии с ГОСТ 3212–92.

В зависимости от требований, предъявляемых к поверхности отливки, формовочные уклоны назначать: на обрабатываемых поверхностях отливки сверх припуска на механическую обработку за счет увеличения размеров отливки (рис. 11, а); на необрабатываемых поверхностях отливки, не сопрягаемых по контуру с другими деталями, за счет одновременного увеличения и уменьшения размеров отливки (рис. 11, б); на необрабатываемых поверхностях отливки, сопрягаемых по контуру с другими деталями, за счет уменьшения (рис. 11, в) или увеличения (рис. 11, г) размеров отливки в зависимости от поверхности сопряжения.

Уклоны задаются в градусах или миллиметрах.

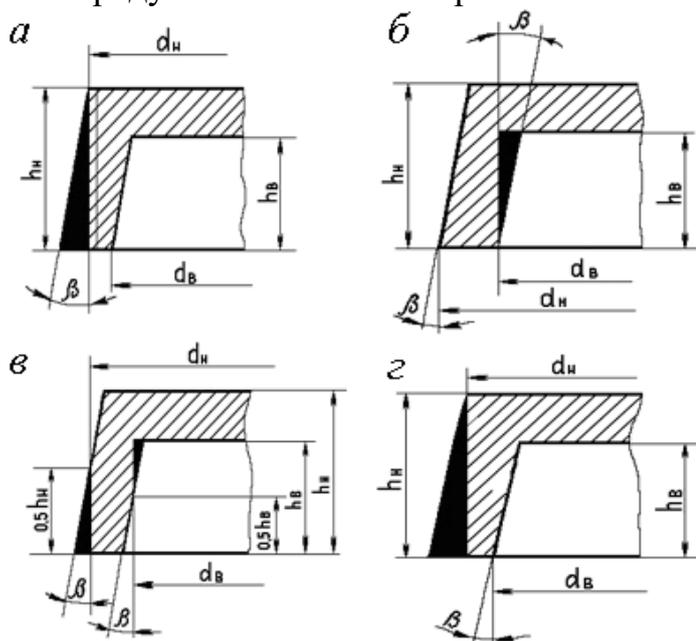


Рис. 11 – Формовочные уклоны: а – на обрабатываемых поверхностях отливки сверх припуска на механическую обработку за счет увеличения размеров отливки; на необрабатываемых поверхностях отливки: б – за счет одновременного увеличения и уменьшения размеров; в – за счет уменьшения размеров; г – за счет увеличения размеров

Для отливок, получаемых в песчаных формах, конструктивные уклоны назначают в соответствии с данными в табл. 13 в зависимости от высоты H расчётного элемента.

Таблица 13 – Формовочные уклоны наружных поверхностей моделей или стержневых ящиков по ГОСТ 3212–80

| Высота расчётного элемента H , мм | Уклоны для моделей (не более) | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | выплавляемых | оболочковых | металлических | деревянных |
| До 50 | $0^{\circ} 20'$ | $0^{\circ} 45'$ | $1^{\circ} 30'$ | $3^{\circ} 00'$ |
| 50–200 | $0^{\circ} 10'$ | $0^{\circ} 30'$ | $0^{\circ} 45'$ | $1^{\circ} 00'$ |
| 200–300 | - | $0^{\circ} 20'$ | $0^{\circ} 30'$ | $0^{\circ} 30'$ |
| 300–800 | - | - | $0^{\circ} 20'$ | $0^{\circ} 30'$ |

Уклоны местных невысоких утолщений, т. е. бобышек, платиков, плашек принимают $30\div 50^\circ$; внутренних поверхностей отливок – обычно принимают не меньше $1/20$; для ребер жёсткости – $5\div 8^\circ$.

Для обеспечения направленного затвердевания отливки конфигурацию детали анализируют методом вписанных окружностей. Если направленное затвердевание не обеспечивается (окружность нельзя выкатить через стенку детали в прибыль), то назначают технологические напуски. Напуски увеличивают массу отливки, снижают коэффициент использования материалов и повышают трудоемкость механической обработки, чего можно избежать путём корректировки конструкции детали. Примеры построения технологического напуска и корректировки чертежа детали показаны на рис. 12 [3, с. 81].

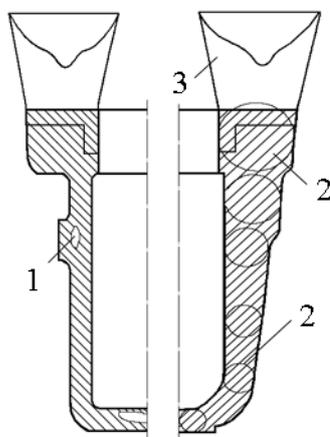


Рисунок 12 – Построение технологического напуска:

a – на нетехнологичной детали; *б* – на откорректированной конструкции детали; 1 – усадочная раковина; 2 – контрольные окружности; 3 – прибыль [3]

В конструкциях деталей могут присутствовать сквозные и несквозные отверстия, пазы, уступы и выемки, которые выполняются механической обработкой, так как технически нецелесообразно выполнять при литье. При малых размерах элементов ухудшается качество литой поверхности и увеличивается брак. Поэтому отверстия, имеющие диаметр меньше некоторых минимальных значений, не отливаются. В табл. 4 и 5 указаны наименьшие размеры отливаемых круглых и прямоугольных отверстий для стальных и чугунных отливок [5], где L или H – длина или высота отверстия, d – диаметр отверстия, s – толщина стенки.

В случае выполнения глухих отверстий наименьший диаметр необходимо увеличить на 20 % от значений, указанных в табл. 14 и 15. Значение размера стороны квадрата квадратных отверстий условно принимают равным диаметру, указанному в табл. 14 и 15.

Таблица 14 – Наименьшие диаметры отливаемых отверстий для стальных отливок

| <i>L</i> или <i>H</i> , мм | Характеристика поверхности отливки | Наименьший диаметр отверстий, мм, при толщине слоя металла, мм | | | | | | | |
|----------------------------|------------------------------------|--|--------|--------|---------|---------|---------|---------|--------|
| | | До 25 | 26 -50 | 51 -75 | 76 -100 | 101-150 | 151-200 | 201-300 | св.300 |
| До 100 | Обрабатываемые | 90 | 90 | 90 | 90 | 100 | 120 | 140 | 160 |
| | Необрабатываемые | 110 | 110 | 110 | 110 | 120 | 140 | 160 | 180 |
| 101–200 | Обрабатываемые | 90 | 90 | 90 | 90 | 120 | 140 | 160 | 190 |
| | Необрабатываемые | 110 | 110 | 110 | 110 | 140 | 160 | 180 | 210 |
| 201–400 | Обрабатываемые | 90 | 90 | 100 | 100 | 140 | 170 | 190 | 230 |
| | Необрабатываемые | 115 | 115 | 125 | 135 | 160 | 195 | 215 | 255 |
| 401–600 | Обрабатываемые | 100 | 110 | 120 | 140 | 170 | 200 | 230 | 270 |
| | Необрабатываемые | 125 | 135 | 145 | 165 | 195 | 225 | 255 | 295 |
| 601–1000 | Обрабатываемые | 120 | 130 | 150 | 170 | 200 | 210 | 230 | 310 |
| | Необрабатываемые | 150 | 160 | 180 | 200 | 230 | 260 | 300 | 340 |

Таблица 15 – Наименьшие диаметры отливаемых отверстий для чугунных отливок

| <i>L</i> или <i>H</i> , мм | Характеристика поверхности отливки | Наименьший диаметр отверстий, мм, при толщине слоя металла, мм | | | | | | | |
|----------------------------|------------------------------------|--|-------|-------|-------|--------|---------|---------|---------|
| | | До 40 | 41–50 | 51–65 | 66–80 | 81–100 | 101–125 | 126–160 | 161–200 |
| До 25 | Обрабатываемые | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| | Необрабатываемые | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| 26–40 | Обрабатываемые | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| | Необрабатываемые | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 |
| 41–65 | Обрабатываемые | 32 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 |
| | Необрабатываемые | 58 | 62 | 62 | 62 | 62 | 62 | 62 | 62 |
| 66–100 | Обрабатываемые | 35 | 38 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| | Необрабатываемые | 62 | 67 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 |
| 101–150 | Обрабатываемые | 40 | 42 | 45 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| | Необрабатываемые | 67 | 72 | 78 | 85 | 85 | 85 | 85 | 85 |
| 151–250 | Обрабатываемые | 42 | 48 | 52 | 55 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| | Необрабатываемые | 72 | 78 | 85 | 92 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 251–400 | Обрабатываемые | – | 54 | 60 | 65 | 72 | 80 | 80 | 80 |
| | Необрабатываемые | – | 85 | 92 | 100 | 110 | 120 | 120 | 120 |
| 401–600 | Обрабатываемые | – | – | 65 | 72 | 80 | 90 | 100 | 100 |
| | Необрабатываемые | – | – | 100 | 110 | 120 | 132 | 145 | 145 |
| 601–1000 | Обрабатываемые | – | – | – | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 |
| | Необрабатываемые | – | – | – | 120 | 132 | 145 | 160 | 175 |
| Св. 1000 | Обрабатываемые | – | – | – | – | 100 | 110 | 120 | 132 |
| | Необрабатываемые | – | – | – | – | 145 | 160 | 175 | 185 |

Прямоугольные отверстия при соотношении размеров сторон $L/B > 3$ отливают в случае, если $B > d$ (d – наименьший допустимый диаметр для круглого отверстия). Если отверстия не отливаются, то на чертеже отливки в разрезе они заштриховываются, а не в разрезе – зачеркиваются (рис. 13).

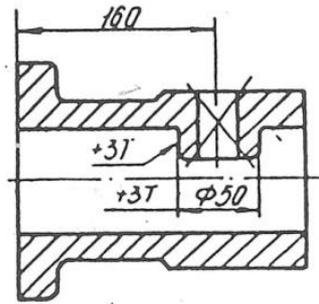


Рисунок 13 – Обозначение неотливаемых отверстий на чертеже отливки

Сквозные и несквозные обрабатываемые пазы на чугунных отливках не отливаются, если ширина паза $a < 50$ мм (длина паза значения не имеет). При $a > 50$ мм пазы отливаются (рис. 14). Если паз не отливается, то на чертеже отливки в разрезе он заштриховывается, а в плане перечеркивается двумя линиями крест-накрест.

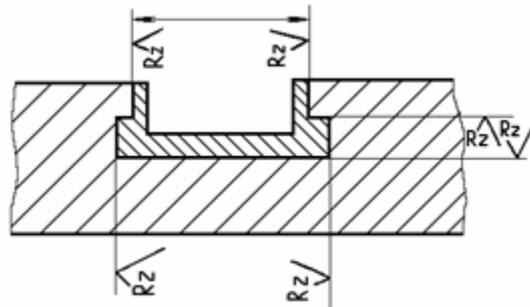


Рисунок 14 – Отливаемый паз [3, с. 83]

Уступы и выемки на чугунных отливках не отливаются в том случае, если $a + b < 60$ мм (рис. 15).

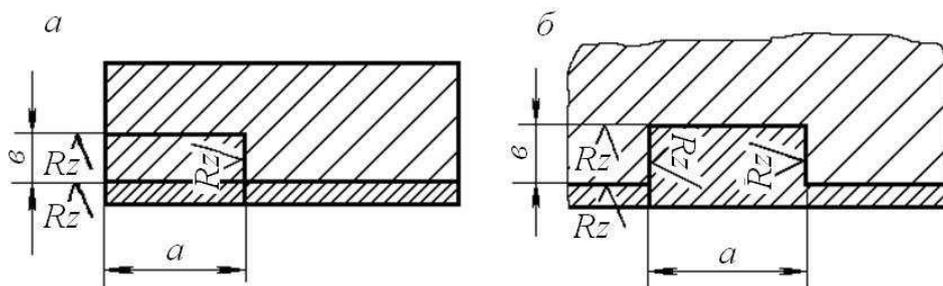


Рисунок 15 – Неотливаемые элементы на чугунных отливках:
 a – уступы; b – выемки [3, с. 83]

Если в конструкции детали предусмотрены необходимые радиусы сопряжений стенок, то на чертеже отливки следует указать радиусы сопряжений всех стенок. Целесообразно, чтобы в одной отливке было минимальное число значений радиусов, лучше всего одно. В этом случае его можно записать в технических условиях к чертежу: «Литейные радиусы $R = \dots$ ».

Радиусы галтелей, внутренних скруглений при сопряжении стенок отливки (рис. 16) рассчитываются по формуле (1):

$$R = \frac{A + B}{4}. \quad (1)$$

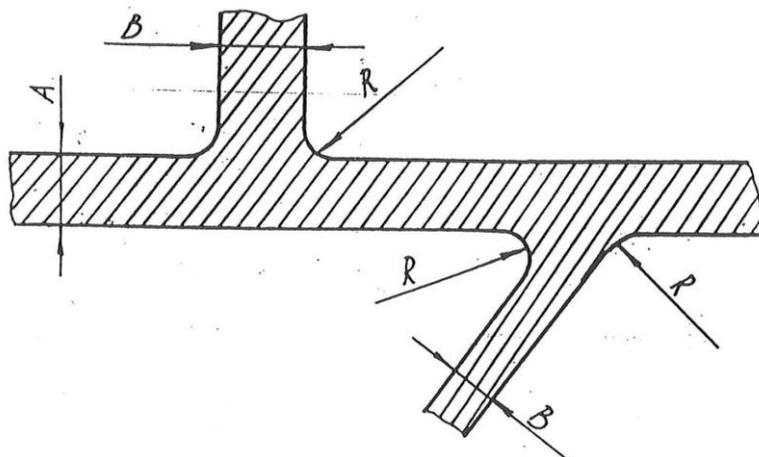


Рисунок 16 – Радиусы галтелей, внутренних скруглений, при сопряжении стенок отливки: А и В – толщина сопрягаемых стенок; R – радиус

На рабочих чертежах литых заготовок помещают технические требования, обычно включающие в себя следующие данные:

1) класс точности размеров, класс точности массы. В отдельных случаях указывают степень коробления отливки и ряд припусков на механическую обработку (ГОСТ Р 53464-2009).

2) величины неуказанных на чертеже литейных радиусов;

3) формовочные уклоны;

4) данные, регламентирующие наличие литейных дефектов (раковин, пор, трещин и т. п.), допускаемых на отливке без устранения, а также данные о дефектах, допускаемых к устранению, и способах их устранения.

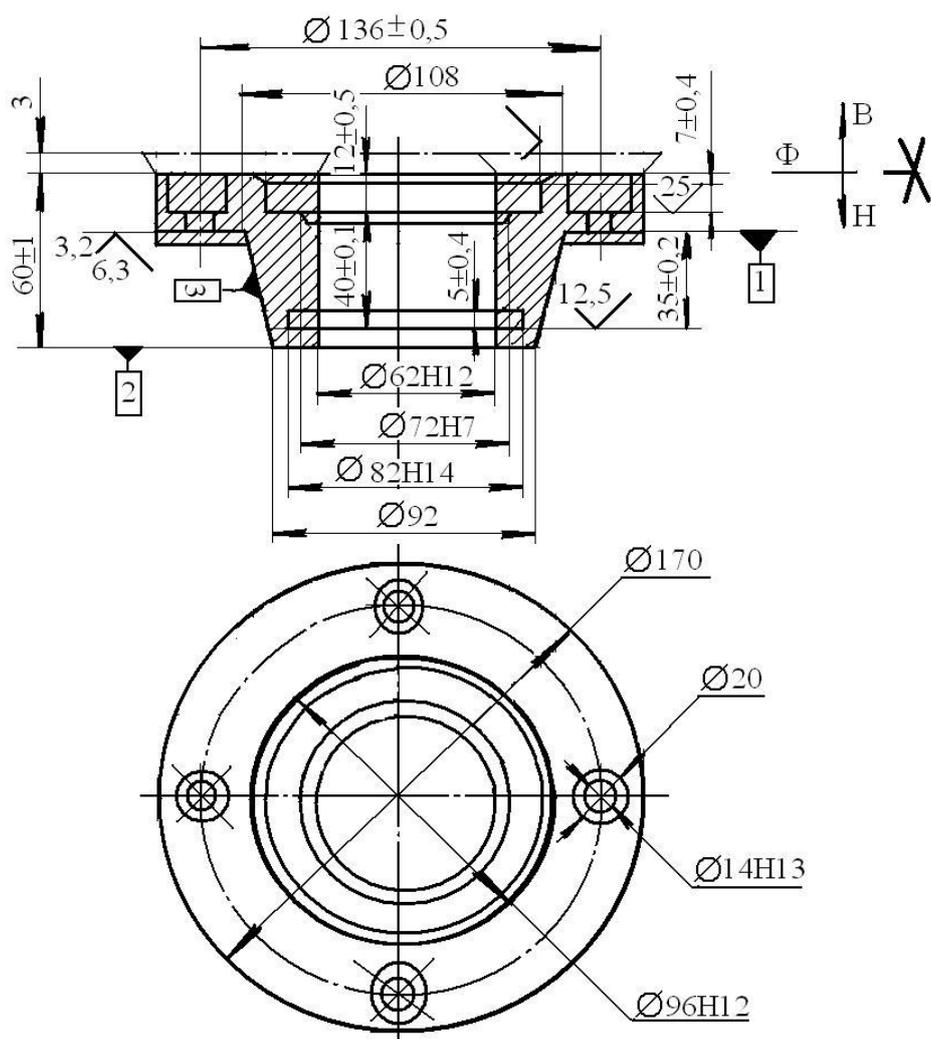
Пример построения чертежа отливки «Крышка» (рис. 17)

Класс точности детали по необрабатываемым размерам находится в интервале 12–14-го квалитетов (IT12–IT14). По табл. 5 устанавливается, что отливка должна соответствовать 9–16-му классам точности. Принимается 10-й класс точности. По табл. 7 для изготовления отливки выбираем способ литья в сырые песчаные формы. Как следует из табл. 12, при литье в песчаные формы обеспечивается шероховатость литых поверхностей, отвечающая $Rz = 125–63$ мкм, что удовлетворяет требованиям к шероховатости необрабатываемых поверхностей рассматриваемой отливки.

Для простоты формовки, обеспечения точности отливки и организации питания отливку размещают в нижней полуформе, а плоскость разъема полуформ указан на рис. 17. Для внутренней цилиндрической вертикально расположенной в форме поверхности отливки 10-го класса точности находят припуск по табл. 3 для номинального размера 72 мм допуск – 2,8 мм. По табл. 7 для изготовления отливки в песчаной форме выбирают 3-й ряд припусков на механическую обработку, а по табл. 9 по допуску 2,8 мм для 3-го ряда припусков находим основной припуск на механическую обработку – 4 мм. Так

как отливка располагается в одной полуформе, то отклонений размеров из-за смещения полуформ не будет. Дополнительный припуск для компенсации коробления назначать не будем, так как при степени коробления 2–8 (табл. 11) предельное отклонение коробления элементов данной отливки 0,6 мм не превышает половину допуска на размер 1,2 мм (см. табл. 10).

Для упрощения профиля стержня, который выполняет необрабатываемую поверхность по диаметру 62 мм, примем припуск 5 мм на сторону по поверхности диаметром 72 мм. В этом случае центральное отверстие выполняется цилиндрическим стержнем диаметром 62 мм. Аналогично определяем припуск по нижней горизонтальной поверхности. Он составит 3,2 мм.



1. Материал отливки – сталь 35Л.
2. Неуказанные литейные радиусы $R = 5$ мм.
3. Неуказанные предельные отклонения размеров $h12$.
4. Точность отливки 10–10–5–3 по ГОСТ Р 53464–2009.
5. Формовочные уклоны по ГОСТ 3212–92.
6. Термическая обработка – нормализация.

Рисунок 17 – Пример оформления чертежа отливки «Крышка»

Конструкторская база отмечена на чертеже детали (база 1). В качестве литейных баз выбираем нижнюю необрабатываемую поверхность (база 2) и ось центрального отверстия отливки (база 3). Эти же элементы являются базами для механической обработки. На чертеже отливки записываем технические требования к ней (рис. 17).

Задание

По чертежу детали, выданному преподавателем, назначить технологические напуски на отливку, разработать чертёж литой заготовки.

Вопросы для самоконтроля:

1. Что является основанием для выполнения чертежа отливки?
2. Каким образом на чертеже отливки указывается плоскость разъёма?
3. Какие факторы определяют класс точности отливки и допуски её размеров?
4. На размеры каких поверхностей назначают припуски на механическую обработку?
5. Когда назначаются технологические припуски?
6. Что можно отнести к технологическим припускам?
7. Какие поверхности должны иметь конструктивные уклоны?
8. Для чего применяется анализ по методу вписанных окружностей?
9. В каком случае не целесообразно выполнять пазы, отверстия и прочие конструктивные элементы при литье?
10. Какие технологические требования указываются на чертеже отливки?
11. В какой опоке рекомендуется помешать отливку для обеспечения её наибольшей точности?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4. Проектирование и расчет литниковых систем для литья в песчаные формы

Цель работы: получение практических умений и навыков расчета составляющих литниковых систем.

Теоретический материал

Заполнение форм сплавом, являясь непродолжительным этапом формирования отливки, в существенной мере определяет качество отливки. Подавляющее большинство случаев технологического брака в литейном производстве связано с неправильной организацией заливки.

Управление заполнением форм осуществляется путем конструирования и расчета литниковых систем. Литниковая система представляет собой совокупность каналов в форме, через которые сплав поступает из ковша в полость формы. Конструкция типичной литниковой системы показана на рис. 18.

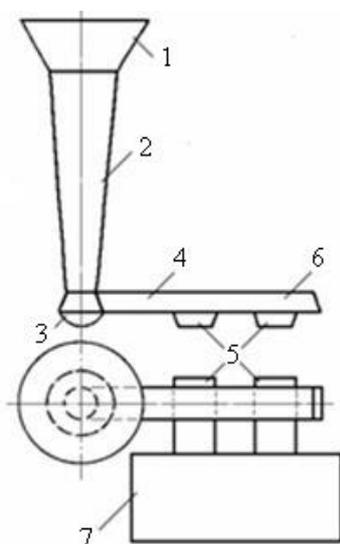


Рисунок 18 – Конструкция литниковой системы [3, с. 125]

Расплав из ковша заливают в литниковую чашу 1, который через стояк 2 поступает в горизонтальный канал – шлакоуловитель 4, расположенный на уровне подвода сплава к полости формы. При литье стали этот канал часто называют литниковым ходом, а при цветном литье – коллектором. Из шлакоуловителя расплав через систему питателей 5 поступает в полость формы 7. Для смягчения удара струи сплава нижняя часть стояка выполняется в виде полусферы – зумпфа 3, а в конце шлакоуловителя предусматривают тупик 6.

В процессе движения сплава по каналам литниковой системы в полость формы происходит его охлаждение и кристаллизация, прогрев формы и стержней, окисление и вспенивание сплава, силовым и ударным воздействием его на стенки формы, выделение и эвакуация газа из формы, стержней и т. п., что может приводить к возникновению дефектов отливок.

Для качественного заполнения формы сплавом литниковой системы необходимо: соблюдение заполнения формы за оптимальное время; полное улавливание шлака, неметаллических и газовых включений; плавное поступление сплава в полость формы без разбрызгивания и размывания поверхностей формы и стержней; создание тепловых условий, для направленного затвердевания отливки и уменьшения развивающихся в ней литейных напряжений.

