

Министерство образования Российской Федерации
Владимирский государственный университет

В.А. КЕЧИН
Г.Ф. СЕЛИХОВ
А.Н. АФОНИН

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК

Учебное пособие

Допущено Министерством образования Российской Федерации в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки бакалавров и магистров "Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств", специальностям "Технология машиностроения", "Металлообрабатывающие станки и комплексы" направления подготовки дипломированных специалистов "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств"

Владимир 2002

УДК 621.74 (07)
К37

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой
«Литейные технологии» Московского государственного
технического университета им. Н.Э. Баумана
В.А. Рыбкин

Доктор технических наук, профессор, президент общероссийской общественно
организации «Российская ассоциация литейщиков» г. Москва
И.А. Дибров

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Владимирского государственного университета

Кечин В.А., Селихов Г.Ф., Афонин А.Н.

Проектирование и производство литых заготовок: Учеб. пособие /
Владим. гос. ун-т. Владимир, 2002. - 228 с.

Изложены свойства, характеристики и технология плавки литейных сплавов. Даны основы обеспечения технологичности конструкций литых деталей, методики выбора и технико-экономического обоснования рациональных способов изготовления и разработки чертежей литых заготовок и технологической оснастки для их изготовления. Представлены технико-экономические данные и особенности основных современных способов литья.

Предназначено в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств», «Автоматизация и управление», специальностям «Технология машиностроения», «Металлорежущие станки и инструменты», «Автоматизация технологических процессов и производств» «Машины и технология литейного производства».

Табл. 120, Ил. 53, Библиогр.: 44 назв.

УДК 621.74 (07)

ISBN 5-89368-305-6

© Владимирский государственный
университет. 2002

© Кечин В.А., Селихов Г.Ф.,
Афонин А.Н.. 2002

ВВЕДЕНИЕ.

В результате практического использования достижений научно-технического прогресса, в технологии машиностроения все более четко формируются следующие основные направления развития:

повышение удельного веса непрерывных процессов производительности металлорежущего оборудования, значительное повышение точности на всех стадиях машиностроительного производства;

ускорение внедрения комплексной механизации трудоемких работ и повышения уровня автоматизации процессов, усиление контроля за качеством обработки деталей, применение автоматических манипуляторов, внедрение гибких производственных систем;

совершенствование структуры технологических процессов, заключающиеся в замене трудоемкого труда обработки прогрессивными видами штамповки, проката и точного литья;

снижение уровня удельной материалоемкости деталей, узлов и готовых изделий за счет повышения качественных характеристик конструкционных металлов.

В решении поставленных задач большое место отводится исходной заготовке, и особенно литой, т.к. отливки составляют от 50 до 80% от массы выпускаемых изделий.

Действительно, ни один технологический процесс изготовления продукции машиностроения не может быть поставлен на непрерывный поток производства, если не будут решены вопросы однородности в свойствах и размерах исходных заготовок. Показатели качества изделий так же тесно связаны с точностью и качеством применяемых заготовок. Технологический процесс, построенный на использовании заготовок с большими допусками, припусками, с грубой поверхностью, неоднородной твердостью материала, с большими уклонами может вызвать большие колебания в допусках готовой детали вследствие закона копирования при механической обработке. Влияние качества, себестоимости литых заготовок так же просматриваются и отображаются на других направлениях развития технологии машиностроения.

Постоянно возрастающие требования к литым заготовкам привели к тенденции перехода от традиционных способов литья в песчаные формы к специальным способам литья. Эти тенденции объясняются тем, что специальные способы литья способствуют резкому снижению трудозатрат и материалоемкости получаемых изделий, достижению высоких физико-механических характеристик и эксплуатационных свойств литых изделий.