Из опыта литейного производства известно, что для каждой отливки существует оптимальная продолжительность заполнения формы τ , удовлетворяющая неравенству

$$\tau_{\min} < \tau < \tau_{\max},$$

где τ_{\min} – минимальная допустимая продолжительность заливки, определяемая: временем, необходимым для полного удаления из формы воздуха и газов, выделяемых формой, стержнями и металлом; возможностью размывания поверхности формы и стержней; силой удара металла о верхнюю плоскость формы в конце заливки; нежелательностью увеличения сечений литниковых каналов по экономическим соображениям; τ_{\max} – максимально допустимая продолжительность заполнения формы, определяемая: отводом тепла и снижением температуры сплава; жидкотекучестью металла (опасностью образования спаев и недоливов, особенно в тонких сечениях); необходимостью обеспечения скорости подъема уровня сплава в полости, исключая возможность возникновения спаев и брака по отслоению стенок формы (образование ужимин).

При выборе оптимальной продолжительности заливки следует учитывать уровень и место подвода сплава. При подводе сплава снизу продолжительность заливки должна быть меньше, чем при подводе сверху, так как нужно обеспечить достаточно высокую температуру сплава в прибыли. При подводе сплава в тонкие части отливки большая продолжительность заливки будет способствовать уменьшению внутренних напряжений в отливке.

Аналитическое определение τ_{\min} и τ_{\max} в настоящее время затруднено, поэтому в практике расчетов широко используются эмпирическая формула Г. М. Дубицкого:

$$\tau_{\text{опт}} = S_1 \sqrt[3]{\delta \cdot G}, \quad (2)$$

где S_1 – коэффициент продолжительности заливки, зависящий от температуры жидкого металла, рода сплава, места его подвода, материала формы; δ – преобладающая толщина стенки отливки, мм; G – масса жидкого металла в форме, приходящегося на одну отливку, кг

Значения коэффициента S_1 приведены в табл. 16–18 [3, с. 127].

Для отливок, заливаемых горизонтально, значения S_1 принимаются меньше на 0,1–0,2, так как вследствие растекания металла по холодной стенке формы увеличиваются тепловые потери.

Отливки, изготавливаемые в металлических формах или с большим количеством холодильников, нужно заливать с большей скоростью, поэтому S_1 уменьшают на 0,1–0,2.

Для чугуна значение S_1 принимают равным 2. При содержании углерода меньше 3,3 % чугун при наличии в форме холодильников и пониженной температуре заливки S_1 принимают в пределах 1,7–1,9. Для отливок из ковкого чугуна Г. М. Дубицкий рекомендует принимать S_1 равным 2,05 [3, с.128].

Таблица 16 – Значения коэффициента S_1 для стальных отливок

| Температура сплава | Подвод металла | | |
|--------------------|---|------------------------------------|-----------------------------------|
| | снизу или в толстостенные части отливки | на половине высоты или ступенчатый | сверху или в тонкие части отливки |
| Нормальная | 1,3 | 1,4 | 1,5 – 1,6 |
| Повышенная | 1,4 – 1,5 | 1,5 – 1,6 | 1,6 – 1,8 |

Таблица 17 – Значения коэффициента S_1 для отливок из алюминиевых сплавов

| Изготовление отливок | Масса жидкого сплава на одну отливку, кг, при подводе металла | | | | | | |
|-------------------------|---|-----|------|------|-------|-------|-------|
| | до 2 | 2–5 | 5–10 | 10 | до 15 | 15–30 | 30–70 |
| В подогреваемых кокилях | 2,2 0 | 2,4 | 2,5 | 2,62 | 3,35 | 3,6, | 4,0 |
| В песчаных формах | 1,7 | 2,1 | 2,3 | 2,40 | 2,70 | 2,8 | 3,0 |

Таблица 18 – Значения коэффициента S_1 для отливок из сплава МЛ5

| Изготовление отливок | Масса жидкого сплава на одну отливку, кг, при подводе металла | | | | | | | |
|-------------------------|---|-----|------|-------|--------|------------------------------|-------|-------|
| | обычной литниковой системой | | | | | вертикально-щелевой системой | | |
| | 0,1–2 | 2–5 | 5–10 | 10–20 | Св. 20 | До 30 | 30–45 | 45–65 |
| В подогреваемых кокилях | 2,3 | 2,6 | 2,8 | 2,9 | 2,9 | 3,7 | 4,0 | 4,4 |
| В песчаных формах | 2,3 | 2,5 | 2,7 | 2,7 | 2,8 | 3,0 | 3,0 | 3,3 |

Преобладающая толщина стенки δ – толщина стенки, которая имеет наибольшую протяженность в отливке, или толщина стенки, наиболее удаленной от питателей и находящейся в неблагоприятных с точки зрения заливки условиях. Преобладающая толщина стенки δ не всегда совпадает с геометрической толщиной стенки отливки и определяется по формуле:

$$\delta = \frac{2F}{\chi}, \quad (3)$$

где F – площадь поперечного сечения стенки отливки, мм²; χ – периметр поперечного сечения стенки отливки, мм.

Массу жидкого металла, приходящегося на одну отливку, можно определить по формуле:

$$G = \frac{G_{\text{ж}}}{N},$$

где N – число отливок в форме, шт.; $G_{\text{ж}}$ – масса заливаемого в форму сплава, кг.

Величина $G_{\text{ж}}$ рассчитывается следующим образом:

$$G_{\text{ж}} = NG_o + G_{\text{п}} + G_{\text{л.с.}}, \quad (4)$$

где G_o – черновая масса отливки, кг; $G_{\text{п}}$ – масса прибылей, кг; $G_{\text{л.с}}$ – масса литниковой системы, кг.

Массу литниковой системы принимают равной 4–10 % от массы отливки.

По данным Г. М. Дубицкого, время заливки должно удовлетворять неравенству [3, с. 129]:

$$\frac{\tau_{\text{опт}}}{1,2} \leq \tau_{\text{зал}} \leq 1,2 \tau_{\text{опт}},$$

где $\tau_{\text{опт}}$ вычисляется по формуле (2).

При выборе уровня подвода сплава необходимо учитывать, что:

- необходимо обеспечить подвод металла в места отливки, разогрев которых будет способствовать усилению направленного затвердевания, т. е. под прибыль в толстостенные части отливки, что особенно важно при изготовлении отливок из сплавов с большой объемной усадкой (сталь, ковкий чугун и т. п.);

- если отливка склонна к образованию внутренних напряжений (арматурные и колесные отливки из чугуна и стали, отливки из ковкого чугуна и др.), то целесообразно осуществлять подвод металла в тонкие части отливки, чтобы уменьшить температурные перепады в её частях. Улучшения условий питания отливки для снижения литейных напряжений при несовместимости с обеспечением направленного затвердевания можно добиваться установкой прибылей, применением холодильников, теплоизолирующих вставок и т. д.;

- расстояние литниковых каналов вблизи границ знаков стержней, поверхности форм и стенок опоки не должно превышать 30–60 мм;

- питатели необходимо размещать так, чтобы движение металла происходило в одну сторону, и было исключено встречное движение струй;

- при изготовлении отливок колесного типа целесообразно подводить металл в ступицу и в обод. При наличии массивной ступицы следует подводить металл только в обод, так как это обеспечивает меньшие литейные напряжения;

- подвод металла к сравнительно тонкостенной отливке необходимо осуществлять в тонкостенные части через большое число питателей, рассредоточенных по её длине;

- осуществление подвода металла в форму при заполнении ее наиболее коротким путем.

Литниковые системы с различными подводами металла в полость под отливку представлены на рис. 19. На чертеже песчаной литниковой формы литниковые системы изображают сплошной тонкой линией.

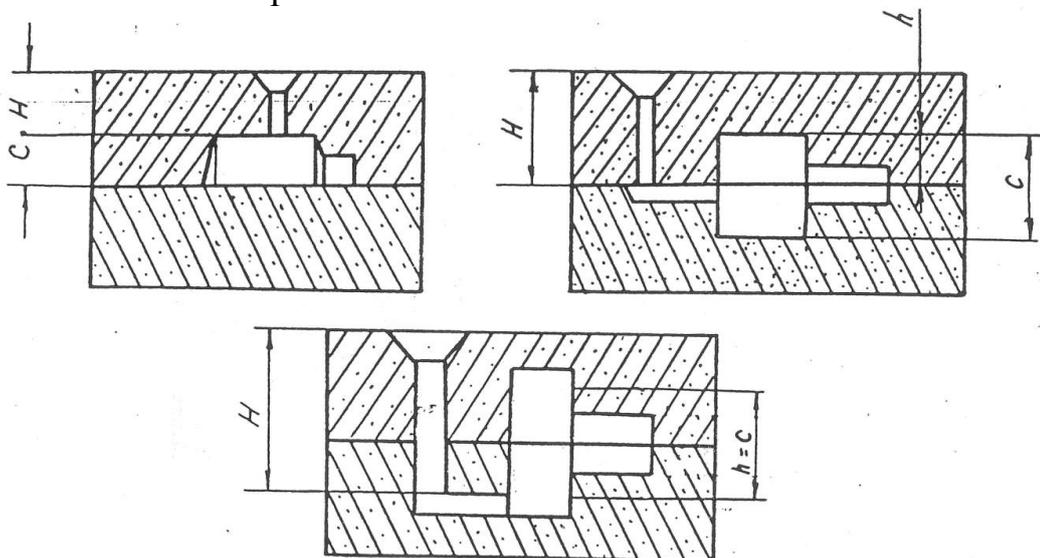


Рисунок 19 – Литниковые системы с верхним, боковым и нижним подводом металла: H – высота стояка от верхнего уровня металла в форме до уровня подвода его в полость под отливку; h – высота отливки над уровнем подвода металла в полость под отливку; C – высота отливки

Расчёт литниковой системы выполняется в следующей последовательности:

1 Расчет оптимальной продолжительности заливки формы по формуле (2), предложенной Г. М. Дубицким.

2 Выбор элемента литниковой системы, являющегося узким местом, и определение действующего в нем гидростатического напора осуществляется в зависимости от типа литниковой системы и склонности заливаемого сплава к вспениванию и окислению. При литье сплавов, не склонных к окислению и вспениванию (чугун, углеродистые и малолегированные стали, большинство медных сплавов), в качестве узкого места чаще всего принимают питатели. Для легкоокисляющихся и вспенивающихся сплавов (алюминиевые и магниевые сплавы, алюминиевые бронзы и латуни, высоколегированные стали) в качестве узкого места выбирают нижнее сечение стояка или шлакоуловитель [3, с. 152]

3 Расчет площади узкого места системы.

Узким местом литниковой системы называется ее элемент, имеющий наименьшую площадь сечения и определяющий расход сплава в системе. При литье из поворотных ковшей площадь узкого места литниковой системы, обеспечивающей заливку формы за оптимальное время, рассчитывают по следующей формуле:

$$F_{уз} = \frac{G_{ж}}{\rho_{ж} \cdot \mu \cdot \tau_{зал} \cdot \sqrt{2g \cdot H_p}} \quad (5)$$

где $G_{ж}$ – масса жидкого металла, кг; $\rho_{ж}$ – плотность жидкого сплава, кг/см³; μ – коэффициент расхода литниковой системы; $\tau_{зал}$ – продолжительность заливки формы, сек; g – ускорение свободного падения, $g = 981$ см/с²; H_p – действующий напор, см.

Площадь нижнего сечения стояка, или суммарная площадь сечений ветвей шлакоуловителя, или суммарная площадь питателей, через которые сплав подводится к полости формы.

У большинства металлов в процессе плавления плотность уменьшается на несколько процентов, так у железа – до 7,02г/см³. Значения коэффициентов расхода приведены в табл. 19–23.

Таблица 19 – Значения коэффициента расхода μ для чугунных и стальных отливок

| Сплав и способ заливки | Сопротивление формы | | |
|------------------------|---------------------|---------|-------|
| | большое | среднее | малое |
| Чугун: | | | |
| Заливка в сырую форму | 0,35 | 0,42 | 0,50 |
| Заливка в сухую форму | 0,41 | 0,48 | 0,70 |
| Сталь: | | | |
| Заливка в сырую форму | 0,25 | 0,32 | 0,42 |
| Заливка в сухую форму | 0,30 | 0,38 | 0,50 |

Таблица 20 – Поправки к значениям коэффициента расхода

| Фактор, влияющий на величину коэффициента | Поправка к значению |
|---|---------------------|
| Повышение температуры заливки на 50 °С | До ± 0,05 |
| Наличие открытых выпоров и прибылей | От + 0,05 до + 0,20 |
| Большое сечение стояка и шлакоуловителя по сравнению с сечением питателей | От + 0,05 до + 0,20 |
| Малая газопроницаемость формы (отсутствие выпоров и прибылей) | До – 0,05 |

Таблица 21 – Значения коэффициента расхода μ для отливок из ковкого чугуна

| Положение узкого места | Значение |
|---|-------------|
| Верхнее сечение стояка | 0,76 ± 0,05 |
| Отверстие фильтровальной сетки, расположенной: над стояком | 0,64 ± 0,10 |
| внизу стояка | 0,55 ± 0,1 |
| Нижнее сечение стояка, шлакоуловителя и шейки прибыли | 0,47 ± 0,10 |

Таблица 22 – Значения коэффициента расхода μ для алюминиевых сплавов

| Положение узкого места и способ заливки | Значение |
|---|-------------|
| Сечение стояка вверху; в подогретые кокили | 0,75 ± 0,10 |
| Сечение стояка внизу; в подогретые кокили | 0,64 ± 0,10 |
| Сечение питателей; в песчаные формы и подогретые кокили | 0,55 ± 0,10 |

Таблица 23 – Значения коэффициента расхода μ для отливок из медных сплавов

| Сплав | Положение узкого места | Значение |
|---------------|--|-----------------|
| БрОЦС 3,5–6-5 | Отверстие фильтровальной сетки под стояком | $0,40 \pm 0,10$ |
| | Нижнее сечение стояка | $0,35 \pm 0,10$ |
| | Питатели | $0,30 \pm 0,10$ |
| ЛатуньЛС59–1Л | Питатели | $0,41 \pm 0,10$ |

Коэффициент расхода определяется потерями напора и давлением металла в форме на выходе из питателей. Увеличение давления в форме приводит к снижению коэффициента расхода, так как уменьшается действующий напор. Давление в полости формы зависит от ее газопроницаемости, наличия выпоров и открытых прибылей, влажности смеси и т. д. Влияние этих факторов на коэффициент расхода отражено в табл. 24. Сопротивление формы считается большим, если в ней имеется большое количество стержней и много резких изменений поперечных сечений стенок отливки.

Таблица 24 – Размеры стопорных и чайниковых разливочных ковшей

| Вместимость Ковша, т | Основные размеры по кожуху ковша, мм | | | Примерная масса ковша с металлом, т |
|-------------------------|--------------------------------------|-------|--------|---|
| | диаметр | | высота | |
| | вверху | внизу | | |
| 0,5 | 750 | 675 | 720 | 1,2 |
| 1,0 | 880 | 800 | 870 | 2,15 |
| 5,0 | 1300 | 1200 | 1360 | 8,5 |
| 10,0 | 1680 | 1510 | 1700 | 16,3 |
| 20,0 | 1950 | 1750 | 2000 | 30,0 |
| 30,0 | 2450 | 2200 | 2330 | 48,0 |
| 50,0 | 2700 | 2430 | 2850 | 85,0 |
| 70,0 | 2850 | 2550 | 3000 | 100,0 |
| 100,0 | 3380 | 2880 | 3225 | 150,0 |

4 Определение площадей элементов литниковой системы осуществляется по эмпирическим соотношениям, зависящим от сплава и положения узкого места системы. Для правильной работы литниковой системы для отливок на основании практического опыта [3, с. 153] рекомендуют следующие соотношения:

из серого чугуна находят соотношения площадей сечений:

$$F_{\text{пит}} : F_{\text{шлак}} : F_{\text{ст}} = 1,0 : 1,1 : 1,5,$$

где $F_{\text{пит}}$ – площадь сечения питателя; $F_{\text{шлак}}$ – площадь сечения шлакоуловителя; $F_{\text{ст}}$ – площадь сечения стояка в основании конуса:

- при заливке высокопрочного чугуна и стали (при литье из поворотных ковшей)

$$F_{\text{пит}} : F_{\text{шл}} : F_{\text{ст}} = 1 : 1,2 : 1,4;$$

- при заливке углеродистой стали из стопорного ковша

$$F_{\text{пит}} : F_{\text{шл}} : F_{\text{ст}} = 1 : 1,15 : 1,3;$$

- при высоком качестве формовочных смесей и применении сифонного огнеупорного припаса для оформления литниковых каналов

$$F_{\text{ПИТ}} : F_{\text{ШЛ}} : F_{\text{СТ}} = 1 : 1 : 1;$$

- при заливке высоколегированной стали

$$F_{\text{ПИТ}} : F_{\text{ШЛ}} : F_{\text{СТ.Н}} = (1,33 \div 2) : (1,33 \div 2) : 1;$$

- при заливке ковкого чугуна

$$F_{\text{ПИТ}} : F_{\text{ШЛ}} : F_{\text{СТ}} = 1 : (1,31 \div 5) : (2 \div 3).$$

К группам I, II, III и IV отнесены отливки высотой соответственно до 150 мм, от 150 до 450 мм, от 450 до 750 мм и свыше 750 мм. С использованием указанных соотношений по известной площади узкого места можно определить площади остальных элементов системы.

5 Конструирование литниковой системы и определение размеров ее элементов.

В табл. 26 приведены значения площади поперечного сечения питателей в зависимости от массы отливки и приблизительной толщины её стенки.

Таблица 26 – Зависимость площади питателей от массы и толщины отливки из серого чугуна (при действительной высоте стояка до 150 мм)

| Примерная масса отливки, кг | Преобладающая толщина станки отливки | | | | | |
|---|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | До 15 | 15–18 | 18–20 | 20–25 | 25–35 | 35–45 |
| Общая площадь поперечного сечения отливки, мм | | | | | | |
| До 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| 0,5–1,0 | 0,8 | 0,8 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,5 |
| 1,0–3,0 | 1,6 | 1,6 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,2 |
| 3,0–5,0 | 2,2 | 2,1 | 2,1 | 2,0 | 1,8 | 1,7 |
| 5,0–7,0 | 2,9 | 2,6 | 2,6 | 2,3 | 2,2 | 2,1 |
| 7,0–9,0 | 3,3 | 3,1 | 3,0 | 2,7 | 2,6 | 2,5 |
| 9,0–10,0 | 3,5 | 3,4 | 3,3 | 3,0 | 2,9 | 2,7 |
| 10,0–15,0 | 4,7 | 4,4 | 4,2 | 3,9 | 3,6 | 3,5 |
| 15,0–20,0 | 5,6 | 5,3 | 5,1 | 4,8 | 4,4 | 4,3 |

Зная площадь сечения питателей или питателя $F_{\text{ПИТ}}$, в зависимости от положения отливки в форме, из соотношения необходимо определить площади сечения шлакоуловителя $F_{\text{ШЛАК}}$ и стояка $F_{\text{СТ}}$ в месте его соединения с шлакоуловителем. Располагая значением площади $F_{\text{СТ}}$, устанавливают его диаметр $D_{\text{СТ}}$, равный верхнему основанию шлакоуловителя $V_{\text{ШКАК.ВЕРХ}}$:

$$D_{\text{СТ}} = V_{\text{ШКАК.ВЕРХ}}. \quad (6)$$

Так как поперечное сечение шлакоуловителей предпочтительно имеют трапецидальную форму, то нижнее основание равно:

$$V_{\text{ШКАК.НИЖН.}} = 1,25 V_{\text{ШКАК.ВЕРХ}}. \quad (7)$$

Высота шлакоуловителя $H_{\text{ШКАК.}}$ определяется из соотношения:

$$H_{\text{ШКАК.}} = \frac{2 F_{\text{ШЛАК.}}}{V_{\text{ШКАК.ВЕРХ}} + V_{\text{ШКАК.НИЖН.}}}. \quad (8)$$

Поперечное сечение питателей может иметь как прямоугольную, так и трапецидальную форму. Высота питателя не должна превышать толщину отливки в месте подвода металла в полость под отливку.

$$V_{\text{ПИТ.ВЕРХ.}} = V_{\text{ШКАК.НИЖН.}}, \quad (9)$$

где $V_{\text{ПИТ.ВЕРХ.}}$ – сторона сечения питателя.

Литниковые чаши и воронки служат для приема жидкого сплава, поступающего из ковша. Конструкция и размеры приемного элемента литниковой системы зависят от массовой скорости заливки и конструкции разливочного ковша. При малых массовых скоростях заливки (до 5 кг/с) применяют воронки, а при больших скоростях (больше 5 кг/с) используют литниковые чаши. Чаша или воронка должны гасить кинетическую энергию падающей из ковша струи и обеспечивать плавное (без завихрений и образования воронок) поступление сплава в стояк.

Стояки, служащие для обеспечения замкнутости системы и удобства формовки. Обычно используют конические, расширяющиеся вверх круглые стояки и размещают их вертикально. Конусность стояка зависит от его высоты (табл. 26).

Таблица 26 – Конусность стояков

| Высота стояка, мм | $d_{ст.в} - d_{ст.н}$, мм | Высота стояка, мм | $d_{ст.в} - d_{ст.н}$, мм |
|-------------------|----------------------------|-------------------|----------------------------|
| 100 | 2 | 900 | 9 |
| 200 | 3 | 1000 | 10 |
| 300 | 4 | 1200 | 12 |
| 400 | 4 | 1400 | 14 |
| 500 | 5 | 1600 | 16 |
| 600 | 6 | 1800 | 18 |
| 700 | 7 | 2000 | 20 |
| 800 | 8 | — | — |

На практике чаще всего применяют шлакоуловители и коллекторы трапецидального поперечного сечения, постоянного по длине канала. Форма сечения приведена на рис. 20.

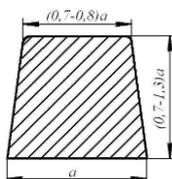


Рисунок 20 – Форма сечения шлакоуловителя

При движении сплава по шлакоуловителю взвешенная частица шлака всплывает вверх. Для обеспечения шлакоулавливания частица шлака должна всплыть в верхней его поверхности, не доходя с потоком сплава до первого питателя.

Питатели выполняют трапецидального поперечного сечения и подводят снизу шлакоуловителя чаще под прямым углом. Сечение питателя по его длине обычно делают одинаковым. Соотношения размеров для трапецидальных питателей: $b = (0,7 - 0,9)a$ $h = (0,1 - 0,5)a$, где a – верхняя сторона трапеции.

Для улавливания шлаковых и других неметаллических включений в литниковых системах часто применяют фильтровальные сетки. На практике

используют керамические и металлические сетки, а также сетки из специальной ткани.

Размеры элементов литниковой системы на чертеже проставляются в сечениях соответствующих элементов литниковой системы. Допускается указывать площадь сечений (рис. 21).