Наряду с дальнейшим усовершенствованием способов гравитационного литья в специальные формы (кокиль, керамические, оболочковые, графитовые и др.) проводится разработка и внедрение ряда новых эффективных принципов воздействия на жидкий и кристаллизующийся металл и создаются такие специальные способы литья, как литье под регулируемым перепадом давления, литье с применением электрического и электромагнитного воздействия, литье с по-

мощью ультразвуковой обработки и ряд других. Все это привело к наличию большого количества существующих способов изготовления литых заготовок.

Большое разнообразие способов изготовления отливок вызывает определенные трудности в оценке, в выборе, в проектировании чертежа литой заготовки, в осуществлении технологической подготовки производства конкретно-заданной детали. Решению этих задач поможет учебное пособие «Проектирование и производство литых заготовок» при изучении студентами таких учебных дисциплин, как: «Основы технологии машиностроения», «Технология машиностроения», «Аппаратные и программные системы управления», «Управление процессами в машиностроении», «Технологические процессы литья и сварки», при курсовом или дипломном проектировании.

Учебное пособие «Проектирование и производство литых заготовок» может быть полезным так же для инженерно-технических работников, как машиностроительных, так и литейных специальностей.

1. ЛИТЕЙНЫЕ СПЛАВЫ. СВОЙСТВА, ОСОБЕННОСТИ ВЫПЛАВКИ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК

При выборе материалов для деталей следует учитывать характер нагружения детали (статическая, динамическая или знакопеременная нагрузка), влияние размеров сечения детали (масштабный фактор), конструктивную форму (фактор формы) и, наконец, характер технологической обработки.

Выбор литейного сплава при конструировании литых деталей, предназначенных для работы в заданных условиях, определяется служебными (механическими, физическими, химическими и т. д.) и технологическими (литейными, обрабатываемостью) свойствами, а так же стоимостью.

Для изготовления литых деталей применяют: чугун (серый, модифицированный, высокопрочный, ковкий, легированный), сталь (углеродистую, легированную), медные, алюминиевые, магниевые, цинковые, свинцовые, оловянные и никелевые сплавы.

При конструировании литых деталей необходимо учитывать, что механические свойства металла могут быть неодинаковыми в различных по толщине сечениях отливки и даже по сечению (в центре и на периферии), а так же в верхних и нижних частях отливки. Это особенно характерно для чугуна, у которого механические свойства в значительной степени определяются скоростью охлаждения отливки в форме, и поэтому детали с различной толщиной стенок характеризуются различными механическими свойствами. Поэтому нельзя применять одни и те же формулы для расчетов сечений отливок из различных металлов и сплавов.

Как известно, металл при затвердевании приобретает различное кристаллическое строение (различную форму, величину и расположение зерен), зависящие от толщины сечения отливки, условий заливки и охлаждения. Кристаллическое строение определяет, в свою очередь, механические свойства литого

изделия. Механические и иные свойства литой детали в значительной степени могут быть изменены термической обработкой.

1.1. Литейные свойства сплавов

Возможность получения тонкостенных, сложных по форме или больших по размерам отливок без дефектов предопределяется литейными свойствами сплавов. Наиболее важные показатели литейных свойств сплавов: жидкотекучесть, усадка (линейная и объемная), склонность к образованию трещин, склонность к поглощению газов и образованию газовых раковин и пористости в отливках и др.

1.1.1 Жидкотекучесть литейных сплавов

Жидкотекучесть – это способность металлов и сплавов течь в расплавленном состоянии по каналам литейной формы, заполнять ее полости и четко воспроизводить контуры отливки.

Жидкотекучесть литейных сплавов зависит от температурного интервала кристаллизации, вязкости и поверхностного натяжения расплава, температуры заливки и формы, свойств литейной формы и т.д.