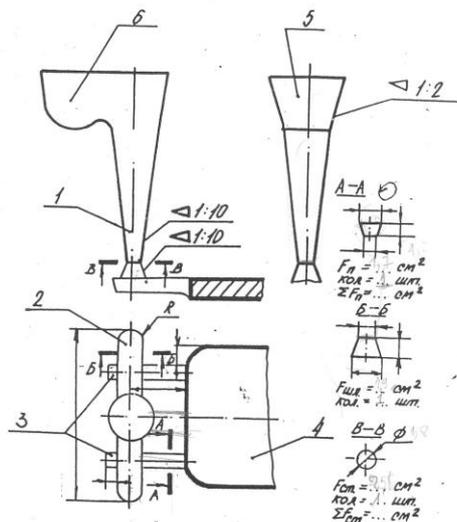


Рисунок 21 – Литниковая система: 1 – стояк; 2 – шлакоуловитель; 3 – питатели; 4 – отливки; 5 – литниковая воронка; 6 – литниковая чаша

Пример расчёта. Рассчитать литниковую систему для отливки «Крышка», приведенной на рис. 17. Исходные данные: сплав сталь 35Л; черновая масса отливки $G_o = 6,8$ кг; преобладающая толщина стенки отливки $\delta = 17$ мм; количество отливок в форме – 4 шт.; высота отливки с прибылями $C = 17$ см; расстояние от плоскости подвода сплава до верхнего уровня полости формы $P = 11$ см; масса прибылей на одну отливку – 4,5 кг.

Рассчитаем массу сплава, залитого в форму, приходящуюся на одну отливку: $G = (476,8 + 4,5 + 0,0776,8) / 4 = 11,5$ кг. Оптимальную продолжительность заливки найдем по формуле (2):

$$T_{\text{опт}} = 1,4 \sqrt[3]{11,5 \cdot 17} = 8,1 \text{ с.}$$

По формуле (4) рассчитаем площадь питателя для одной отливки:

$$F_{\text{П}} = \frac{11500}{7,2 \cdot 0,42 \cdot 0,8 \sqrt{2} \cdot 9,81 \cdot H_p}$$

где $H_p = 20 - 121 / 34 = 16,4$ см.

Тогда $F_{\text{П}} = 2,61$ см². Площадь литникового хода $F_{\text{л.х}} = 1,15$; $2x F_{\text{П}} = 6$ см², так как ветвь литникового хода обслуживает две отливки.

Площадь стояка равна $F_{\text{ст}} = 1,34 \cdot 2,61 = 13,6$ см².

Диаметр стояка внизу $D_{\text{ст}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 13,6}{3,14}} = 4,2$ см.

Задание

По чертежу детали, выданному преподавателем, рассчитать составляющие литниковой системы и вычертить их.

Вопросы для самоконтроля:

1. Какое назначение литниковой системы?
2. Из каких элементов состоит типичная литниковая система?
3. Какие требования предъявляют к литниковой системе?
4. В каком случае шлакоуловитель называется литниковым ходом, а когда – коллектором?
5. Для чего часть стояка выполняется в виде полусферы?
6. Что может приводить к появлению литейных дефектов?
7. Какие факторы влияют на качество заполнения формы сплавом?
8. Как влияет место подвода на выбор оптимальной продолжительности заливки?
9. Почему коэффициент продолжительности горизонтальной заливки меньше чем при вертикальной?
10. Что такое узкое место системы?
11. Как рассчитать оптимальную продолжительность заливки формы?
12. Сформулируйте принципы выбора места подвода сплава к отливке.
13. Что необходимо учитывать при выборе уровня подвода сплава?
14. Какая толщина является преобладающей толщиной стенки?
15. Какова последовательность расчёта размеров литниковой системы?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5. Расчет и проектирование внутренних и наружных холодильников

Цель работы: получение практических умений и навыков расчета и проектирования внутренних и наружных холодильников

Теоретический материал

Использование технологических напусков увеличивает расход металла на отливку и требует дополнительной механической обработки. Для обеспечения направленного затвердевания и устранения термических узлов применяют внутренние и наружные холодильники.

Внутренний холодильник – геометрическое тело из сплава, близкого по своим свойствам к материалу отливки, устанавливаемого в полость формы в области массивного термического узла, для отвода тепла на его нагрев, что ускоряет затвердевание массивного узла отливки. Правильный выбор массы и размеров холодильника обеспечивает плавное увеличение продолжительности затвердевания сечений отливки по направлению к прибыли. На рис. 22 показана схема отливки, содержащей массивный узел, отделенный от прибыли тонкой стенкой (h_v , h_n , h_m – высота верхней, нижней и массивной частей отливки; δ_v , δ_n , δ_m – толщина верхней, нижней и массивной частей отливки). Без холодильника время затвердевания массивного узла t_m больше продолжительности затвердевания расположенной сверху стенки t_v , т. е., что нарушает направленность затвердевания. Установка холодильника обеспечивает уменьшение величины t_m , чтобы выполнялось условие $t_n < t_m < t_v$, где t_n – продолжительность затвердевания нижней части стенки.



Рисунок 22 – Схема установки внутреннего холодильника (X) в массивном узле отливки [3, с. 205]

Для расчета массы холодильника m_x используют уравнение теплового баланса:

$$Q_{\text{охл}} + C_x m_x (T_K - T_0) = C(M - m_x)(T_{\text{зал}} - T_{\text{л}}) + L(M - m_x), \quad (10)$$

где $Q_{\text{охл}}$ – тепло, отведенное от теплового узла в форму за время затвердевания массивного узла; $C_{\text{х}}$ – удельная теплоемкость материала холодильника; C – удельная теплоемкость жидкого сплава; $T_{\text{зал}}$ – температура заливки сплава; $T_{\text{л}}$ – температура ликвидуса сплава; $T_{\text{к}}$ – конечная температура холодильника; L – удельная теплота кристаллизации сплава; M – масса теплового узла отливки; $T_{\text{о}}$ – начальная температура холодильника.

Расплавление холодильника в ходе затвердевания отливки нежелательно, так как при его последующем затвердевании в зоне установки холодильника могут возникать усадочные дефекты. Поэтому можно принять, что $T_{\text{к}} = T_{\text{с}}$, где $T_{\text{с}}$ – температура солидуса материала холодильника.

В первом приближении количество тепла, отводимого в форму, можно рассчитать по формуле:

$$Q_{\text{охл}} = 2b_{\text{ф}}(T_{\text{л}} - T_{\text{о}}) F \sqrt{\frac{t_{\text{м}}}{\pi}},$$

где F – площадь поверхности охлаждения термического узла; $b_{\text{ф}}$ – коэффициент аккумуляции тепла формой.

С учетом этого с помощью выражения (2.10) находим время затвердевания термического узла [3, с. 206]:

$$\sqrt{t_{\text{м}}} = \sqrt{\pi} M \frac{\left(1 - \frac{mx}{M}\right) \cdot [C(T_{\text{зал}} - T_{\text{л}}) + L] - \frac{mx}{M} \cdot C_{\text{х}}(T_{\text{с}} - T_{\text{о}})}{2b_{\text{ф}}(T_{\text{л}} - T_{\text{с}}) \cdot S}. \quad (11)$$

Для выполнения условия $t_{\text{н}} < t_{\text{м}} < t_{\text{в}}$, или $\sqrt{t_{\text{н}}} < \sqrt{t_{\text{м}}} < \sqrt{t_{\text{в}}}$, необходимо выполнение условия

$$A < \frac{mx}{M} < B, \quad (12)$$

$$\text{где } A = \frac{1 - R_{\text{в}} / R_{\text{н}}}{\frac{C_{\text{х}}(T_{\text{с}} - T_{\text{л}})}{C(T_{\text{зал}} + T_{\text{л}}) + L} + 1}; \quad B = \frac{1 - R_{\text{н}} / R_{\text{в}}}{\frac{C_{\text{х}}(T_{\text{с}} - T_{\text{о}})}{C(T_{\text{зал}} + T_{\text{л}}) + L} + 1},$$

здесь $R_{\text{м}} = V_{\text{м}} / S$, $R_{\text{в}} = V_{\text{в}} / S_{\text{в}}$, $R_{\text{н}} = V_{\text{н}} / S_{\text{н}}$ – приведенные толщины стенок термического узла отливки, ее верхней и нижней частей; $V_{\text{м}}$, $V_{\text{в}}$ и $V_{\text{н}}$ – объемы термического узла отливки, ее верхней и нижней частей; $S_{\text{в}}$ и $S_{\text{н}}$ – площади поверхностей охлаждения верхней и нижней стенок отливки.

При выводе неравенства (12) принято, что значения времени затвердевания элементов отливки равны $t_{\text{м}} = (R_{\text{м}}/K_{\text{з}})^2$, $t_{\text{в}} = (R_{\text{в}}/K_{\text{з}})^2$, $t_{\text{н}} = (R_{\text{н}}/K_{\text{з}})^2$, где $K_{\text{з}}$ – константа затвердевания,

$$K_{\text{з}} = 2 \frac{b_{\text{ф}}(T_{\text{л}} - T_{\text{о}})}{\sqrt{\pi} \cdot [(T_{\text{зал}} - T_{\text{о}}) \cdot C + L] \rho};$$

ρ – плотность сплава.

Если принцип направленности затвердевания в конструкции отливки учесть, т. е. $R_n < R_m < R_b$, то $A < 0$ и неравенство (12) будет выполнено при отсутствии холодильника ($m_x = 0$).

Внутренний холодильник может обеспечить направленное затвердевание отливки, если $R_b > R_n$. В противном случае, ни при каких значениях m_x неравенство (12) выполнить не получится. Для выполнения нужно, перевернув отливку при заливке или применив для оформления нижней стенки отливки смесь с большим значением $b\phi$. Если тепловой узел расположен в нижнем сечении отливки, т. е. нижняя стенка отсутствует, то $A = m_x / M$.

Уравнение (10) верно, если к моменту затвердевания между сплавом и холодильником устанавливается тепловое равновесие при температуре, равной T_c . Если холодильник массивный и его относительная масса m_x/M велика, то после затвердевания сплава прогрев холодильника будет продолжаться, что приведет к возникновению трещин и к несвариваемости холодильника с материалом отливки. Если же величина m_x/M мала или толщина холодильника невелика, то он расплавится, что может привести к образованию пористости и усадочных раковин. Поэтому при конструировании внутренних холодильников нужно соблюдать следующие условия [3, с. 207]:

- относительная масса холодильников при стальном литье не должна превышать 0,04–0,07. Если при такой массе холодильников не удастся обеспечить направленное затвердевание, то необходимо применить другие методы;

- для предотвращения несвариваемости холодильники должны находиться от поверхности формы на расстоянии, равном 4–5 их диаметрам;

- для улучшения свариваемости необходимо применять холодильники из стали, имеющей такую же температуру плавления, что и заливаемый металл. Чаще всего используют холодильники из углеродистых сталей с содержанием углерода до 0,25 % (стали Ст.2 и Ст.3);

- холодильники не должны иметь следов оксидов на поверхности (дробеструйная обработка);

- максимальный диаметр или сторона квадрата холодильника не должны превышать 0,25 толщины стенки отливки;

- во избежание их окисления холодильники устанавливаются в форму после сушки;

- сырые формы с внутренними холодильниками заливают не позже 8–10 ч после сборки.

Применяют на практике холодильники в виде скоб, костылей, решеток, ежей и спиралей, схемы установки которых в форме приведены на рис. 23. Основные размеры и общий вид холодильников (ежей, решеток и спиралей) показаны на рис. 24. Холодильники в виде ежей и сварных решеток применяются в стенках отливок, толщина которых превышает 80 мм

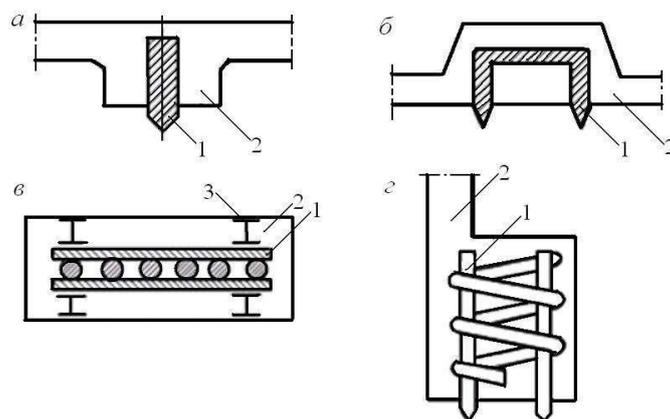


Рисунок 23 – Схема установки холодильников в тепловых узлах отливок [3, с.208]: а – в виде костылей; б – скоб; в – решеток; г – спиралей; 1 – холодильник; 2 – тепловой узел; 3 – жеребейка

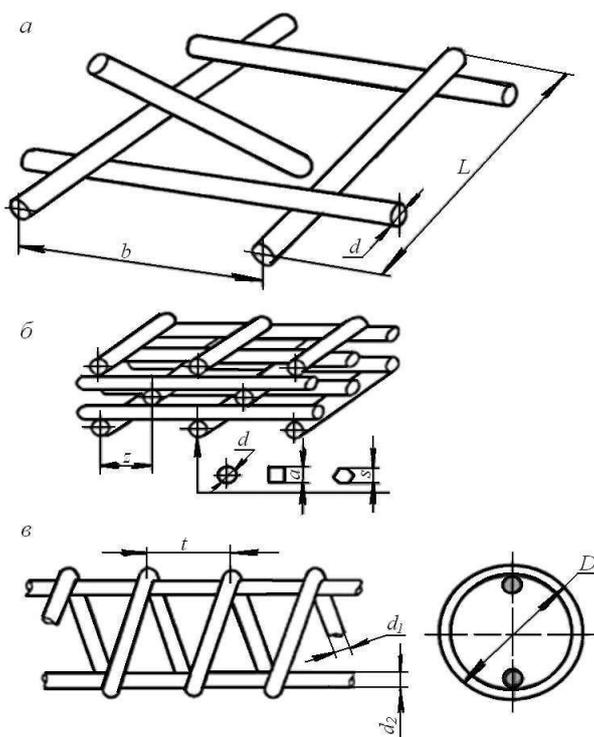


Рисунок 24 – Размеры и форма внутренних холодильников [3 с. 209]: а – ежей; б – сварных решеток; в – спиралей

Протяженные отливки с равномерным сечением тела охлаждаются внутренними холодильниками: костылями или скобами. Параметры холодильников различных типов приведены в табл. 27–28. Диаметр холодильников типа костылей и скоб принимается равным $0,2 D_{в}$, где $D_{в}$ – диаметр вписанной в термический узел окружности. Скобы, костыли и спирали укрепляются в стенках формы (заостренные концы забиваются в форму). Холодильники в виде многоярусных решеток устанавливаются в форму на жеребейках на расстоянии не ближе трех диаметров прутков от поверхности

формы (рис. 24, в). Холодильники-ежи устанавливаются в форму так, чтобы с её стенкой они соприкасались только торцевой частью прутков.

Таблица 27 – Размеры и масса холодильников типа ежей [3, с. 210]

| Длина l , мм | Ширина b , мм | Диаметр d , мм | Масса 1 шт., кг |
|----------------|-----------------|------------------|-----------------|
| 80 | 30 | 6,5 | 0,1 |
| 100 | 40 | 10 | 0,31 |
| 100 | 40 | 12 | 0,45 |
| 150 | 50 | 16 | 1,17 |
| 200 | 80 | 18 | 2,0 |
| 250 | 100 | 28 | 6,0 |

Таблица 28 – Размеры и масса сварных холодильников различной формы сечения [3, с. 210]

| d , мм | a , мм | s , мм | z , мм, при | | | Мпр, кг | | |
|----------|----------|----------|---------------|---------|---------|-----------|------|------|
| | | | d | A | s | D | a | S |
| 8–10 | 12 | 17 | 40–50 | 70–80 | 80–90 | 0,37–0,6 | 1,13 | 1,96 |
| 12–14 | 16 | 19 | 60–70 | 90–100 | 90–100 | 0,98–1,35 | 2,01 | 2,45 |
| 16–18 | 20 | 24 | 80–90 | 120–130 | 120–130 | 1,39–1,90 | 3,14 | 3,92 |
| 20–22 | 30 | 30 | 100–110 | 180–190 | 150–160 | 2,44–3,12 | 7,06 | 6,12 |
| 28–30 | – | – | 140–150 | – | – | 4,64 | – | 5,49 |
| 32 | – | – | 160– | – | – | 6,48 | – | – |
| 36 | – | – | 180 | – | – | 7,53 | – | – |

Таблица 29 – Размеры и масса спиральных холодильников [3, с. 210]

| D , мм | d_1 , мм | d_2 , мм | t , мм | Масса погонного метра спирали M_c , кг при шаге t , мм | | | | | Мпр, кг |
|----------|------------|------------|----------|---|-------|-------|-------|-------|------------|
| | | | | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | |
| 24 | 2 | – | 10–15 | 0,181 | 0,121 | – | – | – | – |
| 26 | 3 | – | 10–15 | 0,45 | 0,159 | – | – | – | – |
| 36 | 3 | – | 15–20 | – | 0,407 | 0,305 | – | – | – |
| 38 | 4 | – | 15–20 | – | 0,796 | 0,580 | – | – | – |
| 48 | 4 | 6 | 20–25 | – | – | 0,732 | 0,586 | – | 0,22 |
| 50 | 5 | 6 | 20–25 | – | – | 1,193 | 0,955 | – | 0,22 |
| 52 | 6 | 8 | 20–25 | – | – | 1,800 | 1,440 | – | 0,39 |
| 60 | 5 | 8 | 25–30 | – | – | – | 1,150 | 0,960 | 0,39 |
| 62 | 6 | 10 | 25–30 | – | – | – | 1,730 | 1,426 | 0,60 |
| 70 | 5 | 10 | 25–30 | – | – | – | 1,338 | 1,114 | 0,60 |

Примечание. Мпр – масса погонного метра прутка.

Внутренние холодильники нецелесообразно применять при изготовлении отливок из хромоникелевых, хромомолибденовых сталей, легкоокисляющихся сплавов (например, из алюминиевых и магниевых), а также отливок ответственного назначения.

Наружным холодильником называется элемент формы, выполненный из материала с большим коэффициентом аккумуляции тепла, чем у основного, и применяемый для ускорения затвердевания тепловых узлов отливки. На рис. 25. показаны схемы расположения наружных холодильников в термических узлах отливки. Холодильники обычно выполняют из чугуна или медных сплавов. Захлаживающий эффект холодильника зависит от его массы, коэффициента аккумуляции тепла. Толщина или диаметр холодильника зависят от толщины или диаметра захлаживающего узла отливки. Размеры наружных холодильников приведены в табл. 30.

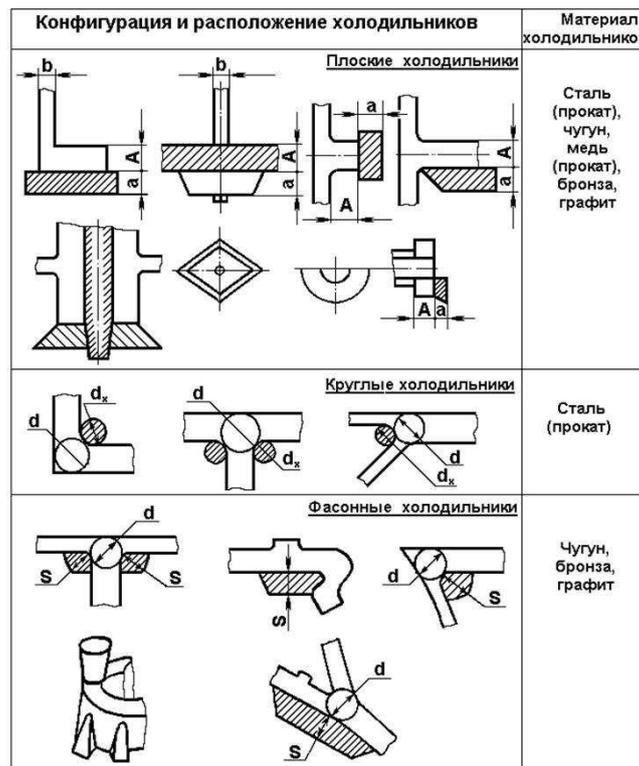


Рисунок 25 – Схемы применения плоских, круглых и фасонных наружных холодильников

Таблица 30 – Размеры наружных холодильников, мм [3, с. 212]

| Толщина A или диаметр d захлаживаемого узла, мм | Материал холодильника | | | | | |
|---|-----------------------|---------|-----------------|-----------------|---------|-----------------|
| | Чугун (сталь) | | | Бронза (медь) | | |
| | a | dx | S | a | dx | S |
| 15 – 30 | $(0,7 - 1,20)A$ | 9 – 25 | $(0,8 - 1,00)d$ | $(0,8 - 1,00)A$ | 9 – 20 | $(0,8 - 1,00)d$ |
| 30 – 50 | $(0,7 - 1,25)A$ | 25 – 40 | $(0,8 - 1,25)d$ | $0,8 - 1,25)A$ | 20 – 30 | $0,8 - 1,25)d$ |
| 50 – 70 | $(0,9 - 1,25)A$ | 40 – 60 | $(0,9 - 1,25)d$ | $(0,9 - 1,25)A$ | 30 – 50 | $1,0 - 1,25)d$ |

Самой удачной формой плоского холодильника является трапеция, в которой, чем ближе к краям, тем больше снижается его захлаживающее действие, что не вызывает резких перепадов температуры в отливке в местах

сопряжения краев холодильника с песчаной формой. Зависящую от толщины основной стенки отливки b и высоты утолщения стенки в термическом узле ($A-b$), толщину плоских холодильников для стальных отливок (рис. 25) можно определить по табл. 31.

Таблица 31 – Толщина плоских холодильников для стальных отливок [3, с. 212]

| Толщина основной стенки b , мм | Толщина холодильника, мм, при высоте утолщения, % от толщины основной стенки | | |
|----------------------------------|--|------|----|
| | 25 | 37,5 | 50 |
| 10 | 3 | 8 | 15 |
| 20 | 5 | 15 | 30 |
| 30 | 8 | 23 | 45 |
| 40 | 10 | 30 | 60 |
| 50 | 13 | 38 | 75 |

Толщину плоских и фасонных, а также диаметр круглых холодильников для цветных сплавов можно определять по соотношениям

$$a = (0,6-1,25) by, bx = (0,6-1,25) Dy, dx = (0,6-1,25) Dy,$$

где by и dy – толщина и диаметр захлаживаемого узла отливки.

При определении размеров холодильника необходимо иметь данные об оптимальном соотношении толщин холодильника и стенок отливки. Толщину холодильника принимают, в зависимости от его влияния на процесс охлаждения отливки в форме, который продолжается до полного затвердевания соприкасающейся с ним стенки отливки. С другой стороны, холодильник должен обладать достаточной массой, чтобы при дальнейшем охлаждении отливки не нагреваться до температуры, при которой возможно приваривание его к стенке отливки. Толщина холодильника принимается равной $0,5...0,6$ толщины стенки отливки вместе с утолщением, т. е. $(A + \delta_0)$ (рис. 26, а).

Протяженность холодильника B (рис. 26, а), может быть принята на основании данных табл. 32. Для фланцев (рис. 26, б) толщина холодильника X и его протяженность B выбираются по табл. 33 (h – высота фланца).