Чистые металлы и сплавы, затвердевающие при постоянной температуре (эвтектические сплавы), обладают лучшей жидкотекучестью, чем сплавы, образующие твердые растворы и затвердевающие в интервале температур. Чем выше вязкость, тем меньше жидкотекучесть. С увеличением поверхностного натяжения жидкотекучесть понижается и тем больше, чем тоньше канал в литейной форме, с повышением температуры заливки расплавленного металла и температуры формы жидкотекучесть улучшается. Увеличение теплопроводности материала формы снижает жидкотекучесть. Так, песчаная форма отводит теплоту медленнее, и расплавленный металл заполняет ее лучше, чем металлическую форму, которая интенсивно охлаждает расплав. Жидкотекучесть литейных сплавов определяют с помощью различных методов и технологических проб (рис. 1.1).

Используемые методы можно разделить на три группы. В первой группе фиксируют прекращение движения металла в сужающемся канале. Жидкотекучесть характеризуется линейными размерами заполненной или незаполненной полости канала, например клиновой пробы (рис. 1.1, а). Прекращение движения жидкого металла может наступить в результате кристаллизации и в жидком состоянии под действием сил поверхностного натяжения. Во второй группе прекращение течения металла наступает вследствие кристаллизации его в узком сечении короткого канала. Величина жидкотекучести может быть оценена по массе металла, вытекшего от начала испытания до прекращения течения. В пробах третьей группы фиксируют длину затвердевшей части металла в канале постоянного сечения. Известно большее разнообразие проб последней группы, которые широко используются в производстве и лабораторных исследованиях. Спиральную пробу (рис. 1.1, б) широко применяют для определения жидкотекучести чугуна и цветных металлов. Она состоит из чаши 1, фильтра 2, стояка

3, металлоприемника 4 и спирального канала 5 трапецевидного сечения с небольшими выступами 6.

Жидкотекучесть определяют по пути, пройденному жидким металлом до затвердевания, т. е. по длине прутка. Небольшие выступы 6, нанесенные через 50 мм, облегчают измерение длины спирали (прутка). Спиральный канал позволяет получить длинные прутки в сравнительно небольших формах.