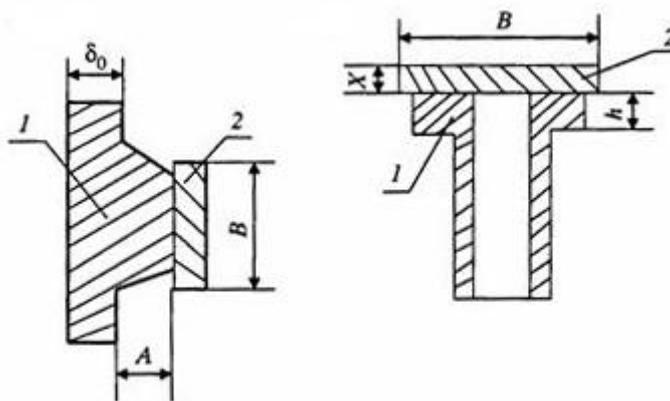


Рисунок 26 – Схема для выбора протяженности наружного холодильника:

a – отливка; b – холодильник

Таблица 32 – Выбор параметров наружного холодильника [3, с. 213]

| Показатель | Значение | | | | | |
|--------------|----------|------|------|------|------|------|
| V/δ_0 | 1,2 | 1,5 | 2,0 | 3,0 | 4,0 | 5,0 |
| A/δ_0 | 1,4 | 0,85 | 0,64 | 0,55 | 0,45 | 0,42 |

Таблица 33 – Выбор параметров холодильника при установке его на фланцах отливки [3, с.213]

| Показатель | Значение | | | | | |
|------------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|
| V/h | 1,5 | 1,6 | 1,8 | 2,0 | 2,5 | 3,0 |
| X/h | 2,6 | 2,4 | 2,2 | 2,0 | 1,8 | 1,7 |

Наружные холодильники можно считать средством уменьшения приведенной толщины стенки отливки по сравнению с условиями охлаждения последней в обычной песчаной форме, допуская, что в период затвердевания отливки действие металлического холодильника в 2 раза интенсивнее охлаждающей способности песчаной формы. Приведенная толщина стенки отливки R_0 объемом V_0 , соприкасающейся с поверхностью холодильника, может быть определена по формуле:

$$R_0 = \frac{V_0}{F_{\phi} + 2F_x}, \quad (13)$$

где F_{ϕ} и F_x – площади поверхности стенки отливки, соприкасающейся с поверхностью песчаной формы, и наружного холодильника соответственно.

Площадь охлаждаемой поверхности утолщенных частей отливки, расположенных ниже питаемой стенки (фланцы, приливы и т. д.), т. е. площадь самого холодильника, рассчитывается по формуле

$$F_x = \frac{V_0 + R_0 \cdot F_{\phi}}{2R_0}. \quad (14)$$

Приведенная толщина стенки отливки R_0 может быть определена для плоских отливок как отношение площади поверхности стенки к ее периметру, для объемных отливок – как отношение объема к площади поверхности. При расчете толщина стенки со стороны холодильника может быть увеличена по сравнению с расчетной примерно в 1,1 раза. В табл. 31 приведены данные для выбора толщины плоских холодильников стальных отливок.

Перед установкой наружных холодильников в форму их подвергают дробеструйной очистке и покрывают кокильной краской.

Для обеспечения направленного затвердевания отливок применяют захлаживающие (для массивных узлов) и теплоизолирующие (для тонкостенных элементов) смеси. Для захлаживания используют смеси, содержащие чугунную стружку или дробь, магнезитовые и хромомagneзитовые облицовки. В качестве теплоизолирующих применяют смеси с древесными опилками, асбестовой или шамотной крошкой.

Задание

По чертежу детали, выданному преподавателем, определите массу внутренних холодильников для термических узлов отливок, их тип и размеры их элементов

Вопросы для самоконтроля:

1. Для каких целей применяют холодильники?
2. Условия применения внутренних холодильников?
3. Какие требования предъявляются к внутренним холодильникам?
4. Проанализируйте формулу для расчета массы внутренних холодильников.
5. Опишите конструктивные типы внутренних холодильников и способы их установки в форме.
6. Что называется наружным холодильником?
7. Как определить толщину наружных холодильников для термических узлов?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 6. Проектирование стержней литейной формы

Цель работы: получение практических умений и навыков конструирования стержней для выполнения отверстий в отливке.

Теоретический материал

Для получения отверстий в отливках применяются стержни. Песчаные стержни классифицируют по степени сложности, а также по массе, объему и способу упрочнения. В зависимости от степени сложности стержни делят на пять классов.

По степени сложности песчаные стержни делятся на пять классов. К классу I (рис. 27, а) относятся массивные крупногабаритные стержни, применяемые для получения внутренних и наружных поверхностей, которые должны обладать высокой податливостью, иногда они выполняются пустотелыми. Класс II (рис. 27, б) составляют стержни среднего объема, имеющие несложную форму и стержневые знаки относительно большого сечения, которые применяют для получения внутренних и внешних обрабатываемых и необрабатываемых поверхностей, к шероховатости которых не предъявляют повышенных требований. В класс III (рис. 27, в) входят центровые стержни сложной и средней конфигурации с наличием тонких выступов, переходов с развитыми знаковыми частями, которые образуют в отливке обрабатываемые и необрабатываемые поверхности и должны иметь высокую сухую прочность. К классу IV (рис. 27, г) относятся стержни, образующие внутренние и наружные поверхности отливок средней и несложной формы, которые используются для получения необрабатываемых ответственных поверхностей. Такие стержни должны иметь высокую сырую прочность. К классу V относятся наиболее сложные, ажурные тонкостенные стержни, соприкасающиеся с расплавом большой площадью и образующие в отливках узкие полости (рис. 27, д), которые должны иметь высокую сухую прочность, огнеупорность, газопроницаемость, малую газотворность, и при этом легко разрушаться и извлекаться из полости отливки. Стержни первого класса применяются в основном для образования необрабатываемых внутренних полостей.

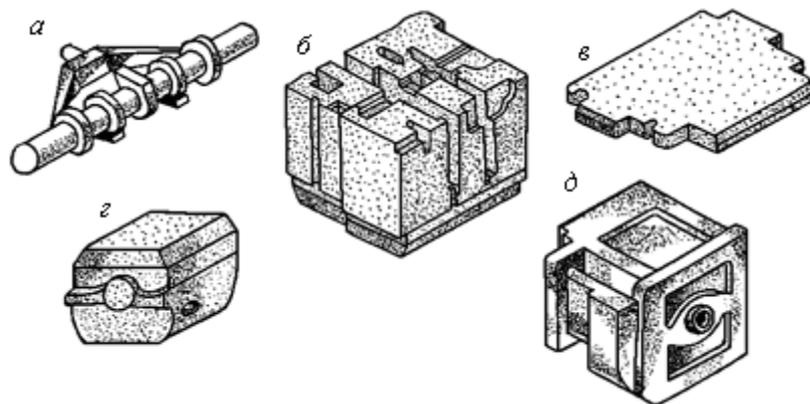


Рис. 27. Примеры стержней различных классов сложности [3, с. 94]:

а – I; б – II; в – III; г – IV; д – V

Каждой группе стержней соответствуют определенные габаритные размеры стержневых ящиков [3, с.93]: от 200×160×100 до 630×400×400 мм (для мелких стержней); от 630×400×400 до 1600×1000×600 мм (для средних стержней); свыше 1600×1000×600 мм (для крупных стержней).

Классификация стержней по массе, объему и способу упрочнения приведена в табл. 7 [6].

Таблица 34 – Классификация стержней [3, с. 94]

| Группа стержней | Характеристика стержней |
|---------------------|--|
| Масса и объем | |
| Мелкие | < 8 кг, 5 дм ³ |
| Средние | 100 кг, 75 дм ³ |
| Крупные | > 100 кг, > 75 дм ³ |
| Способ упрочнения | |
| Сырые | Не подвергаются сушке |
| Сырые | Не подвергаются сушке |
| Холодного твердения | Твердеют за счет химического взаимодействия компонентов смеси при продувке СО ₂ или самопроизвольно |
| Горячего твердения | Твердеют за счет тепла стержневого ящика и применения лакированных смесей |

В зависимости от назначения стержни делят на центровые, наружные, литниковые, подкладочные и вспомогательные [21]. Центровые стержни предназначены для оформления в отливках внутренних полостей, углублений и отверстий. Наружные стержни оформляют на отливках впадины, бобышки, приливы, т. е. наружные поверхности отливок. Наружные стержни упрощают модели и облегчают изготовление форм. Литниковые стержни оформляют в форме элементы литниковых систем, выпоров, фильтровальных сеток, прибылей и т. п. Подкладочные стержни предназначены для упрочнения формы в местах, испытывающих большое гидростатическое длительное давление расплавленного металла, воздействию струи жидкого металла, заполняющего форму и давление со стороны стержней. Вспомогательные стержни предназначены для заделки каркасов, отверстий в полых стержнях, выходных отверстий вентиляционных каналов, а не для оформлением внешних и внутренних поверхностей отливок.

По конструктивным особенностям различают неразъемные, сборные, объемные, облегченные и оболочковые стержни. Неразъемные стержни изготавливают в одном ящике и устанавливают в форму без штифтов или других дополнительных устройств. Сборные стержни получают путем соединения нескольких отдельно изготовленных стержней. Оболочковые стержни имеют внутренние открытые полости, толщина стенок которых составляет 6–12 мм. Примеры различных типов стержней приведены на рис. 28

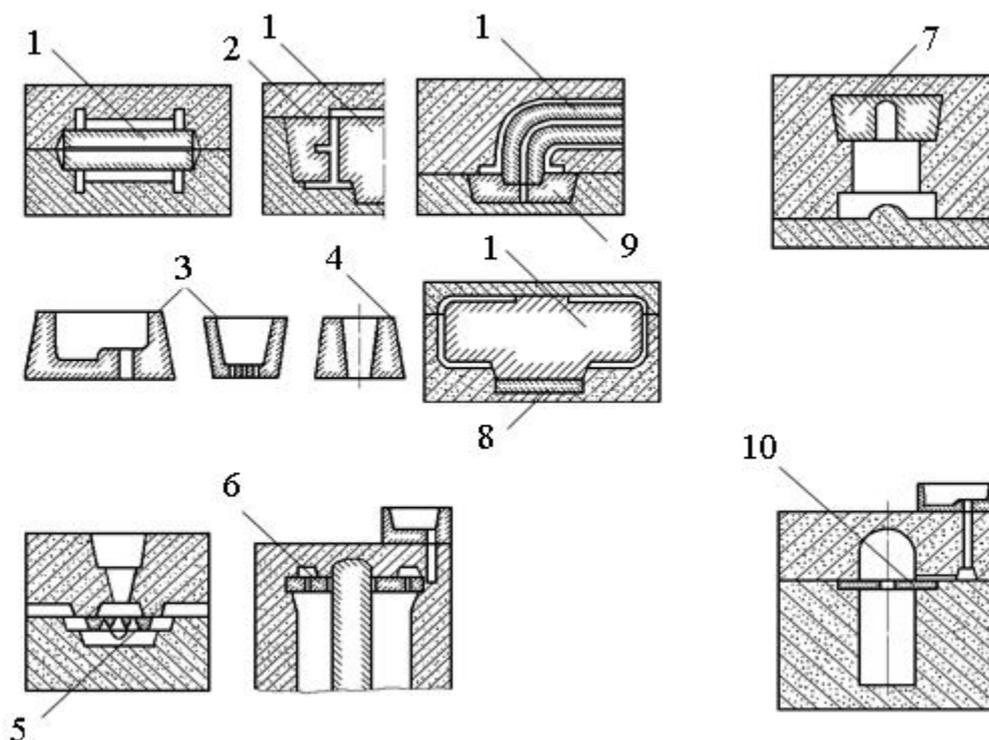


Рисунок 28 – Типы стержней [3, с. 95]:

1 – центральной стержень; 2 – наружный стержень; 3 – литниковая чаша; 4 – выпорная чаша; 5 – фильтровальная сетка; 6 – стержень, выполняющий питатели; 7 – стержень, выполняющий прибыли; 8 – подкладочный стержень; 9 – стержень для заделки выхода в вентиляционных каналах; 10 – стержень для образования легко отделяемых прибылей

Средние и крупные стержни из песчано-глинистых смесей армируются и носят название армированных стержней.

Классификации подлежат технологические процессы изготовления стержней, так как технологические процессы отличаются применяемыми исходными материалами и стержневыми смесями, числом разнообразных технологических операций, их трудоемкостью и временем выполнения, методами упрочнения смесей, возможностью механизации и автоматизации, качеством получаемых стержней и др.

По технологическому процессу изготовления стержни подразделяют на две основные группы: 1) стержни, отверждаемые вне оснастки, обычно путём тепловой сушки; 2) стержни, отверждаемые непосредственно в оснастке за счёт химического или физико-химического упрочнения.

Стержни устанавливают в форму в соответствии с технологическим процессом сборки по номеру стержня. При изготовлении тонкостенных сложных отливок (блок цилиндров автомобиля) для обеспечения и ускорения точной сборки стержни предварительно собирают в блоки с помощью шаблонов и кондукторов, а затем в собранном виде устанавливают в форму.

Устойчивое положение стержней в форме обеспечивается знаками – элементами модели, предназначенными для образования полостей формы («знаковые гнёзда»), установки и фиксации знаковых частей стержня. В ряде

случаев используют специальные металлические подставки – жеребейки – металлические опоры для установки песчаных стержней в литейной форме для поддержки их во время заливки металла.

В зависимости от положения стержня в форме стержневые знаки подразделяют на горизонтальные и вертикальные.

Устойчиво крепятся в форме стержни, которые устанавливаются в нижнюю полуформу и имеют два или более знака. В случае необходимости установки стержня в верхней полуформе пользуются крепежными металлическими шпильками, металлическими пластинами, болтами или мягкими привязочными средствами, удерживающими стержень в верхней полуформе за его знаковую часть.

При отсутствии верхнего знака для предотвращения всплывания стержня в форме при заполнении её жидким металлом, нижний знак стержня имеет специальную конструкцию и закрепляется металлическими шпильками. При недостаточной надёжности крепления стержня между верхней его частью и верхней полуформой устанавливается жеребейка. Правильность установки стержней проверяют контрольными шаблонами до сборки нижней и верхней полуформ.

Точность и надёжность фиксирования стержня зависят от двух конструктивных параметров знака: формы и размеров. От формы нижнего знака зависит возможность установки стержня в полуформу в определенном положении, а от величины знака и соответствия его размеров размерам знакового гнезда формы – точность и надёжность фиксирования стержня в определенном положении.

Размеры и конфигурацию знаковых частей стержней назначают по ГОСТ 3212–92 с учетом размеров стержня, способа формовки и положения стержня в форме (рис. 29). На рисунке цифры I и II обозначают различное исполнение знаков стержней. Высоту нижних стержневых вертикальных знаков h_n (рис. 29, а, б) выбирают по табл. 35 в зависимости от длины стержня L и его диаметра D или от величины $(a+b)/2$ для стержней прямоугольного сечения. Высоту верхних знаков h_v принимают равной не более $0,5 h_n$.

При серийном и массовом производстве можно принять $h_v = h_n$. При $L / D \geq 5$ или $2L / (a+b) \geq 5$ рекомендуется принимать нижние знаки увеличенных размеров (см. рис. 29, б).

Длину l горизонтальных знаков выбирают по табл. 36 в зависимости от L , D или величины $(a+b)/2$ и способа твердения стержня. Формовочные уклоны знаковых частей стержня определяют по табл. 37. Зазоры между знаками формы и стержня в соответствии с ГОСТ 3212–92 следует принимать по табл. 38.

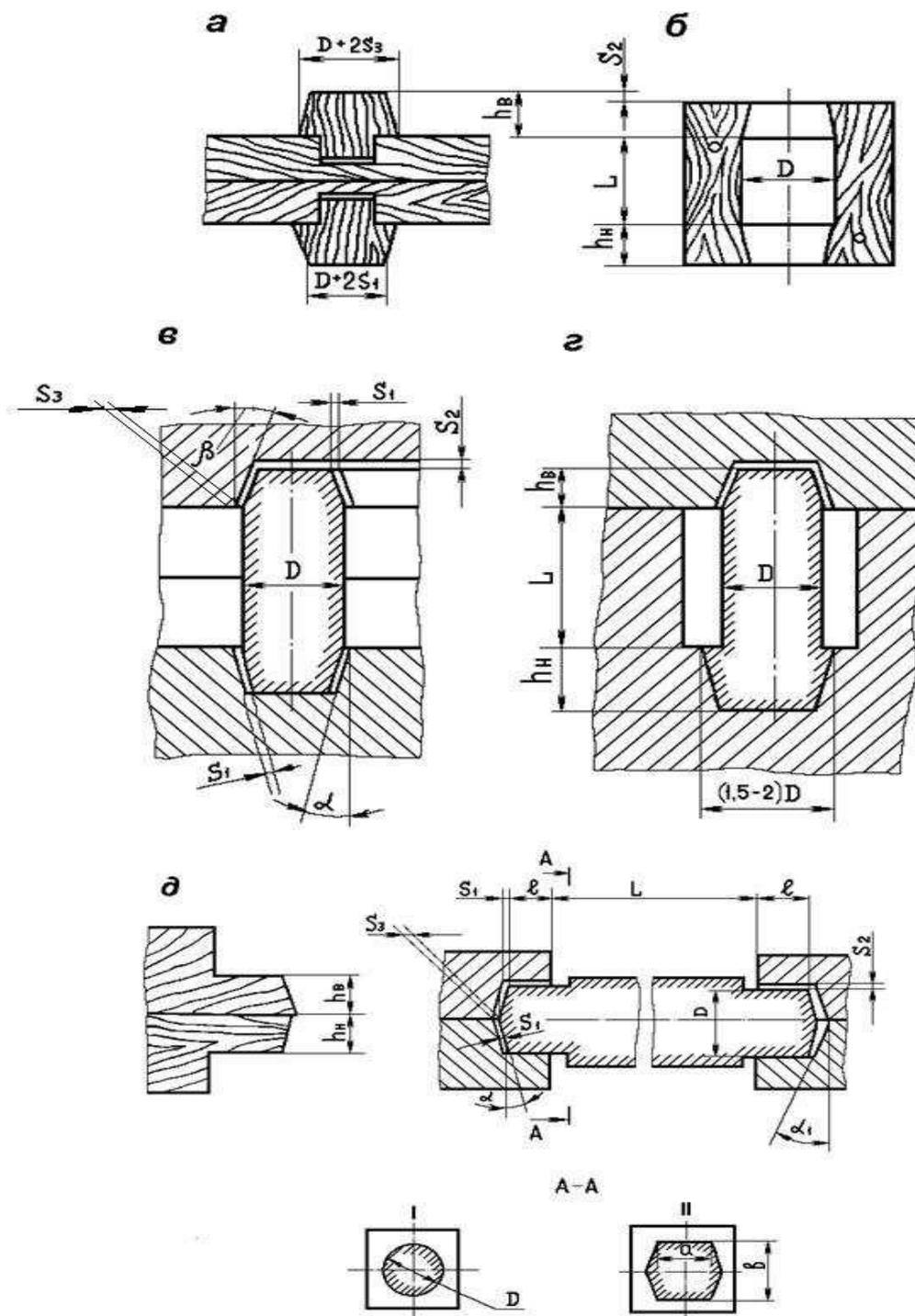


Рисунок 29 – Размеры и форма вертикальных и горизонтальных стержневых знаков [3]: а – знаковые части модели; б – знаковые части стержневого ящика; в, г и д – зазоры в форме для вертикальных и горизонтальных знаков стержней

Таблица 35 – Высота нижних вертикальных знаков h_n для всех видов смесей по ГОСТ 3212–92

| Размер стержня $(a+b)/2$ или D , мм | Высота знака h_n , не более, при высоте стержня H , мм | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|--|-------|--------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|--------------|
| | До 40 | 40–63 | 63–100 | 100–160 | 160–250 | 250–400 | 400–630 | 630–1000 | 1000–1600 | св.1000–1600 |
| До 25 | 20 | 30 | 30 | 30 | - | - | - | - | - | - |
| Св. 25–40 | | | | | 50 | 60 | - | - | - | - |
| 40–63 | 25 | 35 | 35 | 35 | 40 | 50 | 80 | 110 | 130 | 180 |
| 63–100 | | | | | 40 | | 70 | 100 | 130 | |
| 100–160 | 30 | 35 | 35 | 35 | 40 | 40 | 60 | 80 | 120 | 180 |
| 160–250 | | | | | 40 | | | | | |
| 250–400 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 50 | 70 | 100 | 130 |
| 400–630 | | | | | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 50 |
| 630–1000 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 70 | 110 | 150 |
| 1000–1600 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 100 | 130 |
| 1600–2500 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 110 |
| Св. 2500 | 110 | 110 | 110 | 110 | 110 | 110 | 110 | 110 | 110 | 110 |

Таблица 36 – Длина l горизонтальных стержневых знаков по ГОСТ 3212–92

| Размер стержня $(a+b)/2$ или D , мм | Тип формы | Длина знака l , мм, не более, при длине стержня L , мм | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-----------|--|-----------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|---------------|---------------|---------------|----------|
| | | до 40 | св. 40–63 | св. 63–100 | св. 100–160 | св. 160–250 | св. 250–400 | св. 400–630 | св. 630–1000 | св. 1000–1600 | св. 1600–2500 | св. 2500–4000 | св. 4000 |
| До 20 | I | 20 | 25 | 30 | 35 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | II | 15 | 25 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | III | 10 | 16 | 20 | 25 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Св. 25–40 | I | 20 | 25 | 30 | 35 | 45 | 50 | - | - | - | - | - | - |
| | II | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | - | - | - | - | - | - | - |
| | III | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | - | - | - | - | - | - |
| Св. 40–63 | I | 20 | 25 | 30 | 40 | 50 | 55 | 60 | 70 | - | - | - | - |
| | II | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 50 | - | - | - | - | - | - |
| | III | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | - | - | - | - | - |
| Св. 63–100 | I | 20 | 25 | 35 | 45 | 55 | 60 | 70 | 80 | - | - | - | - |
| | II | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | - | - | - | - |
| | III | 15 | 20 | 30 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | - | - | - | - |
| Св. 100–160 | I | 35 | 40 | 35 | 50 | 60 | 75 | 95 | 115 | 130 | - | - | - |
| | II | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 55 | 65 | - | - | - | - | - |
| | III | 15 | 20 | 30 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | - | - | - | - |
| Св. 160–250 | I | 35 | 40 | 40 | 50 | 65 | 80 | 100 | 125 | 145 | - | - | - |
| | II | 30 | 35 | 40 | 50 | 60 | 70 | 75 | - | - | - | - | - |
| | III | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | - | - | - | - |

| Размер стержня $(a+b)/2$ или D , мм | Тип формы | Длина знака l , мм, не более, при длине стержня L , мм | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-----------|--|-----------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|---------------|---------------|--------------|----------|
| | | до 40 | св. 40–63 | св. 63–100 | св. 100–160 | св. 160–250 | св. 250–400 | св. 400–630 | св. 630–1000 | св. 1000–1600 | св. 1600–2500 | в. 2500–4000 | св. 4000 |
| Св. 250–400 | I | 40 | 40 | 45 | 60 | 75 | 85 | 110 | 140 | 160 | 180 | – | – |
| | II | 35 | 40 | 45 | 50 | 60 | 70 | 75 | 90 | – | – | – | – |
| | III | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 70 | – | – | – |
| Св. 400–630 | I | 40 | 40 | 45 | 65 | 85 | 100 | 130 | 160 | 180 | 220 | – | – |
| | II | – | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 75 | 90 | 110 | 120 | 130 | – |
| | III | – | – | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 70 | 90 | 100 | 120 | – |
| Св. 630–1000 | I | – | – | – | – | – | 115 | 150 | 180 | 210 | 260 | – | – |
| | II | – | – | 55 | 60 | 65 | 70 | 80 | 100 | 130 | 150 | 160 | 170 |
| | III | – | – | 40 | 45 | 50 | 60 | 65 | 80 | 105 | 130 | 145 | 160 |
| Св. 1000–1600 | I | – | – | – | – | – | – | – | 200 | 245 | 300 | – | – |
| | II | – | – | – | 65 | 70 | 80 | 90 | 120 | 150 | 180 | 200 | 220 |
| | III | – | – | 40 | 45 | 55 | 65 | 75 | 90 | 110 | 150 | 165 | 185 |
| Св. 1600–2500 | I | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| | II | – | – | – | – | 75 | 90 | 100 | 130 | 170 | 210 | 240 | 270 |
| | III | – | – | – | 50 | 60 | 70 | 80 | 95 | 135 | 165 | 185 | 205 |
| Св. 2500–4000 | I | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| | II | – | – | – | – | – | 95 | 120 | 145 | 180 | 220 | 250 | 300 |
| | III | – | – | – | – | – | 75 | 85 | 105 | 140 | 180 | 210 | 230 |
| Св. 4000 | I | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| | II | – | – | – | – | – | – | 125 | 150 | 190 | 230 | 270 | 320 |
| | III | – | – | – | – | – | – | 95 | 110 | 140 | 180 | 210 | – |

Примечание. Условные обозначения форм: I – сырые, II – сухие, III – твердеющие в контакте с оснасткой.

Таблица 37 – Формовочные уклоны на знаковых частях стержня, град

| h_n или h_v , мм | α | β | α_1 | h_n или h_v , мм | α | β | α_1 |
|----------------------|----------|---------|------------|----------------------|----------|---------|------------|
| До 30 | 10 | 15 | 4 | 80 – 120 | 6 | 8 | 2 |
| 30 – 50 | 7 | 10 | 3 | 120 – 180 | 5 | 6 | 1 |
| 50 – 80 | 6 | 8 | 2 | 180 – 250 | 5 | 6 | 0 |

Таблица 38 – Зазоры между знаковыми поверхностями формы и стержня (на сторону) по ГОСТ 3212–92

| Высота знака h или h_1 , мм | Тип модельного комплекта | Зазор S_1 (S_2) при длине стержня, мм | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|--------------------------|---|-----------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|---------------|---------------|--------------|----------|
| | | до 40 | св. 40–63 | св. 63–100 | св. 100–160 | св. 160–250 | св. 250–400 | св. 400–630 | св. 630–1000 | св. 1000–1600 | св. 1600–2500 | в. 2500–4000 | св. 4000 |
| До 25 | K1 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,9 | 1,2 | 1,6 | 2,0 |
| | K2 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 1,1 | 1,4 | 1,9 | 2,7 | 3,3 |

| Высота знака h или $h1$, мм | Тип модельного комплекта | Зазор $S1$ ($S2$) при длине стержня, мм | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|--------------------------|---|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|---------------|---------------|--------------|----------|
| | | до 40 | св. 40 -63 | св. 63-100 | св. 100-160 | св. 160-250 | св. 250-400 | св. 400-630 | св. 630-1000 | св. 1000-1600 | св. 1600-2500 | в. 2500-4000 | св. 4000 |
| | K3 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,3 | 1,7 | 2,3 | 3,3 | 4,3 | 5,2 |
| | K4 | 0,8 | 0,9 | 1,1 | 1,2 | 1,4 | 1,7 | 2,1 | 2,7 | 3,5 | 5,0 | 6,5 | 8,0 |
| Св. 25-40 | K1 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 1,0 | 1,5 | 1,7 | 2,1 |
| | K2 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 1,3 | 1,6 | 2,2 | 2,7 | 3,3 |
| | K3 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,3 | 1,6 | 1,5 | 2,5 | 3,3 | 4,5 | 5,5 |
| | K4 | 1,2 | 1,3 | 1,5 | 1,6 | 1,8 | 2,1 | 2,5 | 3,0 | 4,0 | 5,0 | 7,3 | 8,5 |
| Св. 40-63 | K1 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 1,0 | 1,5 | 1,7 | 2,1 |
| | K2 | 0,5 | 0,6 | 1,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 0,8 | 1,3 | 1,6 | 2,2 | 3,0 | 3,5 |
| | K3 | 0,8 | 0,9 | 0,6 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,6 | 2,0 | 2,6 | 3,5 | 4,6 | 5,5 |
| | K4 | 1,3 | 1,4 | 1,0 | 1,7 | 1,9 | 2,2 | 2,6 | 3,0 | 4,0 | 5,7 | 7,3 | 8,7 |
| Св. 63-100 | K1 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 1,1 | 1,5 | 1,8 | 2,2 |
| | K2 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 0,8 | 1,3 | 1,6 | 2,2 | 3,0 | 3,5 |
| | K3 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,5 | 1,7 | 2,0 | 2,6 | 3,5 | 4,6 | 5,6 |
| | K4 | 1,3 | 1,5 | 1,6 | 1,8 | 2,0 | 2,2 | 2,6 | 3,0 | 4,0 | 6,2 | 7,3 | 8,7 |
| Св. 100-160 | K1 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 1,1 | 1,5 | 1,8 | 2,2 |
| | K2 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 1,0 | 1,0 | 1,3 | 1,6 | 2,2 | 3,0 | 3,5 |
| | K3 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 2,1 | 2,7 | 3,8 | 4,7 | 5,6 |
| | K4 | 1,4 | 1,6 | 1,7 | 1,9 | 2,1 | 2,3 | 2,7 | 3,1 | 4,0 | 6,2 | 7,3 | 8,7 |
| Св. 160-250 | K1 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,1 | 1,6 | 1,8 | 2,2 |
| | K2 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,0 | 1,4 | 1,7 | 2,2 | 3,0 | 3,5 |
| | K3 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,6 | 1,8 | 2,3 | 2,9 | 3,9 | 4,7 | 5,7 |
| | K4 | 1,5 | 1,7 | 1,8 | 2,0 | 2,2 | 2,4 | 2,8 | 3,4 | 4,3 | 5,8 | 7,5 | 8,7 |
| Св. 250-400 | K1 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,1 | 1,8 | 1,8 | 2,2 |
| | K2 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,4 | 1,8 | 3,2 | 3,2 | 3,7 |
| | K3 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,9 | 2,3 | 2,9 | 4,8 | 4,8 | 5,8 |
| | K4 | 1,7 | 1,8 | 2,0 | 2,1 | 2,3 | 2,6 | 3,0 | 3,4 | 4,4 | 7,6 | 7,6 | 9,0 |
| Св. 400-630 | K1 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,9 | 1,0 | 1,2 | 1,7 | 2,0 | 2,3 |
| | K2 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,4 | 1,8 | 2,4 | 3,3 | 3,7 |
| | K3 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,8 | 2,0 | 2,4 | 3,0 | 4,0 | 5,0 | 5,9 |
| | K4 | 1,9 | 2,0 | 2,2 | 2,3 | 2,5 | 2,7 | 3,2 | 3,6 | 4,6 | 6,1 | 7,8 | 9,3 |
| Св. 630-1000 | K1 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,2 | 1,7 | 2,0 | 2,0 |
| | K2 | 0,8 | 0,9 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,6 | 1,9 | 2,5 | 3,3 | 3,3 |
| | K3 | 1,4 | 1,4 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,2 | 2,6 | 3,0 | 4,1 | 5,2 | 5,2 |
| | K4 | 2,2 | 2,3 | 2,4 | 2,5 | 2,6 | 3,0 | 3,4 | 3,8 | 4,8 | 6,3 | 8,0 | 8,0 |
| Св. 1000-1600 | K1 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,3 | 1,8 | 2,1 | 2,5 |
| | K2 | 0,9 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,3 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 2,1 | 2,8 | 3,5 | 4,0 |
| | K3 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,0 | 2,2 | 2,5 | 2,8 | 3,8 | 4,3 | 5,4 | 6,4 |
| | K4 | 2,4 | 2,5 | 2,8 | 2,8 | 3,3 | 3,3 | 3,8 | 4,3 | 5,3 | 6,8 | 8,5 | 9,5 |

| Высота знака h или $h1$, мм | Тип модельного комплекта | Зазор $S1$ ($S2$) при длине стержня, мм | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|--------------------------|---|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|---------------|---------------|--------------|----------|
| | | до 40 | св. 40 -63 | св. 63-100 | св. 100-160 | св. 160-250 | св. 250-400 | св. 400-630 | св. 630-1000 | св. 1000-1600 | св. 1600-2500 | в. 2500-4000 | св. 4000 |
| Св. 1600-2500 | К1 | 0,8 | 0,8 | 0,9 | 0,9 | 1,0 | 1,2 | 1,2 | 1,4 | 1,5 | 2,0 | 2,2 | 2,6 |
| | К2 | 1,2 | 1,4 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,6 | 1,7 | 1,9 | 2,3 | 3,0 | 3,8 | 4,0 |
| | К3 | 2,1 | 2,2 | 2,2 | 2,3 | 2,5 | 2,6 | 3,0 | 3,2 | 3,8 | 4,8 | 6,0 | 6,8 |
| | К4 | 3,3 | 3,4 | 3,5 | 3,7 | 3,9 | 4,2 | 4,5 | 5,1 | 6,0 | 7,5 | 9,2 | 10,6 |
| Св. 2500-4000 | К1 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,4 | 1,54 | 1,6 | 2,0 | 2,4 | 2,8 |
| | К2 | 1,5 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 2,0 | 2,0 | 2,3 | 2,00 | 2,5 | 3,2 | 3,8 | 4,5 |
| | К3 | 2,5 | 2,5 | 2,7 | 2,7 | 3,0 | 3,0 | 3,2 | 3,80 | 4,4 | 5,3 | 6,0 | 7,5 |
| | К4 | 4,0 | 4,0 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 5,0 | 5,5 | 5,70 | 6,8 | 8,3 | 10,0 | 11,5 |
| Св. 4000 | К1 | 1,2 | 1,2 | 1,3 | 1,3 | 1,4 | 1,4 | 1,6 | 1,6 | 1,8 | 2,2 | 2,6 | 3,0 |
| | К2 | 1,8 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,3 | 2,3 | 2,5 | 2,7 | 3,0 | 3,8 | 4,0 | 5,0 |
| | К3 | 3,0 | 3,0 | 3,3 | 3,3 | 3,5 | 3,6 | 4,0 | 4,4 | 4,8 | 5,8 | 6,4 | 8,0 |
| | К4 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,5 | 5,7 | 6,0 | 6,8 | 7,5 | 9,0 | 10,5 | 12,0 |

Примечание:

К1 – модельный комплект I и II классов точности из металла и пластмассы;

К2 – III класса точности из металла и пластмассы и I класса точности из дерева;

К3 – II класса точности из дерева; К4 – III класса точности из дерева.

$$S_2 = 1,5 S_1.$$

Для надёжного и устойчивого удержания стержня в заданном положении, т. е чтобы он не поворачивался и не смещался вдоль оси после его установки в форму, на знаковых частях стержней предусматривают фиксаторы. Фиксатор 1 (рис. 30) предохраняет стержень от продольного смещения и от поворота. Фиксатор 2 предотвращает поворот, но не продольное смещение, вследствие того, что площадь сегментов В, образующихся в результате среза стержня, мала и установка стержня по ним затруднительна. Представленный в виде одностороннего среза, фиксатор 3 не достаточно предохраняет от поворота вокруг продольной оси. Фиксирующие сегменты Г фиксатора 4 не видны при опускании стержня в гнездо, что неудобно в работе.

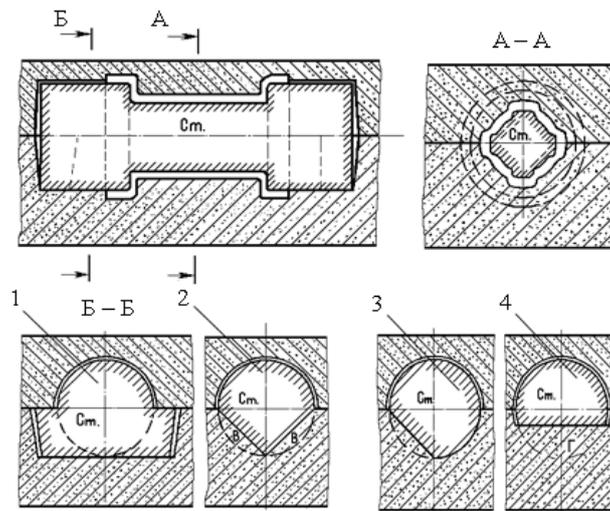


Рисунок 30 – Фиксаторы горизонтально расположенных стержней

Различные исполнения фиксатора типа I (рис. 30) приведены на рис. 31 (цифрами I, II, III обозначены варианты исполнения фиксаторов).

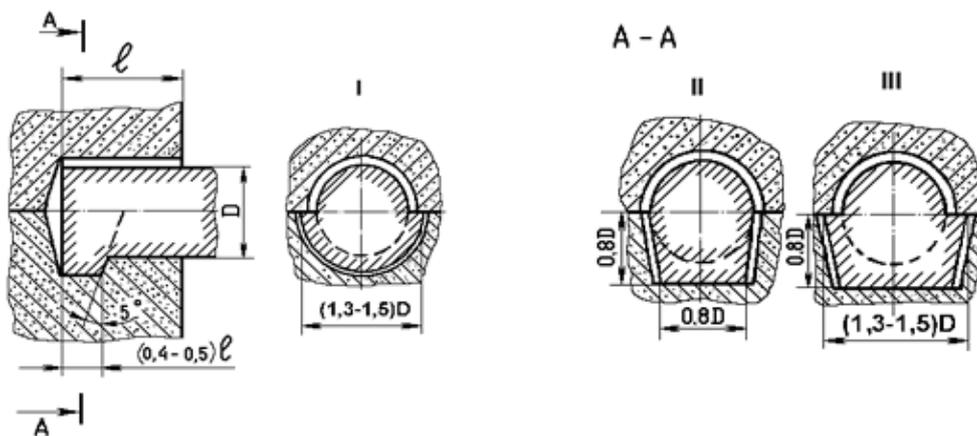


Рисунок 31 – Конструкции фиксаторов

При опускании стержня в гнездо нижней полуформы возможно трение знака стержня о стенки знаковой части формы. В результате этого осыпавшаяся на дно гнезда смесь будет мешать точной установке стержня в форму. При установке вертикального стержня с одним знаком возможно отклонение его от вертикали. Для предотвращения этого необходимо по периметру знаковой части полуформы выполнить углубления – зумпфы – для сбора осыпавшейся формовочной смеси [3, с 104].

В процессе заливки металла в форму происходит выделение газов как из расплава, так и при сгорании связующих и других добавок, входящих в состав формовочных и стержневых смесей. Стержни, находящиеся в контакте с металлом всей внешней поверхностью, кроме знаковых частей, нуждаются в устройстве специальных газоотводных каналов. Как правило, газоотводные каналы выводят газы стержня в его знаковые части, а через них – в форму,

обладающую большей газопроницаемостью, чем сам стержень. Через форму газы выходят в окружающую среду.

Задание

По чертежу детали, выданному преподавателем, осуществить выбор конструкции стержня для получения отверстия, оптимального по прочностным и технологическим свойствам состава формовочных смесей.

Вопросы для самоконтроля:

1. Для каких целей используются стержни?
2. По каким признакам классифицируются стержни?
3. Как делятся стержни по назначению?
4. Как классифицируются стержни по технологии изготовления?
5. Чем отличаются конструкции стержней для его горизонтального и вертикального крепления?
6. Какие требования предъявляются к стержневым смесям?
7. Для каких целей предназначены фиксаторы?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 7. Определение оптимального состава формовочных смесей

Цель работы: получение практических умений и навыков оптимального по прочностным и технологическим свойствам состава формовочных смесей

Теоретический материал

Заданные свойства формовочных смесей и форм обеспечиваются прежде всего выбором формовочных материалов. Состав смеси формовочных материалов и режим её отверждения определяются размерами и формой отливки, видом стержня, характером производства, методами уплотнения смеси, способами извлечения модели и стержня, составом сплава и температурой его заливки, требованиями к качеству отливки, экономическими, экологическими факторами и т. д.

Формовочная смесь в технологическом цикле подвергается:

- 1) разрыхлению после хранения на выходе из смесителя и из бункера;
- 2) уплотнению в форме и в стержнях;
- 3) термической или химической обработке;
- 4) нагреву и прокатке после затвердевания отливки;
- 5) выбивки формы после охлаждения отливки.

На каждом этапе формовочная смесь должна удовлетворять различным требованиям.

Перед изготовлением формы или стержня смесь должна обладать:

- достаточной текучестью для осуществления принятого метода изготовления форм;
- способностью сохранять текучесть и уплотняемость в течение времени, заданного технологическим процессом;
- хорошей уплотняемостью, отвечающей производительным возможностям принятого формовочного оборудования;
- хорошей пластичностью для обеспечения размерной точности форм;
- способностью не прилипать к поверхностям модели или стержневого ящика;
- низкой стоимостью и недефицитностью входящих в нее компонентов.

После изготовления формы или стержня смесь должна:

- иметь достаточную исходную, или сырую, прочность для сохранения целостности формы или стержня при их изготовлении, транспортировке и сборке;
- при изготовлении отливок в сырых формах иметь сырую прочность, достаточную для обеспечения размерной и конфигурационной точности отливок;
- обладать поверхностной прочностью, обеспечивающей отсутствие поверхностных дефектов в отливках;

- иметь достаточную прочность после сушки или химического отверждения при минимальном расходе связующего;

- обладать комплексом свойств, обеспечивающих непригораемость к отливкам или образование легкоудаляемого пригарного слоя;

- быть негигроскопичной;

- быстро упрочняться в исходном состоянии или в процессе сушки.

В процессе затвердевания отливки в форме и охлаждения ее до выбивки смесь должна удовлетворять следующим требованиям:

- сохранять механические свойства в процессе прогрева на уровне, обеспечивающем прочность формы, до тех пор, пока не затвердеет достаточно прочная корка сплава в поверхностном слое отливки. Время разупрочнения смеси при ее нагреве должно превышать время образования достаточно толстой корки затвердевшего металла;

- оказывать малое торможение усадки сплава в процессе затвердевания и охлаждения отливки;

- иметь малую газотворность;

- обладать высокой газопроницаемостью, обеспечивающей возможность организации направленного газового потока в стенке формы, исключающего образование газовых дефектов в отливках;

- в процессе охлаждения уменьшать свою прочность до значений, обеспечивающих минимальные энергозатраты на ее выбивку из форм и отливок;

- обладать теплофизическими свойствами, обеспечивающими заданный тепловой режим затвердевания и охлаждения отдельных элементов отливки, гарантирующий ее направленное затвердевание и формирование заданной кристаллической структуры

Смесь не должна быть токсичной, сохранять способность к многократному применению в течение максимально большего числа технологических циклов после регенерации. Для удовлетворения указанным требованиям формовочная смесь на всех этапах технологического процесса смесь должна обладать общими, технологическими и рабочими свойствами.

Общие свойства характеризуют смесь как дисперсную многокомпонентную систему. К технологическим относятся свойства, имеющие значение при приготовлении смесей, форм и стержней. Рабочие свойства проявляют себя в процессе заливки форм, затвердевания, охлаждения и выбивки отливки.

Свойства формовочных и стержневых смесей зависят от их состава, свойств формовочных материалов, уплотнения смесей, влажности и режима их термической и химической обработки.

В качестве основных требований, которым должны удовлетворять формовочная смесь, являются прочностные и технологические характеристики.

Прочность должна быть достаточной, чтобы получить качественные формы или стержень (без их разрушения) при принятых методах уплотнения смеси, извлечения модели или стержня, транспортировки полуформ и стержней, сборки форм.

Данную прочность называют манипуляторной, её величина σ_m зависит от размеров и сложности форм и стержней. Для форм с размером опок до 1000×1000 мм $\sigma_m = 0,1-0,15$ МПа, до 1000×2000 мм – $0,15-0,20$ МПа, до 2000×2000 мм – $0,2-0,3$ МПа, для более крупных форм $\sigma_m = 1-1,2$ МПа. Для стержней в зависимости от их сложности и крупности $\sigma_m = 0,5 - 1,5$ МПа.

Важной характеристикой является живучесть смесей, оцениваемая по времени t_m , за которое прочность при выдержке смеси падает на 30 % по отношению к максимальной. Оптимальная живучесть смеси, при которой можно успеть выполнить все операции по наполнению смесью опоки или стержневого ящика и провести ее уплотнение без существенного падения прочности, равна 6–10 мин. Прочность смеси во влажном состоянии определяется методом уплотнения смеси, сложностью форм и стержней и степенью механизации производства.

Манипуляторная прочность достигается отверждением смеси за определённое время t_m , которое зависит от характера производства: при индивидуальном и мелкосерийном производстве равно $t_m = 30-40$ мин; при массовом производстве – $t_m = 40-60$ с; при крупносерийном – $t_m = 5-10$ мин.

При $\sigma_{сж}$ в сыром состоянии $0,005-0,01$ МПа смеси находятся в сыпучем состоянии и уплотняются виброуплотнением. При $\sigma_{сж}$ больше $0,01$ МПа смеси находятся в пластичном состоянии и уплотняются прессованием, встряхиванием и другими методами. В зависимости от способа уплотнения смесь может иметь следующие значения прочности во влажном состоянии: $0,04-0,06$ МПа (уплотнение встряхиванием); $0,05-0,016$ МПа (уплотнение встряхиванием с прессованием); $0,10-0,22$ МПа (пескодупно-прессовое уплотнение); $0,6-0,12$ МПа (уплотнение прессованием); $0,05-0,10$ МПа (воздушно-импульсное уплотнение).

При изготовлении форм и стержней на автоматизированных и высокомеханизированных линиях $\sigma_{сж}$ в сыром состоянии должна быть больше $0,15$ МПа. Для ориентировочного определения минимально допустимого значения предела прочности смеси на сжатие в сыром состоянии можно применить формулу И. Д. Чудновского:

$$\sigma_{\min} = \frac{1,94 F}{0,424 G}.$$

При этом $G = \frac{G_{см}}{G_m}, \quad F = \frac{F_0}{U \cdot H},$

где $G_{см}$ – масса смеси в опоке; G_m – масса отливки; F_0 – площадь опоки в свету; U – периметр стенок опоки; H – высота опоки.