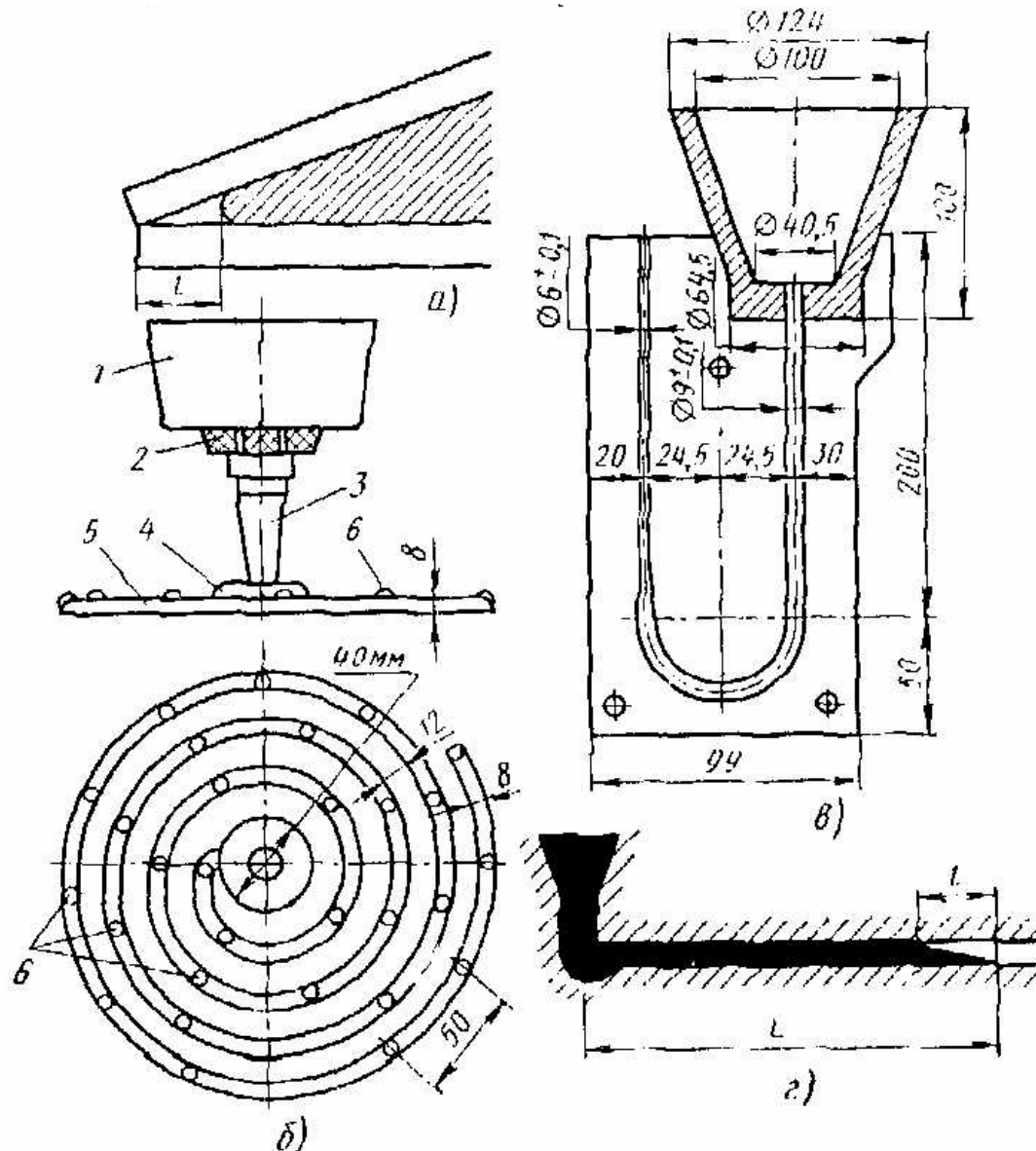


Рис. 1.1. Технологические пробы для определения жидкотекучести.

Пробу, приведенную на рис. 1.1, выполняют в металлической форме и используют главным образом для многократного определения жидкотекучести стали на рабочей площадке сталеплавильной печи. Пробу в виде прутка (рис. 1.1, г) также часто используют для оценки жидкотекучести стали. На некоторой части в конце пробы сечение затвердевшего металла оказывается суженным на длине l .

Длину $L - l$, на которой не наблюдается сужения сечения, иногда называют мерой формозаполняемости или формовоспроизводимости.

Формозаполняемость F можно оценивать как отношение длины участка $L - l$ к общей длине L .

$$F = \frac{L - l}{L} 100\% \quad (1.1)$$

1.1.2. Усадка литейных сплавов

Усадка – свойство литейных сплавов уменьшать объем при затвердевании и охлаждении. Усадочные процессы в отливках протекают с момента заливки расплавленного металла в литейную форму вплоть до полного охлаждения отливки. Различают линейную и объемную усадку, выражаемую в относительных единицах, %.

Линейная усадка – уменьшение линейных размеров отливки при ее охлаждении от температуры, при которой образуется прочная корка, способная противостоять давлению расплавленного металла, до температуры окружающей среды. Линейную усадку определяют соотношением, %:

$$\varepsilon_{\text{лин}} = \frac{(l_{\phi} - l_{\text{от}}) 100\%}{l_{\text{от}}} \quad (1.2)$$

где l_{ϕ} и $l_{\text{от}}$ – размеры полости формы и отливки при температуре 20°C .

На линейную усадку влияют химический состав сплава, температура его заливки, скорость охлаждения сплава в форме, конструкция отливки и литейной формы. Так, усадка серого чугуна уменьшается с увеличением содержания углерода и кремния. Усадку алюминиевых сплавов уменьшает повышенное содержание кремния, усадку отливок – снижение температуры заливки. Увеличение скорости отвода теплоты от залитого в форму сплава приводит к возрастанию усадки отливки.

При охлаждении отливки происходит механическое и термическое торможение усадки. Механическое торможение возникает вследствие трения между отливкой и формой. Термическое торможение обусловлено различными скоростями охлаждения отдельных частей отливки. Сложные по конфигурации отливки подвергаются совместному воздействию механического и термического торможения.