Прочность смеси, необходимой для изготовления формы или стержня, противостоящей силовому воздействию формирующейся отливки, называется рабочей σ_r . Для средних и крупных форм рабочая прочность при сжатии для облицовочных смесей должна быть не ниже 0,5–1 МПа, а для наполнительных смесей – не менее 0,2–0,4 МПа. Для тяжелых отливок σ_r 0,6–1,2 МПа. При применении безопочных форм σ_r на 40–50 % выше указанных значений.

Для стержней, изготавливаемых в единичном и мелкосерийном производстве σ_r равно от 1,5 до 3 МПа в зависимости от формы и размеров отливки. Для достижения заданных значений σ_r время тр должно обеспечивать заданную производительность производственного цикла.

Наряду с удовлетворением требованиям по прочности в сыром состоянии, рабочей прочности, времени её получения и времени эксплуатации при выборе состава смесей необходимо учитывать их термостойкость, пластичность и выбиваемость смесей, стоимость и дефицитность их составляющих, обеспечение экологической чистоты.

Песчано-смоляные смеси обладают наилучшими технологическими и прочностными характеристиками. Однако при их использовании практически невозможно обеспечить экологическую чистоту технологии, так как их применение связано с использованием дорогих смол и большим расходом кварцевых песков. Как следствие во многих странах мира применение смол в литейном производстве сокращается.

Нетоксичны и недороги смеси на неорганических связующих, особенно жидкостекольные, но они плохо выбиваются и регенерируются. В настоящее время интенсивно ведутся работы по улучшению технологических свойств смесей. Так перспективным является применение смесей на фосфатных связующих.

Выбор составов смесей в условиях производства осуществляется с использованием отраслевых стандартах типовых составов применительно к действующему в цехе формовочному и стержневому оборудованию. В табл. 39 и 40 указаны области применения различных типов формовочных смесей и требования к ним по прочности. В табл. 41 представлены аналогичные данные для стержневых смесей. Конкретные составы смесей приведены выше. В зависимости от марки сплава, характеристик отливки, характера производства, применяемых методов изготовления форм и стержней, класса и размеров стержней по табл. 39–41 можно определить типы смесей.

Таблица 39 – Области применения различных типов формовочных смесей [3, с. 415]

| Тип формовочной смеси | Область применения |
|---|---|
| Песчано-глинистые для формовки по-сырому | Для изготовления чугунных отливок массой до 500 кг и с толщиной стенки до 40 мм. Для неответственных отливок массой до 100 кг Для изготовления стальных отливок массой до 400 кг и с толщиной стенки до 25 мм. Для неответственных отливок массой до 1000 кг Для изготовления отливок из цветных сплавов. При изготовлении отливок массой менее 100 кг применяется единая смесь |
| Песчано-глинистые для формовки по-сухому | Для изготовления чугунных и стальных отливок массой более 1000 кг. Для отливок массой от 500 до 2000 кг при формовке в опоках и до 5000 кг при заливке на плацу применяется поверхностная подсушка |
| Смеси на основе цирконового концентрата или хромита | Для изготовления крупных стальных отливок из легированных сталей массой более 5000 кг и с толщиной стенки более 60 мм |
| Жидкостекольные | Для облицовки крупных форм чугунных и стальных отливок с поверхностной подсушкой |
| Жидкие самотвердеющие | Редко для изготовления форм для чугунного и стального литья при индивидуальном производстве |
| Холоднотвердеющие на фосфатных связующих | Для изготовления отливок из различных сплавов и стержней в условиях индивидуального и крупносерийного производства |

Таблица 40 – Требования по прочности к формовочным смесям

| Способ уплотнения смеси и изготовления форм, размеры опок и масса отливок | Прочность во влажном состоянии σ_w , (МПа) | Рабочая прочность σ_r , МПа |
|---|---|------------------------------------|
| Уплотнение встряхиванием– | 0,04–0,06 | - |
| Встряхивание с прессованием | 0,03–0,16 | - |
| Уплотнение прессованием | 0,06–0,12 | - |
| Пескодунно-прессовое уплотнение | 0,10–0,22 | - |
| Воздушно-импульсное уплотнение | 0,05–0,10 | - |
| Пескодунное, пескострельное уплотнение | 0,008–0,01 | - |
| Изготовление форм на автоматических линиях при размерах опок, мм: | | |
| до 1000×1500 | 0,1–0,15 | - |
| до 1000×2000 | 0,15–0,20 | - |
| до 2000×2000 | 0,20–0,30 | - |
| более 2000×2000 | 1,00–1,20 | - |
| Чугунные и стальные отливки массой, кг: | | |
| 500 – 1000 | - | 0,3–0,5 |
| 1000 – 5000 | - | 0,5–0,8 |
| более 5000 | - | 0,8–1,2 |

Таблица 41 – Области применения стержневых смесей [3, с. 416]

| Тип стержневой смеси | Область применения |
|---|--|
| Песчано-глинистые | Для изготовления средних и крупных стержней IV и V классов при индивидуальном и мелкосерийном производстве |
| На органических связующих: масле, ЛСТ и т. д. | Для изготовления стержней I–III классов при мелкосерийном производстве |
| Песчано-смоляные для стержней, изготавливаемых в нагреваемой оснастке | Для изготовления стержней всех классов при крупносерийном и массовом производстве и повышенных требованиях, предъявляемых к чистоте поверхности отливок ($Ra = 1,6–12,5$ мкм) |
| Жидкие самотвердеющие | Для изготовления стержней II–V классов в основном массой более 500 кг при индивидуальном и крупносерийном производстве |
| Жидкостекольные быстротвердеющие | Для изготовления стержней II–IV классов при индивидуальном и крупносерийном производстве |
| Холоднотвердеющие на синтетических смолах: | |
| с повышенной живучестью (30–100 мин) | Для изготовления стержней любых классов при индивидуальном и мелкосерийном производстве |
| с длительным отверждением (35–40 мин) | При мелкосерийном и индивидуальном производстве отливок из чугуна и стали массой до 1500 кг и более |
| с ускоренным отверждением (0,5–4 мин) | При крупносерийном и массовом производстве отливок из чугуна, стали и цветных металлов |

Окончательный состав формовочной смеси выбирается в зависимости от требуемой прочности во влажном состоянии σ_w и рабочей прочности σ_r , при необходимости учитывать выбиваемость смесей и других технологических свойствам, вытекающие из условий производства и особенностей изготавливаемой отливки, а также экономические и экологические факторы. Требования по прочности во влажном состоянии и рабочей прочности в зависимости от способа уплотнения смеси при формовке и характеристик отливки приведены в табл. 41.

Стержневые смеси выбираются в зависимости от материала отливки, класса стержня, серийности производства, способа изготовления стержней и других требований. При конкретном выборе состава стержневой смеси учитывают требования по необходимой при выбранном способе уплотнения смеси прочности во влажном состоянии (табл. 41), а также по рабочей прочности. Рабочая прочность стержневой смеси на сжатие в общем случае равна $\sigma_r = 1,5–3,0$ МПа в зависимости от размеров стержня.

При применении ХТС необходимо обеспечить время твердения, время на нужную требуемую живучесть смеси, экономические требования и требования обеспечения экологической чистоты технологии.

Задание

По чертежу детали, выданному преподавателем, осуществить выбор материалов для получения оптимального по прочностным и технологическим свойствам состава формовочных смесей.

Вопросы для самоконтроля:

1. Какие добавки применяются для улучшения технологических свойств смесей?
2. Охарактеризуйте роль воды в формировании свойств смесей.
3. Дайте характеристику процессов, происходящих при приготовлении смесей.
4. Назовите особенности формирования прочности смесей в исходном (сыром) состоянии.
5. В чем заключается влияние вязкости и поверхностного натяжения связующих?
6. Какие требования предъявляются к формовочным смесям?
7. Что необходимо обеспечить при применении холодно-твердеющих смесей?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №8. Расчет литниковой системы для кокильного литья легких металлов и сплавов

Цель работы: получение практических умений и навыков расчёта параметров компонентов литниковой системы для получения чугунной отливки литьём в кокиль.

Теоретический материал:

Верхняя литниковая система обеспечивает кратчайший путь заполнения металлом формы, что создаёт более благоприятные условия для последовательной направленной кристаллизации отливки снизу к прибылям и не вызывает развития местных перегревов формы и связанных с этим дефектов. Данная система наиболее проста по выполнению, легко удаляется при обрубке литья и не требует большого по сравнению с другими типами литниковых систем расхода металла за счёт уменьшения размеров прибылей. Верхнюю литниковую систему обычно используют для получения небольших по высоте алюминиевых отливок, так как системы этого типа приводят к каскадному сбросу расплава в форму, что приводит к его интенсивному перемешиванию и окислению, захвату воздуха, образованию пены и её замешиванию внутрь отливки. Верхняя литниковая система создаёт опасность размыва формы и стержней падающим с большой высоты потоком металла.

Время заливки в с

$$\tau_{зал} = A \cdot M^n, \quad (15)$$

где А и n – постоянные, числовые значения которых по данным различных исследований находятся в широких пределах; М – масса отливки, г.

Таблица 42 – Значения постоянных в формуле (1)

| А | n | Сплав | Автор |
|------|-------|----------|---------------------|
| 0,06 | 0,717 | Алюминий | Дроссель, м. Роланд |

При заливке сверху вниз, узким место считается питатель $F_{уз. м.}$

Определяем площадь узкого места, см²

$$F_{уз. м.} = \frac{G}{r\rho\mu\sqrt{gH}},$$

где G – масса отливки вместе с массой литниковой системы, кг;
 ρ – плотность сплава, г/см³; μ – коэффициент расхода литниковой системы;
 g – ускорение свободного падения, см/с; H – напор металла, см;

$$G = n \cdot G_{отл} + G_{л.с.} = nG_{отл} + 20\% G_{отл},$$

где n – количество отливок, шт.

Для определения геометрических параметров питателя используют соотношение

$$\delta_{пит} < \delta_{ст},$$

где $\delta_{пит}$ – высота питателя, см; $\delta_{ст}$ – толщина стенки, к которой подведён питатель, см.

Длину питателя h , см

$$h = \frac{F_{уз.м}}{\delta_{num}}$$

Проверка по критерию бездефектного (идеального) заполнения Ки учитывает комплекс характеристик сплава и параметров взаимодействия струи расплава с поверхностью формы:

$$Ku = K_1 \cdot \vartheta_2 \cdot Rnp \leq 2400,$$

где K_1 – коэффициент, учитывающий влияние характеристик сплава, входящих в критерии Рейнольдса Re и Вебера We , а также физико-механические свойства окисной пленки и шероховатость поверхности формы ($K_1 = 1 \text{ с}^2 / \text{см}^3$); ϑ_2 – скорость струи, см/с; Rnp – приведённый радиус струи, см;

$$\vartheta_2 = \mu \sqrt{2gH}; \quad Rnp = 0,5 \sqrt{\frac{F_{ст}}{\pi}},$$

где $F_{ст}$ – площадь стояка, см^2 .

Для определения площади стояка $F_{ст}$, см^2 для алюминиевого сплава справедливо соотношение: $F_{num}:F_{ст} = 1:1$.

Плохие условия задержания шлака при верхней литниковой системе приводят к интенсивному перемешиванию расплава, к образованию пены и её замешиванию в отливку. Сложная конструкция стояка устраняет эти недостатки, так как позволяет улучшить отшлаковывание и уменьшить скорость расплава. Для торможения скорости потока расплава в конструкции литниковой системы применяют сетки из стекловолокна, которые дополнительно способствуют сопротивлению потоку расплава и удержанию крупных шлаковых включений.

При сифонной литниковой системе отливка разбивается на i участков и для каждого участка определяется характерный размер отливки l_{0i} , м; высота каждого из участков отливки h_i , м; площадь поперечного сечения F_i , м^2 .

Исходя из формулы критерия шлакообразования $K_{ш}$, определяется скорость шлакообразования:

$$K_{ш} = \frac{Re We}{h_{пл}},$$

где Re – критерий Рейнольдса, определяемый по формуле; We – критерий Вебера, определяемый по формуле; $h_{пл}$ – толщина пленки, м; $h \cdot n_l = 5 \cdot 10^{-6} \text{ м}$;

$$Re = \frac{w l_{0(1-2)}}{\nu},$$

w – скорость шлакообразования; $l_{0(1-2)}$ – характерный размер отливки на участке 1–2, м; ν – коэффициент кинематической вязкости расплава; $\nu = 6 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2 / \text{с}$;

$$We = \frac{\rho_{ж} w^2 l_{0(1-2)}}{\sigma},$$

где $\rho_{ж}$ – плотность жидкого сплава, кг/м³; ω – скорость шлакообразования; $l_{0(1-2)}$ – характерный размер отливки на участке 1–2, м; σ – поверхностное натяжение, Н/м; $\sigma = 0,86 \text{ Н/м}$;

$$\omega = \sqrt[3]{\frac{K_{ш} v h n}{\rho_{ж} l_{0(1-2)}^3}}$$

Рассчитанная скорость шлакообразования не должна превышать критическую скорость. Критическая скорость заполнения для кокильного литья составляет $\omega = 15,3 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$. Для дальнейших расчётов принимается, что восходящий поток имеет в нижней на участке 1–2 заданную скорость, которую можно обеспечить соответствующей площадью узкого сечения $F_{уз.м.}$ литниковой системы, которую находят из соотношения:

$$\frac{\omega_{1-2}}{\omega_{уз.м.}} = \frac{F_{уз.м.}}{F_{1-2}},$$

где ω_{1-2} – скорость на участке 1–2, м/с; $\omega_{уз.м.}$ – скорость в узком месте, м/с; F_{1-2} – площадь поперечного сечения участка 2–3, м²;

$$\omega_{уз.м.} = \mu \sqrt{2g(H - h_{1-2})}$$

где μ – коэффициент расхода, $\mu = 0,65$; g – ускорение свободного падения, м/с²; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; H – высота стояка, м; h_{1-2} – высота участка 1–2 отливки, м.

Для теплового расчёта необходимо оценить потери перегрева фронта потока расплава во время заполнения вертикальной полости. Сужение литниковой системы и тепловые потери в ней малы и при расчёте не учитываются

$$T_{1-2} = [T_{зал} - T_{фн}] \exp \left[\frac{-h_{1-2} \frac{\alpha}{2}}{C_{ж} \rho_{ж} l_{0(1-2)} \omega_{1-2} K_{п} \left(1 - \frac{b_{м}}{b_{ф}}\right)} \right] + T_{фн},$$

где $T_{зал}$ – температура заливки, К; $T_{фн}$ – начальная температура формы, К; $T_{фн} = 293 \text{ К}$; h_{1-2} – высота участка 1–2 отливки, м; α – коэффициент теплоотдачи, определяется по формуле; $C_{ж}$ – теплоемкость расплава, Дж/(кг·К); $\rho_{ж}$ – плотность жидкого сплава, кг/м³; $l_{0(1-2)}$ – характерный размер отливки на участке 1–2, м; ω_{1-2} – скорость на участке 1–2, м/с; $K_{п}$ – коэффициент; $K_{п} = 1,63$; $b_{м}$ – теплоаккумулирующая способность металла, Вт·с^{1/2}/(м²·К); $b_{ф}$ – теплоаккумулирующая способность формы, Вт·с^{1/2}/(м²·К);

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda_{м}}{l_{0(1-2)}},$$

где Nu – критерий Нуссельта; определяемый по формуле; $\lambda_{м}$ – теплопроводность расплава, Вт/(м·К); $l_{0(1-2)}$ – характерный размер отливки на участке 1–2, м;

$$Nu = \frac{1}{1,63} 0,033 Pe^{0,6},$$

где Pe – критерий Пекле; определяется по формуле

$$Pe = \frac{l_{0(1-2)} \omega_{1-2}}{a},$$

где $l_{0(1-2)}$ – характерный размер отливки на участке 1–2, м; ω_{1-2} – скорость на участке 1–2, м/с; a – коэффициент температуропроводности, м²/с.

Рассмотрим участок 2–3.

Скорость на участке 2–3 находим из соотношения

$$\frac{\omega_{2-3}}{\omega_{уз.м.}} = \frac{F_{уз.м.}}{F_{2-3}},$$

где $F_{уз.м.}$ – площадь узкого места литниковой системы, м²; определяем из соотношения; $\omega_{уз. м.}$ – скорость в узком месте, м/с; определяется по формуле; F_{2-3} – площадь поперечного сечения участка 2–3, м²;

$$\omega_{уз. м.} = \mu \sqrt{2g(H - h_{1-2}) - \frac{h_{2-3}}{2}}$$

где H – высота стояка, м; h_{2-3} – высота участка 2–3 отливки, м.

Проводится тепловой расчёт по формуле:

$$T_{2-3} = [T_{1-2} - T_{ФН}] \exp \left[\frac{-h_{2-3} \frac{\alpha}{2}}{C_{ж} \rho_{ж} l_{0(2-3)} \omega_{2-3} K_{п} \left(1 - \frac{b_{м}}{b_{ф}}\right)} \right] + T_{ФН},$$

где T_{1-2} – температура на участке 1–2, К; $T_{ФН}$ – начальная температура формы, К; $T_{ФН} = 293$ К; h_{2-3} – высота участка 2–3 отливки, м; α – коэффициент теплоотдачи, определяется по формуле; $C_{ж}$ – теплоемкость расплава, Дж/(кг·К); $\rho_{ж}$ – плотность жидкого сплава, кг/м³; $l_{0(2-3)}$ – характерный размер отливки на участке 2–3, м; ω_{2-3} – скорость на участке 2–3, м/с; $K_{п}$ – коэффициент; $K_{п} = 1,63$; $b_{м}$ – теплоаккумулирующая способность металла, Вт·с^{1/2}/(м²·К); $b_{ф}$ – теплоаккумулирующая способность металла и формы, Вт·с^{1/2}/(м²·К);

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda_{м}}{l_{0(2-3)}},$$

где Nu – критерий Нуссельта; определяемый по формуле; $\lambda_{м}$ – теплопроводность расплава, Вт/(м·К); $l_{0(2-3)}$ – характерный размер отливки на участке 2–3, м.

Критерий Пекле Pe определяется по формуле

$$Pe = \frac{l_{0(2-3)} \omega_{2-3}}{a},$$

где $l_{0(2-3)}$ – характерный размер отливки на участке 2–3, м; ω_{2-3} – скорость на участке 2–3, м/с; a – коэффициент температуропроводности, м²/с.

Рассмотрим участок (n-1) – n.

Скорость на участке (n-1) – n находим из соотношения

$$\frac{\omega_{(n-1)-n}}{\omega_{уз.м.}} = \frac{F_{уз.м.}}{F_{(n-1)-n}},$$

где $\omega_{уз. м.}$ – скорость в узком месте, м/с; $F_{уз.м}$ – площадь узкого места литниковой системы, m^2 ; $F_{(n-1)-n}$ – площадь поперечного сечения участка (n-1)-n, m^2 .

$$\omega_{уз. м.} = \mu \sqrt{2g(H - h_{1-2}) - \dots - h_{(n-2)-(n-1)} - \frac{h_{(n-1)-n}}{2}}.$$

Тепловой расчёт проводится по формуле:

$$T_{(n-1)-n} = [T_{(n-2)-(n-1)} - T_{ФН}] \exp \left[\frac{-h_{(n-1)-n} \frac{\alpha}{2}}{C_{ж} \rho_{ж} l_{0(n-1)-n} \omega_{(n-1)-n} K_{п} \left(1 - \frac{b_M}{b_{\phi}}\right)} \right] + T_{ФН},$$

где $T_{(n-1)-n}$ – температура на участке (n-1) – n, К; $T_{ФН}$ – начальная температура формы, К; $T_{ФН} = 293$ К; $h_{(n-1)-n}$ – высота участка (n-1) – n отливки, м; α – коэффициент теплоотдачи; $C_{ж}$ – теплоемкость расплава, Дж/(кг·К); $\rho_{ж}$ – плотность жидкого сплава, кг/м³; $l_{0(n-1)-n}$ – характерный размер отливки на участке (n-1) – n, м; $\omega_{(n-1)-n}$ – скорость на участке (n-1) – n, м/с; $K_{п}$ – коэффициент; $K_{п} = 1,63$; b_M – теплоаккумулирующая способность металла, Вт·с^{1/2}/(м²·К); b_{ϕ} – теплоаккумулирующая способность металла и формы, Вт·с^{1/2}/(м²·К);

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda_M}{l_{0[(n-1)-n]}},$$

где Nu – критерий Нуссельта; λ_M – теплопроводность расплава, Вт/(м·К); $l_{0[(n-1)-n]}$ – характерный размер отливки на участке (n-1) – n, м.

Критерий Пекле Pe определяется по формуле

$$Pe = \frac{l_{0(n-1)-n} \omega_{(n-1)-n}}{a},$$

где $l_{0(n-1)-n}$ – характерный размер отливки на участке (n-1) – n, м; $\omega_{(n-1)-n}$ – скорость на участке (n-1) – n, м/с; a – коэффициент температуропроводности, м²/с.

Если $T_{(n-1)-n} > T_{лик}$, то данная отливка заливается сифонным подводом металла. Если это условие не выполняется, то рассчитываем для этой отливки вертикально-щелевую систему подвода металла.

Вертикально-щелевая литниковая система обеспечивает спокойный ввод расплава в форму и задерживает неметаллические включения при отшлаковывании в вертикальном колодце, создаёт благоприятные условия для последовательной, направленной снизу вверх кристаллизации отливок, обеспечивая подачу горячего металла в верхние слои отливки и прибыль. Таким образом, этот тип литниковой системы обеспечивает лучший тепловой режим и лучшую заполняемость тонкостенных отливок.

Вероятность вспенивания сплава в начальный момент заполнения формы и опасность возникновения местных перегревов формы в область, прилегающую к вертикальным щелям, относится к недостаткам вертикально-щелевой литниковой системы, так как ведёт к образованию дефектов

усадочного характера, а также сложность её выполнения в форме и удаления при обрубке.

Приведённую толщину стенки отливки, m рассчитываем по формуле:

$$R_0 = \frac{1}{2} \delta_c,$$

где δ_c – минимальная толщина стенки отливки, m .

Предельно допустимую скорость заполнения определяется по формуле, m/c :

$$\omega = \sqrt[3]{\frac{K_{ш} \cdot \nu \cdot h_{пл} \cdot \sigma}{R_0 \cdot \rho_{ж}}}$$

где $K_{ш}$ – критерий шлакообразования; $K_{ш} = 150 \cdot 10^3$; ν – коэффициент кинематической вязкости расплава, m^2/c ; $\nu = 6 \cdot 10^{-7} m^2 / c$; $h_{пл}$ – толщина плены, m ; $h_{пл} = 5 \cdot 10^{-6} m$; σ – поверхностное натяжение, H/m ; $\sigma = 0,86 H / m$; $\rho_{ж}$ – плотность жидкого сплава, $кг/м^3$.

Определяем расход металла, m^3/c по формуле

$$Q = L \cdot \omega \cdot \delta_c,$$

где L – длина растекания сплава, m .

Определяем угол растекания металла ,град по формуле:

$$\varphi = 0,4 \cdot Q^{0,195} \cdot \delta_{щ}^{-1,09},$$

где $\delta_{щ}$ – толщина щелевого питателя, m ; определяемая по формуле

$$\delta_{щ} = 0,7 \cdot \delta_0;$$

где δ_0 – толщина стенки отливки, m .

Скорость поперечного растекания, m/c определяем по формуле:

$$v = \sqrt[3]{S^2 \cdot \frac{Q}{2R_0}},$$

где S – коэффициент Шези, $S=1$.

Находим высоту потока расплава h_p , m , растекающегося по поверхности застойной зоны:

$$h_p = \sqrt[3]{\left(\frac{Q}{2S R_0}\right)^2 \frac{1}{\sin \varphi}}.$$

Определяем отношение площади поперечного сечения растекающегося расплава к его периметру:

$$l_0 = \frac{2 h_p \cdot 2R_0}{2 h_p + 2R_0}.$$

Находим значение коэффициента теплоотдачи, $Вт/(м^2 \cdot К)$, в форму и в застойную зону по значению критерия Нуссельта:

$$\alpha = \frac{\lambda \cdot Nu}{R_0},$$

где λ – теплопроводность расплава, Вт/(м·К); Nu – критерий Нуссельта, определяется по формуле:

$$Nu = 0,00573 \cdot Pe^{1,247},$$

где Pe – критерий Пекле, определяется по формуле:

$$Pe = \frac{v \cdot l_0}{a},$$

где a – коэффициент температуропроводности, м²/с.

Рассчитываем максимальную длину растекания расплава Lp_{\max} :

$$Lp_{\max} = \frac{\ln \frac{T_{\text{зал}} - T_{\text{фн}}}{T_0 - T_{\text{фн}}} c_{\text{ж}} \cdot \rho_{\text{ж}} \cdot l_0 \cdot v_p \cdot \left(1 + \frac{b_M}{b_{\Phi}}\right)}{\alpha},$$

где $T_{\text{зал}}$ – температура заливки, К; $T_{\text{фн}}$ – начальная температура формы, К; $T_{\text{фн}} = 293$ К; T_0 – температура нулевой жидкотекучести, К; $c_{\text{ж}}$ – теплоемкость расплава, Дж/(кг·К); b_M , b_{Φ} – соответственно теплоаккумулирующая способность металла и формы, Вт·с^{1/2}/(м²·К);

$$T_0 = T_L - m(T_L - T_C),$$

где T_L – температура ликвидус, К; T_C – температура солидус, К; m – количество твердой фазы.

Сравниваем максимальную длину растекания с длиной отливки. Должно выполняться условие: $Lp \geq 1,2L$, где L – длина отливки, м.

Рассчитаем площадь стояка F_{CT} , м²:

$$F_{CT} = \frac{Q}{\mu \sqrt{2gH_{CT}}},$$

где μ – коэффициент расхода литниковой системы; $\mu = 0,6$; g – ускорение свободного падения, м/с²; $g = 9,81$ м/с²; H_{CT} – напор металла, м.

Найдем радиус стояка R_{CT} , м из выражения:

$$R_{CT} = \sqrt{\frac{F_{CT}}{\pi}}.$$

Определяем диаметр колодца d_K , м литниковой системы по выражению:

$$d_K = 4d_{\text{щ}},$$

где $d_{\text{щ}}$ – диаметр щели, м.

Задание

Получить у преподавателя чертеж отливки, получаемой литьём в кокиль и выполнить для неё расчёты прибылей верхней, сифонной и щелевой литниковых систем. По результатам расчётов определить коэффициент использования материалов для всех трёх вариантов литниковых систем и сделать выводы.

Вопросы для самоконтроля:

1. Что обеспечивает верхняя литниковая система?
2. Какие недостатки имеет верхняя литниковая система кокильного литья?

3. В каких случаях преимущественно применяется верхняя литниковая система?

4. От чего зависит время заливки в кокиль с верхней литниковой системой?

5. Какое соотношение используется для определения геометрических параметров питателя верхней литниковой системы?

6. От каких параметров зависит скорость шлакообразования при сифонной литниковой систем?

7. Что необходимо оценить для теплового расчёта кокиля с сифонной литниковой системой?

8. Что обеспечивает вертикально-щелевая литниковая система?

9. Перечислите достоинства и недостатки вертикально-щелевой литниковой системы?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 9. Расчет технических параметров центробежного литья

Цель работы: получение практических умений и навыков расчёта скорости вращения формы; давления, развиваемое металлом; толщины футеровки формы для центробежного литья.

Теоретический материал

Литьё, при котором формирование отливок осуществляется под действием центробежных сил при свободной заливке металла во вращающиеся формы, называется центробежным. Центробежное литьё применяется в основном для получения полых отливок в виде тел вращения (преимущественно трубы, трубные заготовки, втулки и т.п.) без стержней из чугуна, стали, сплавов титана, алюминия, магния и цинка.

Центробежным литьём можно получить отливки массой от нескольких килограммов до 45 т, толщиной стенок от нескольких миллиметров до 350 мм, а также тонкостенные отливки из сплавов с низкой текучестью, что невозможно сделать при других способах литья.

Производительность центробежного литья в несколько раз превышает производительность литья в песчаные формы, так как отпадает потребность в площадях для формовки, смесях, связующих материалах для стержней, а также в оборудовании для сушки форм и стержней. Процесс центробежного литья может быть полностью механизирован или автоматизирован, что уменьшает потери от брака и сокращает потребность в высококвалифицированной рабочей силе. Центробежные отливки отличаются лучшими механическими свойствами литого металла. Значительные технико-экономические показатели достигаются экономией металла, энергоэнергии и за счёт уменьшения продолжительности производственного цикла.

Особенностью центробежного литья является необходимость использования специальных машин и форм повышенной прочности и герметичности. Для получения нужного размера внутреннего отверстия отливки требуется строгое дозирование металла и сама отливка должна иметь только форму тела вращения. Основным дефектом отливки может быть увеличение ликвации компонентов сплавов по плотности. Возможно наличие усадочной пористости, возможность появления дефектов в виде продольных и поперечных трещин, газовых пузырей.

Этапы получения отливки центробежным литьём включают:

- заливку расплавленного металла в предварительно нагретую прядильную головку, которая может иметь либо горизонтальную, либо вертикальную ориентацию в зависимости от конфигурации отливаемой детали;
- распределение расплавленного металла с высокой скоростью заливки в форму под действием центробежной силы с давлением, практически превышающим в сто раз силу тяжести. В результате вращения формы более плотный расплавленный металл прижимается к стенке машины;

- извлечение отливки после затвердевания отливки из матрицы. Остаточные загрязнения во внутреннем диаметре удаляются с поверхности механической обработкой.

Различают вертикальный, горизонтальный вакуумный способы центробежного литья.

При вертикальном способе получения отливки на машинах, в которых форма (изложница) вращается вокруг вертикальной оси, заливка расплавленного металла или сплава производится сверху во вращающуюся форму через отверстие, расположенное по оси вращения шпинделя. В процессе вращения металл или сплав под действием центробежных сил распределяется по боковым стенкам формы. Этим способом изготавливают отливки с небольшими значениями по высоте (кольца, фланцы, короткие втулки), так как отливки получаются с неравномерными стенками по толщине: в нижней части более толстыми.

Более распространенным способом центробежного литья является горизонтальный, при котором форма вращается вокруг горизонтальной оси. При этом внутренняя поверхность изложницы играет роль формообразующей поверхности, где действуют центробежные силы.

Вакуумный способ центробежного литья применяется, когда при детализации деталей имеет решающее значение воздействие атмосферы, так как некоторые сплавы, в том числе никель кобальтовые, реактивны по отношению к кислороду. Это литьё обеспечивает достаточно высокую надёжность изделий, используемых в аэрокосмической и военной промышленности.

Основными параметрами центробежного литья, по которым производится расчет, являются:

- 1) скорость вращения формы или частота вращения;
- 2) давление, развиваемое металлом;
- 3) сила, действующую на инородное включение в металле;
- 4) толщина футеровки формы.

Частота вращения формы определяет качество и физико-механические свойства отливок. При заниженной скорости частоты вращения наблюдаются искажения свободной поверхности и явление «дождевания» металла. При завышенной – сильно возрастает давление жидкого металла, что приводит к образованию трещин, усилению пригара, усилению ликвации компонентов сплава, наблюдаются натеки на наружной поверхности.

Минимально допустимые обороты формы при горизонтальной оси вращения, предотвращающие процесс «дождевания» металла, определяются по формуле

$$n_{\text{кр}} = 9,6 \sqrt{\frac{2g}{r} \left(7 - \frac{r^2}{R^2}\right)}, \text{ мин}^{-1},$$

где g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; r – радиус свободной поверхности отливки, м ; R – радиус наружной поверхности отливки, м .

Оптимальное число оборотов при горизонтальной оси вращения для отливок общего назначения:

при отношении

$$\frac{R}{r} \leq 3,$$

$$n_r = \frac{17460}{\sqrt{pr}}, \text{ мин}^{-1}.$$

Формула выведена из условия обеспечения минимальной величины эффективной плотности, необходимой для получения качественной отливки порядка $(300 \dots 400) \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Для толстостенных отливок при $R/r > 3$ определяющим фактором скорости вращения является давление, развиваемое металлом. В этом случае оптимальное число оборотов при горизонтальной оси вращения

$$n_r = 42,3 \sqrt{\frac{P}{gp(R^2 - r^2)}}, \text{ мин}^{-1},$$

где P – давление, развиваемое металлом на наружной поверхности отливки, Па.

Предельное давление составляет 0,6 МПа, оптимальное давление 0,4...0,6 МПа (400...600 кПа).

Число оборотов формы при вертикальной оси вращения:

$$n_B = 42,3 \sqrt{\frac{h}{t(2r_1 - t)}}, \text{ мин}^{-1},$$

где h – высота отливки, м; t – задаваемая разностенность, м; r_1 – радиус свободной поверхности отливки в ее верхнем сечении, м.

Величина «разностенность» зависит от высоты отливки и обычно лежит в пределах $(0,01 \dots 0,02) h$.

Давление, развиваемое металлом на наружной поверхности отливки:

$$P = p \frac{\omega^2}{2} (R^2 - r^2) = 5,47 \cdot 10^{-3} \cdot n^2 p (R^2 - r^2), \text{ Па},$$

где n – скорость вращения, мин^{-1} .

Сила, действующая на инородное неметаллическое включение в металле

$$F_B = \frac{\omega^2 r_B}{g} \cdot V_B \cdot (\rho_B - \rho) = 1,1 \cdot 10^{-3} n^2 r_B V_B (\rho_B - \rho), \text{ Н},$$

где n – скорость вращения, мин^{-1} ; r_B – расстояние от центра вращения до включения, м; V_B – объем включения, м^3 , для шаровидного включения диаметром d объем равен $V_B = \pi d^3 / 6$; ρ_B – плотность включения, м^3 .

Если $F_B < 0$, частица (включение) движется к центру вращения, что способствует удалению из металла газовых, шлаковых включений, частиц футеровки и т.д.

Для защиты от действия жидкого металла на рабочую поверхность изложницы наносят огнеупорную футеровку определенной толщины:

$$T = 0,075 \sqrt{(R - r)}, \text{ м}.$$

Задание

По чертежу детали, выданному преподавателем, осуществить расчет скорости вращения формы; давления, развиваемое металлом или сплавом; толщины футеровки формы для центробежного литья.

Вопросы для самоконтроля:

1. Какое литьё называется центробежным?
2. Какие детали можно получить центробежным литьём?
3. Перечислите преимущества центробежного литья перед литьем в песчаные формы.
4. Что можно отнести к недостаткам центробежного литья?
5. Какие этапы получения отливок центробежным литьем?
6. В чём особенности оборудования для центробежного литья?
7. По каким параметрам ведётся расчет процесса центробежного литья?
8. Перечислите способы центробежного литья.
9. Когда рекомендуется применять вертикальный способ?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дальский, А. М. Технология конструкционных материалов: учебник для машиностроительных специальностей вузов / А. М. Дальский, И. А. Арутюнова, Т. М. Барсукова [и др.]; под общ. ред. А. М. Дальского. – Москва: Машиностроение, 1985. – 448 с.
2. Технология конструкционных материалов: учебник для машиностроительных специальностей вузов / Г. П. Фетисов, М. Г. Карпман, В. М. Матюнин [и др.]; под ред. Г. П. Фетисова. – Москва: Высшая школа, 2000. – 638 с.
3. Технология литейного производства [Электронный ресурс]: учебник / Ю. И. Категоренко [и др.]; под ред. Ю. И. Категоренко, В. М. Миляева. – Екатеринбург: Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2018. – 684 с. – Режим доступа: <http://elar.rsvpu.ru/handle/978-5-8050-0641-9>.
4. Аддитивные технологии в опытном литейном производстве. Технологии литья металлов и пластмасс с использованием синтез-моделей и синтез-форм (д. т. н. Михаил Зленко, НИИМашТех ОНТИ СПбГПУ; инж. Забеднов П. В., ФГУП «Внештехника»).
5. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – Москва: Машиностроение, 1985. – Т. 1. – 656 с.
6. Серебряков, В. В. Механизированное изготовление стержней в литейном производстве / В. В. Серебряков, Ю. Е. Фицкин. – Москва: Высшая школа, 1987. – 287 с.
7. Акутин, А. А. Методические указания к выполнению практических занятий по дисциплине «Специальные технологии литья» для аспирантов специальности 05.16.04 «Литейное производство» / А. А. Акутин. – Рыбинск: ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П. А. Соловьева», 2016. – 80 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http:// Spets.tekhn.litya-Prakt.zan](http://Spets.tekhn.litya-Prakt.zan)

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Задание 1

Вопрос 1. Для детали (рис.П.А.1) выбрать оптимальную плоскость разъёма модели и формы, провести технологическую проработку чертежа детали, провести расчёт элементов литниковой системы, разработать модель детали и выполнить литейную песчаную форму в поперечном разрезе.

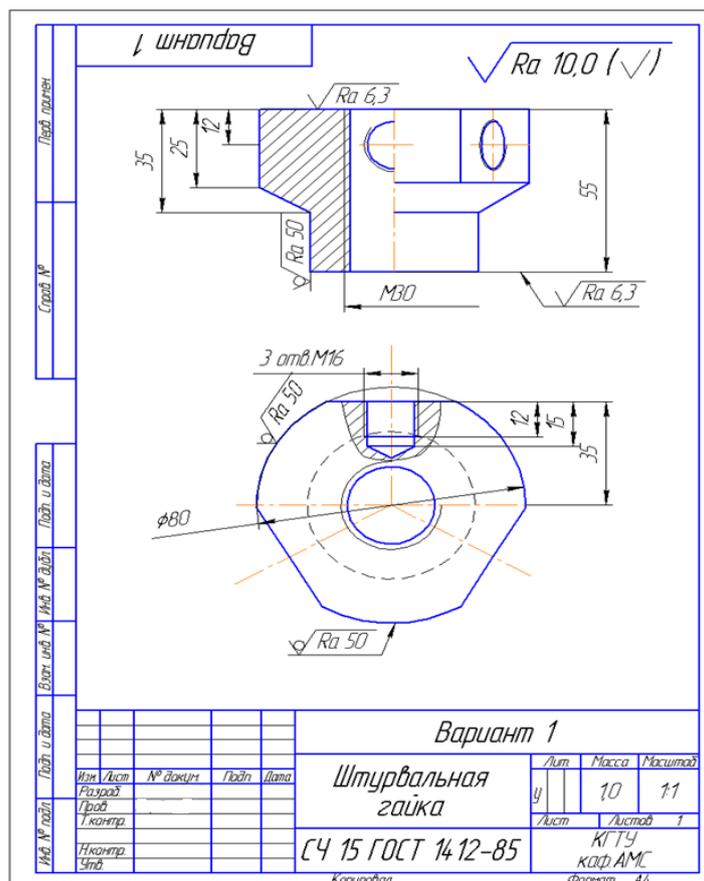


Рисунок П.А.1 – Чертёж штурвальной гайки

Вопрос 2. Литье в оболочковые формы (ЛОФ). Общие сведения. Особенности, преимущества и недостатки способа. Сплавы для ЛОФ. Материалы и смеси для ЛОФ.

Задание 2

Вопрос 1. Для детали (рис. П.А.2) выбрать оптимальную плоскость разъёма модели и формы, провести технологическую проработку чертежа детали, провести расчёт элементов литниковой системы, разработать модель детали и выполнить литейную песчаную форму в поперечном разрезе.

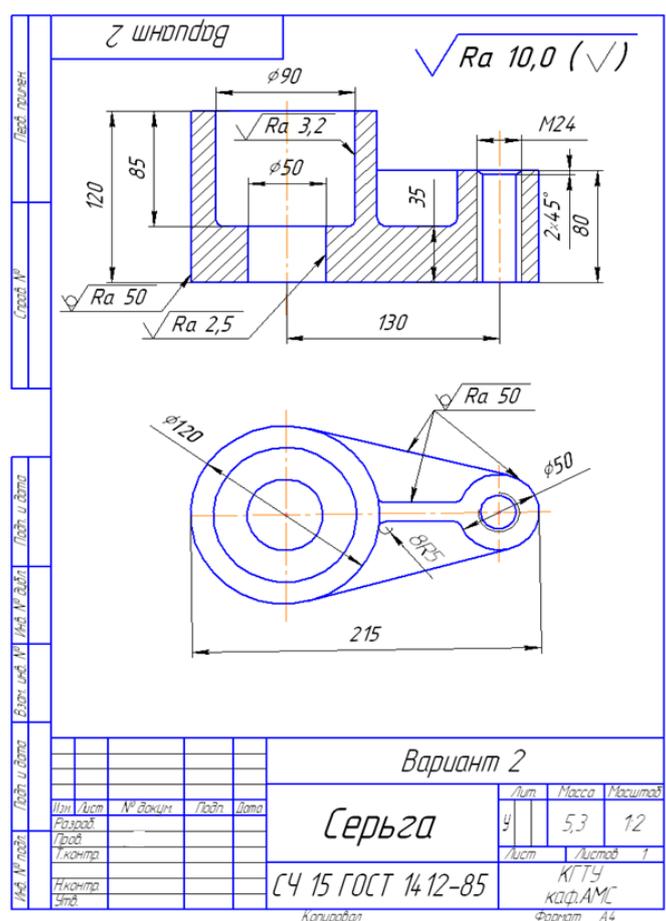


Рисунок П.А.2 – Чертёж гайки

Вопрос 2. Литье по выплавляемым моделям (ЛВМ). Общие сведения. Особенности, преимущества и недостатки способа. Сплавы для ЛВМ. Основные характеристики и марки модельных составов для ЛВМ. Изготовление выплавляемых моделей. Минимальные толщины стенок ЛВМ отливок и припуски.

Задание 3

Вопрос 1. Для детали (рис. П.А.3) выбрать оптимальную плоскость разъёма модели и формы, провести технологическую проработку чертежа детали, провести расчёт элементов литниковой системы, разработать модель детали и выполнить литейную песчаную форму в поперечном разрезе.

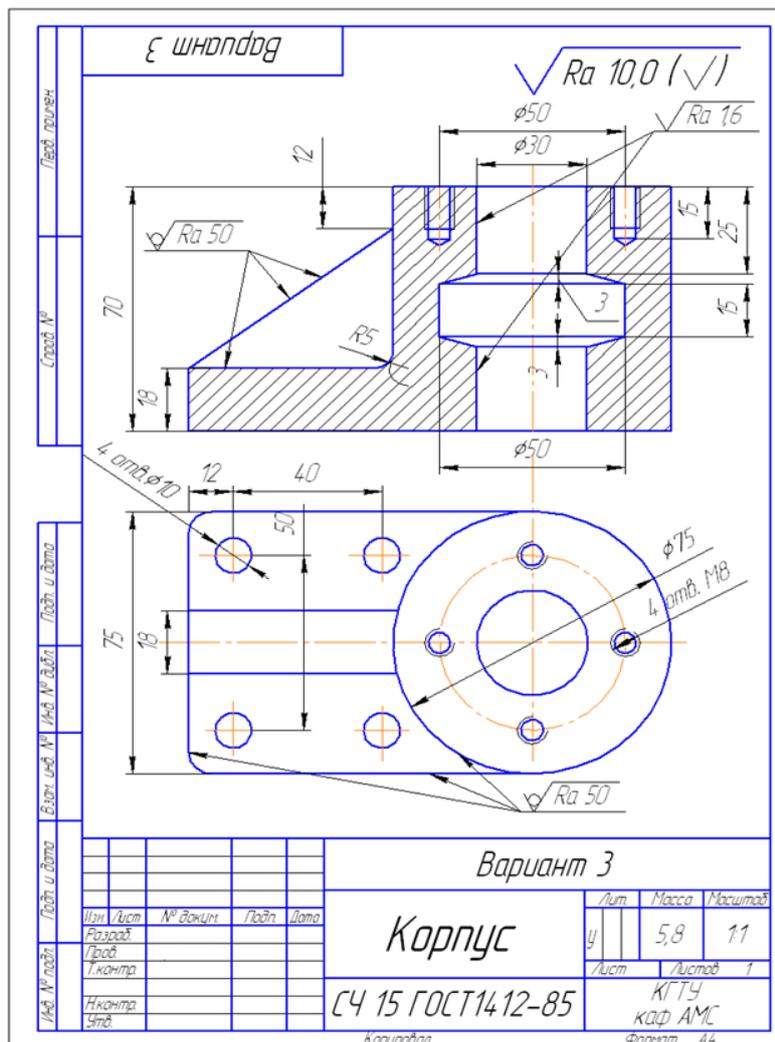


Рисунок П.А.3 – Чертёж гайки

Вопрос 2. Сущность технологии литья в кокиль. Определение – кокиль, литье в кокиль. Принципиальные отличия кокиля от литья в песчаные формы. Основные преимущества и недостатки литья в кокиль. Рациональная область применения кокильного литья. Основные требования к сплавам для кокильного литья. Сплавы для литья в кокиль с хорошими литейными свойствами. Конструктивные элементы кокильных отливок. Минимальные толщины стенок кокильных отливок и припуски.

Задание 4

Вопрос 1. Для детали (рис. П.А.4) выбрать оптимальную плоскость разъёма модели и формы, провести технологическую проработку чертежа детали, провести расчёт элементов литниковой системы, разработать модель детали и выполнить литейную песчаную форму в поперечном разрезе.

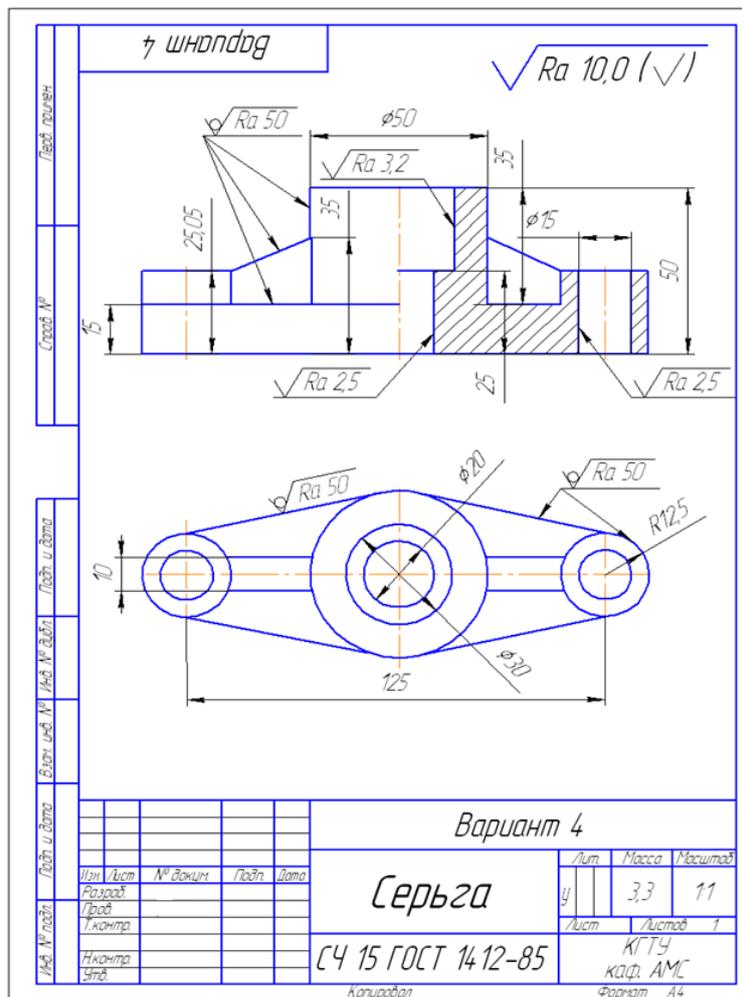


Рисунок П.А.4 – Чертеж серьги

Вопрос 2. Литье под давлением (ЛПД). Основные преимущества и недостатки ЛПД. Сплавы для ЛПД. Особенности разработки технологического процесса ЛПД. Особенности конструкции пресс-форм для ЛПД. Материалы. Технологические режимы ЛПД. Температуры заливки металла и пресс-формы. Перспективы развития ЛПД.

Задание 5

Вопрос 1. Для детали (рис. П.А.5) выбрать оптимальную плоскость разъёма модели и формы, провести технологическую проработку чертежа детали, провести расчёт элементов литниковой системы, разработать модель детали и выполнить литейную песчаную форму в поперечном разрезе.

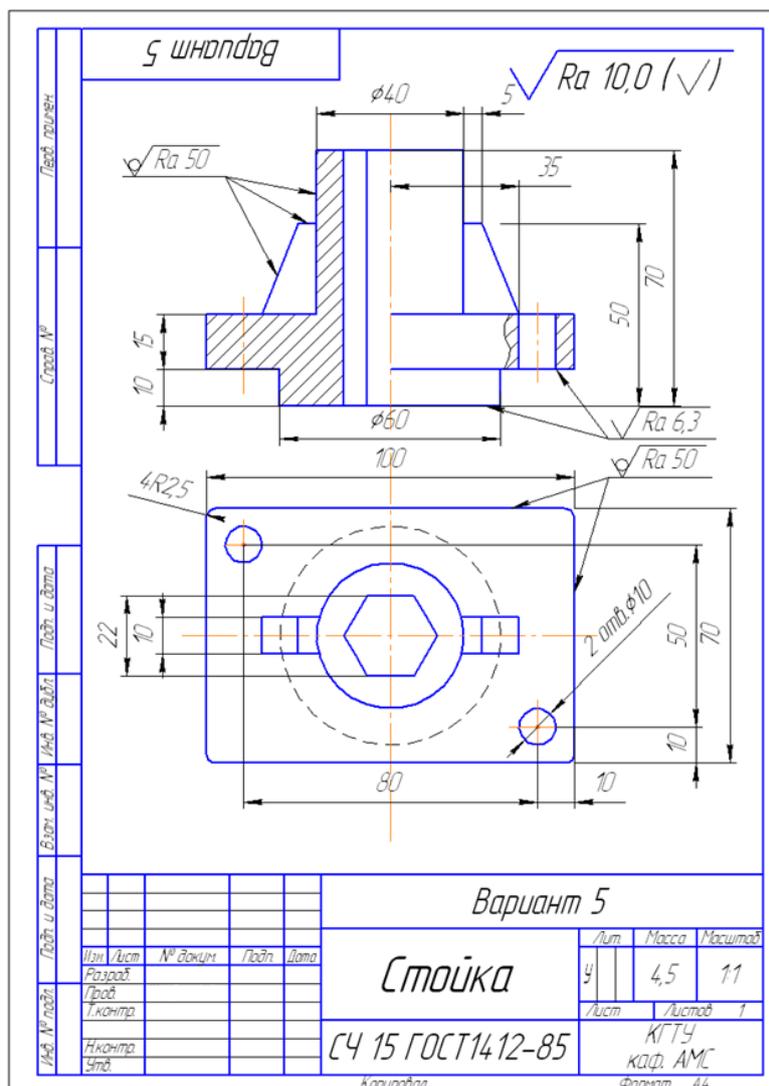


Рисунок П.А.5 – Чертеж стойки

Вопрос 2. Литье под низким давлением (ЛНД). Общие сведения. Основные преимущества и недостатки ЛНД. Технологические особенности ЛНД. Перспективы развития ЛНД.

Задание 6

Вопрос 1. Для детали (рис. П.А.6) выбрать оптимальную плоскость разъёма модели и формы, провести технологическую проработку чертежа детали, провести расчёт элементов литниковой системы, разработать модель детали и выполнить литейную песчаную форму в поперечном разрезе.

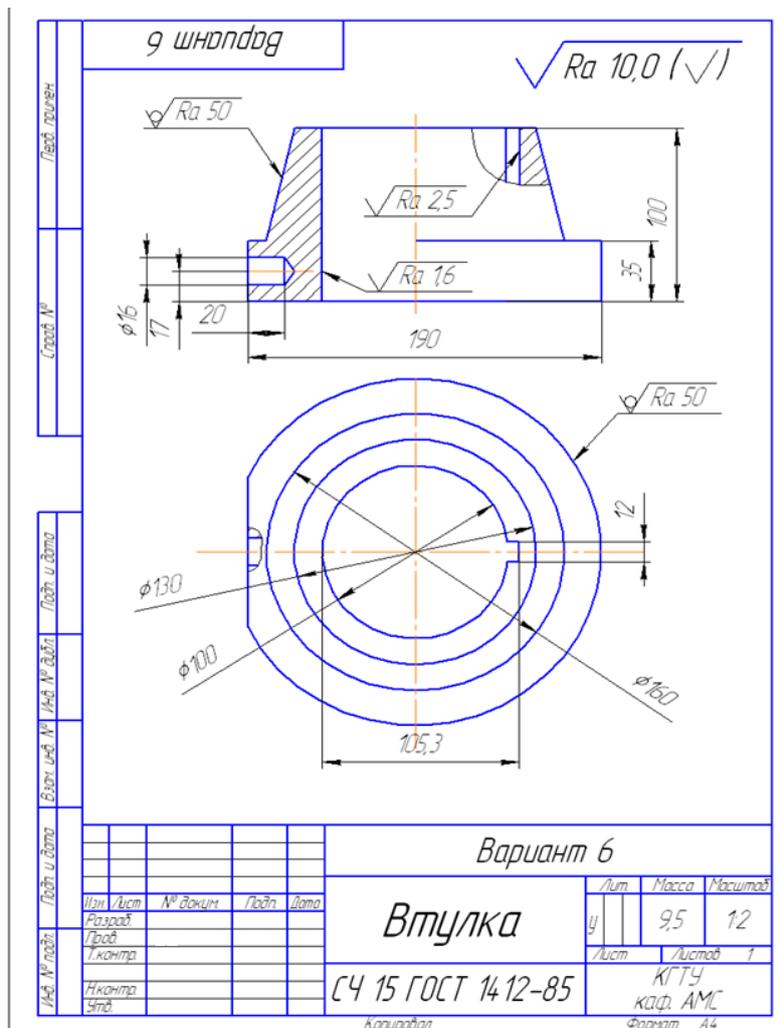


Рисунок П.А.6 – Чертеж втулки

Вопрос 2. Литье с кристаллизацией под давлением (ЛКД). Сущность, достоинства и технологические особенности способа. Классификация процессов отливки при ЛКД. Выбор технологических параметров процессов. Материалы отливок. Защитные смазки и покрытия для пресс-форм.

Задание 7

Вопрос 1. Для детали (рис. П.А.7) выбрать оптимальную плоскость разъёма модели и формы, провести технологическую проработку чертежа детали, провести расчёт элементов литниковой системы, разработать модель детали и выполнить литейную песчаную форму в поперечном разрезе.

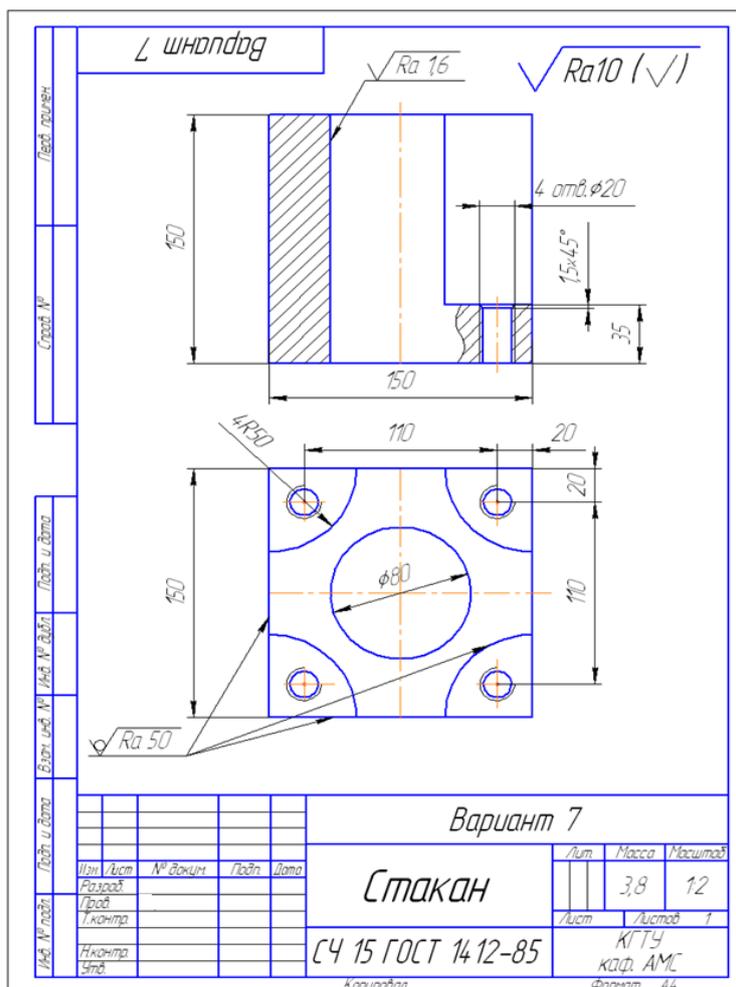


Рисунок П.А.7 – Чертеж стакана

Вопрос 2. Литые выжиманием (ЛВ). Сущность, области применения. Основные преимущества и недостатки. Технологические особенности.

Задание 8

Вопрос 1. Для детали (рис. П.А.8) выбрать оптимальную плоскость разреза модели и формы, провести технологическую проработку чертежа детали, провести расчёт элементов литниковой системы, разработать модель детали и выполнить литейную песчаную форму в поперечном разрезе.

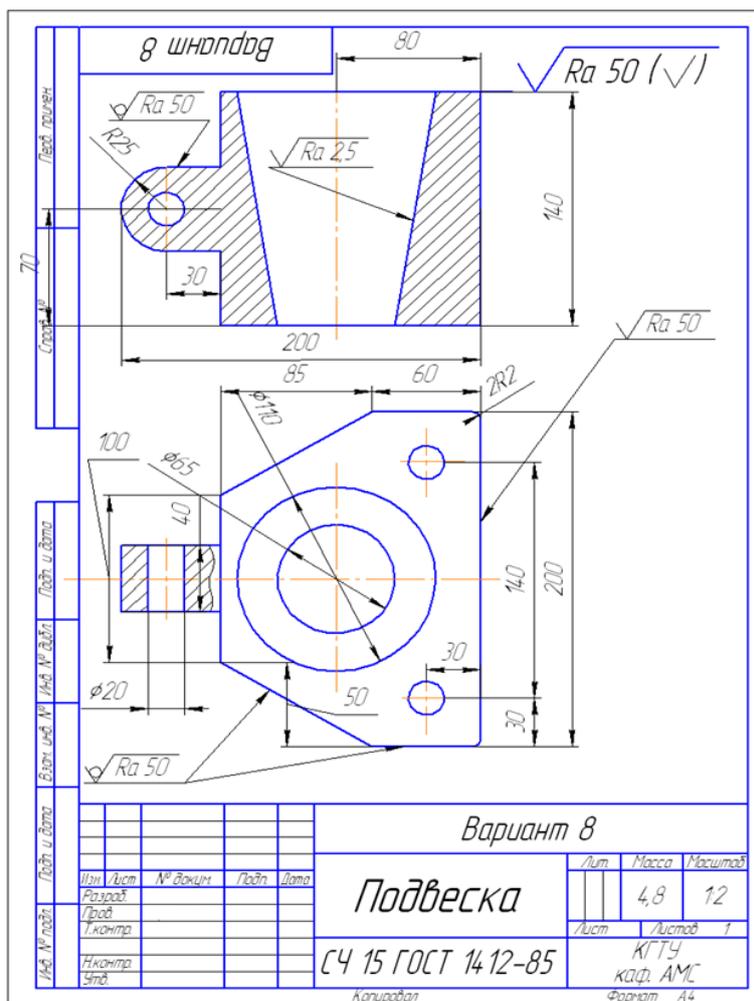


Рисунок П.А.8 – Чертеж подвески

Вопрос 2. Центробежное литье (ЦЛ). Сущность, достоинства и недостатки способа. Технологические особенности образования центробежных отливок. Основные параметры технологии ЦЛ.

Задание 9

Вопрос 1. Для детали (рис. П.А.9) выбрать оптимальную плоскость разъёма модели и формы, провести технологическую проработку чертежа детали, провести расчёт элементов литниковой системы, разработать модель детали и выполнить литейную песчаную форму в поперечном разрезе.

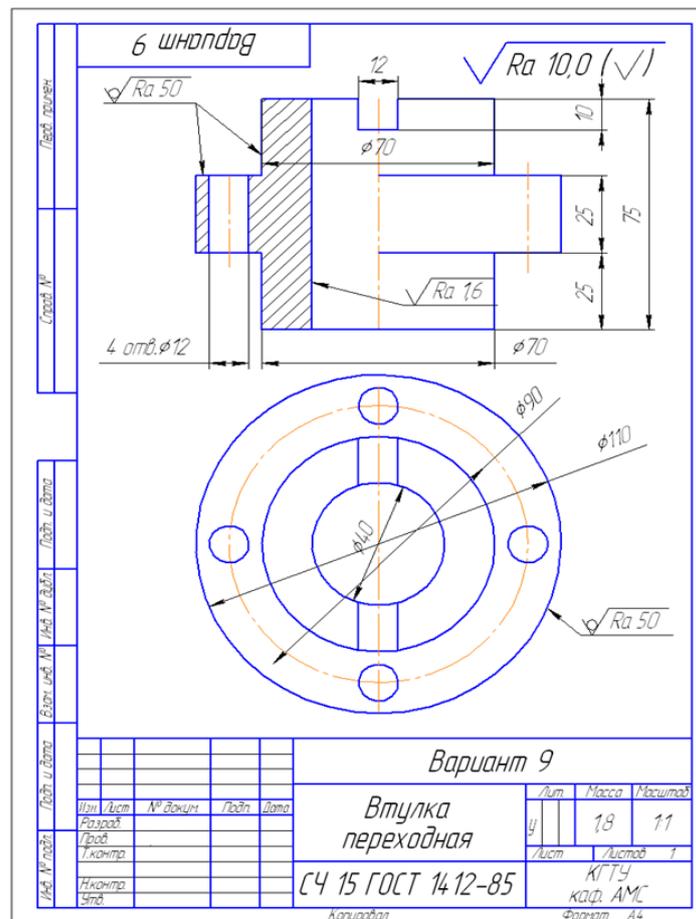


Рисунок П.А.9 – Чертеж втулки переходной

Вопрос 2. Электрошлаковое литье (ЭШ). Сущность, достоинства и недостатки способа. Конструктивно-технологические особенности ЭШ. Материалы отливок. Регулирование скорости.

Задание 10

Для детали (рис. П.А.10) выбрать оптимальную плоскость разреза модели и формы, провести технологическую проработку чертежа детали, провести расчёт элементов литниковой системы, разработать модель детали и выполнить литейную песчаную форму в поперечном разрезе.

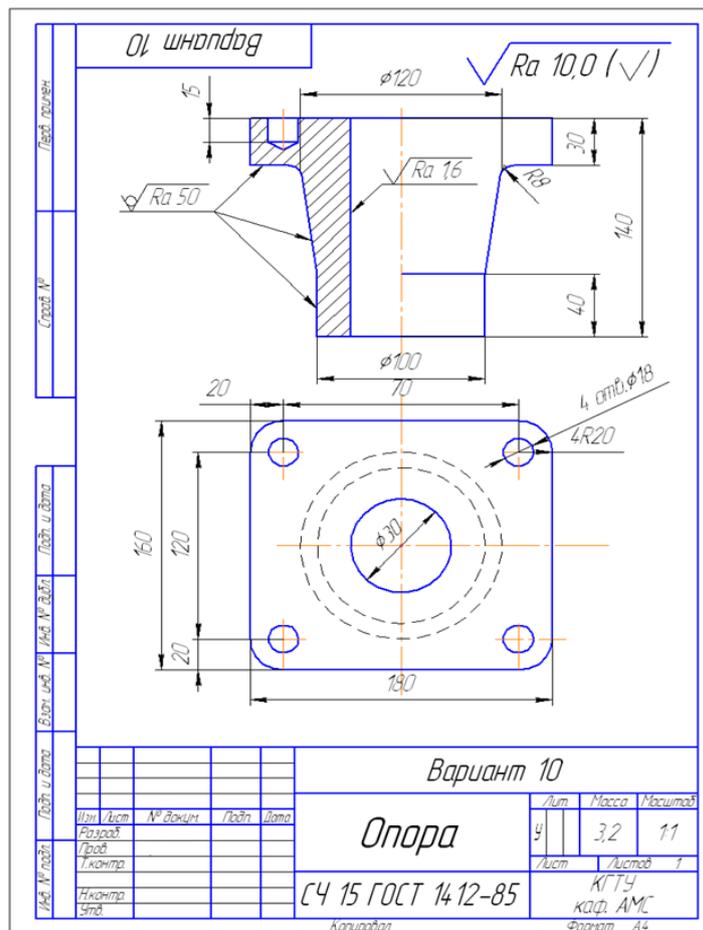


Рисунок П.А.10 – Чертеж опоры

Вопрос 2. Непрерывное и полунепрерывное литьё. Общие сведения
 Сущность, достоинства и недостатки способа. Технологические особенности
 образования.

ВОПРОСЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Главные направления развития литейной технологии.
2. Классификация специальных способов литья. Показатели при выборе технологии литья.
3. Литьё в песчаные формы. Сущность технологии литья в песчаные формы. Оснастка. Область применения. Основные преимущества и недостатки.
4. Порядок проектирования литейной песчано-глиняной формы. Последовательность разработки технологического процесса изготовления отливок. Назначение технологических напусков на отливки в песчаные формы
5. Формовочные и стержневые материалы и смеси.
6. Проектирование и расчет литниковых систем для литья в песчаные формы.
7. Особенности проектирование стержней литейной песчаной формы.
8. Расчет и конструирование внутренних и наружных холодильников.
9. Сущность технологии литья в кокиль. Принципиальные отличия кокиля отличия в песчаные формы. Основные преимущества и недостатки литья в кокиль. Рациональная область применения кокильного литья.
10. Основные требования к сплавам для кокильного литья. Сплавы для литья в кокиль с хорошими литейными свойствами. Минимальные толщины стенок кокильных отливок и припуски.
11. Основные требования к конструкции кокильных отливок. Основные материалы для изготовления кокилей. Материалы для изготовления металлических стержней.
12. Основные условия получения качественной кокильной отливки. Конструкция стояка, коллектора и питателя при литье в кокиль. Расчет литниковой системы для кокильного литья чугуна.
13. Литье под давлением. Общие сведения. Основные преимущества и недостатки литья под давлением. Сплавы. Особенности разработки технологического процесса ЛПД. Проектирование и расчет литниковой и вентиляционной систем.
14. Особенности конструкции пресс-форм для ЛПД. Материалы. Нормализация пресс-форм. Основные задачи при конструировании пресс-форм.
15. Технологические режимы ЛПД. Температуры заливки металла и пресс-формы. Подогрев, охлаждение и смазка пресс-форм для ЛПД.
16. Перспективы развития ЛПД.
17. Литье под низким давлением (ЛНД). Общие сведения.
18. Основные преимущества и недостатки ЛНД.
19. Технологические особенности ЛНД. Перспективы развития ЛНД.
20. Литье вакуумным всасыванием (ЛВВ). Сущность, достоинства и технологические особенности способа.
21. Литье выжиманием (ЛВ). Сущность, области применения.

22. Литье с кристаллизацией под давлением (ЛКД). Сущность, достоинства и технологические особенности способа.

23. Центробежное литье (ЦЛ). Сущность, достоинства и недостатки способа.

24. Технологические особенности образования центробежных отливок. Основные параметры технологии ЦЛ.

25. Литье по выплавляемым моделям (ЛВМ). Общие сведения. Особенности, преимущества и недостатки способа. Сплавы для ЛВМ.

26. Особенности и назначение литниково-питающих систем при ЛВМ. Типы и расчеты литниково-питающих систем.

27. Пресс-формы для изготовления выплавляемых моделей.

28. Основные характеристики и марки модельных составов для ЛВМ.

29. Изготовление выплавляемых моделей.

30. Изготовление литейной формы для ЛВМ. Классификация форм по конструкции и химическим свойствам оболочки.

31. Материалы для изготовления форм ЛВМ. Приготовление связующего на этилсиликате.

32. Обмазка, обсыпка, сушка оболочки, выплавление моделей.

33. Формовка оболочек, прокаливание и заливка ЛВМ.

34. Литье в оболочковые формы (ЛОФ). Общие сведения. Особенности, преимущества и недостатки способа. Сплавы для ЛОФ.

35. Материалы и смеси для ЛОФ. Приготовление смесей.

36. Особенности модельной оснастки для ЛОФ. Литниковые системы.

37. Изготовление форм для ЛОФ. Подготовка и заливка форм.

38. Литье по газифицируемым моделям (ЛГМ). Общие сведения. Особенности, преимущества и недостатки способа. Материалы для ГМ. Особенности формовки.

39. Литье в гипсовые и керамические формы. Основные преимущества и недостатки

40. Литье намораживанием. Основные преимущества и недостатки литье намораживанием. Рациональная область применения.

41. Электрошлаковое литье. Основные преимущества и недостатки

42. Литье с направленной кристаллизацией.

43. Литье погружением.

44. Непрерывное литье. Основные преимущества и недостатки непрерывного литья. Рациональная область применения.

Локальный электронный методический материал

Ирина Алексеевна Соколова

ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЛИТЫХ ИЗДЕЛИЙ

Редактор Е. Билко

Уч.-изд. л. 8,3. Печ. л. 6,6

Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»,
236022, Калининград, Советский проспект, 1