Линейная усадка для серого чугуна составляет 0,9...1,5%, для углеродистых сталей 2...2,4%, для алюминиевых сплавов 0,9...1,5%, для медных 1,4...2,3%.

Объемная усадка – уменьшение объема сплава при его охлаждении в литейной форме при формировании отливки. Объемную усадку определяют соотношением, %:

$$\varepsilon_{\text{об}} = (V_{\phi} - V_{\text{от}}) 100 / V_{\text{от}}, \% \quad (1.3)$$

где V_{ϕ} и $V_{\text{от}}$ – объем полости формы и объем отливки при температуре 20°C .

Объемная усадка приблизительно равна утроенной линейной усадке:

$$\varepsilon_{\text{об}} = 3 \varepsilon_{\text{лин}} \quad (1.4)$$

Усадка в отливках проявляется в виде усадочных раковин, пористости, трещин и короблений.

Усадочные раковины – сравнительно крупные полости, расположенные в местах отливки, затвердевающих последними. Сосредоточенные крупные усадочные раковины образуются при изготовлении отливок из чистых металлов, сплавов эвтектического состава (сплав АЛ2) и сплавов с узким интервалом кристаллизации (низкоуглеродистые стали, безоловянистые бронзы и др.).

Усадочная пористость - скопление пустот, образовавшихся в отливке в обширной зоне в результате усадки в тех местах отливки, которые затвердевали последними без доступа к ним расплавленного металла. Усадочная пористость располагается по границам зерен металла.

Получить отливки без усадочных раковин и пористости возможно за счет непрерывного подвода расплавленного металла в процессе кристаллизации вплоть до полного затвердевания. С этой целью на отливки устанавливают прибыли – резервуары с расплавленным металлом, которые обеспечивают доступ расплавленного металла к участкам отливки, затвердевающим последними. На рис. 1.2, а прибыль 1 не может обеспечить доступ расплавленного металла к массивному участку отливки 3. В этом месте образуется усадочная раковина 2 и пористость. Установка на массивный участок прибыли 4 (рис. 1.2, б) предупреждает образование усадочной раковины и пористости.

Предупреждать образование усадочных раковин и пористости позволяет установка в литейную форму наружных холодильников 5 (рис. 1.2, в) или внутренних холодильников 6 (рис. 1.2, г).

Эти холодильники изготавливают из этого же сплава, что и отливку. При заполнении формы, внутренние холодильники частично расплавляются и свариваются с основным металлом.

1.1.3. Трещины в отливках

В отливках в результате неравномерного затвердевания тонких и толстых частей и торможения усадки формой при охлаждении возникают внутренние напряжения. Эти напряжения тем выше, чем меньше податливость формы и стержней. Если величина внутренних напряжений превзойдет предел прочности литейного сплава в данном участке отливки, то в теле ее образуются горячие или холодные трещины. Если литейный сплав имеет достаточную прочность и пластичность и способен противостоять действию возникающих напряжений, искажается геометрическая форма отливки, появляется коробление.

Холодные трещины возникают в области упругих деформаций, когда сплав полностью затвердел. Тонкие части отливки охлаждаются и сокращаются быстрее, чем толстые. В результате в отливке образуются напряжения, которые и вызывают появления трещин. Холодные трещины чаще всего образуются в тонкостенных отливках сложной конфигурации и тем больше, чем выше упругие свойства сплава, чем значительнее его усадка при пониженных температурах и чем ниже его теплопроводность. Опасность образования холодных трещин в отливках усиливается наличием в сплаве вредных примесей (например,

фосфора в сталях). Для предупреждения образования в отливках холодных трещин необходимо обеспечивать равномерное охлаждение отливок во всех сечениях путем использования холодильников; применять сплавы для отливок с высокой пластичностью; проводить отжиг отливок и т.п.

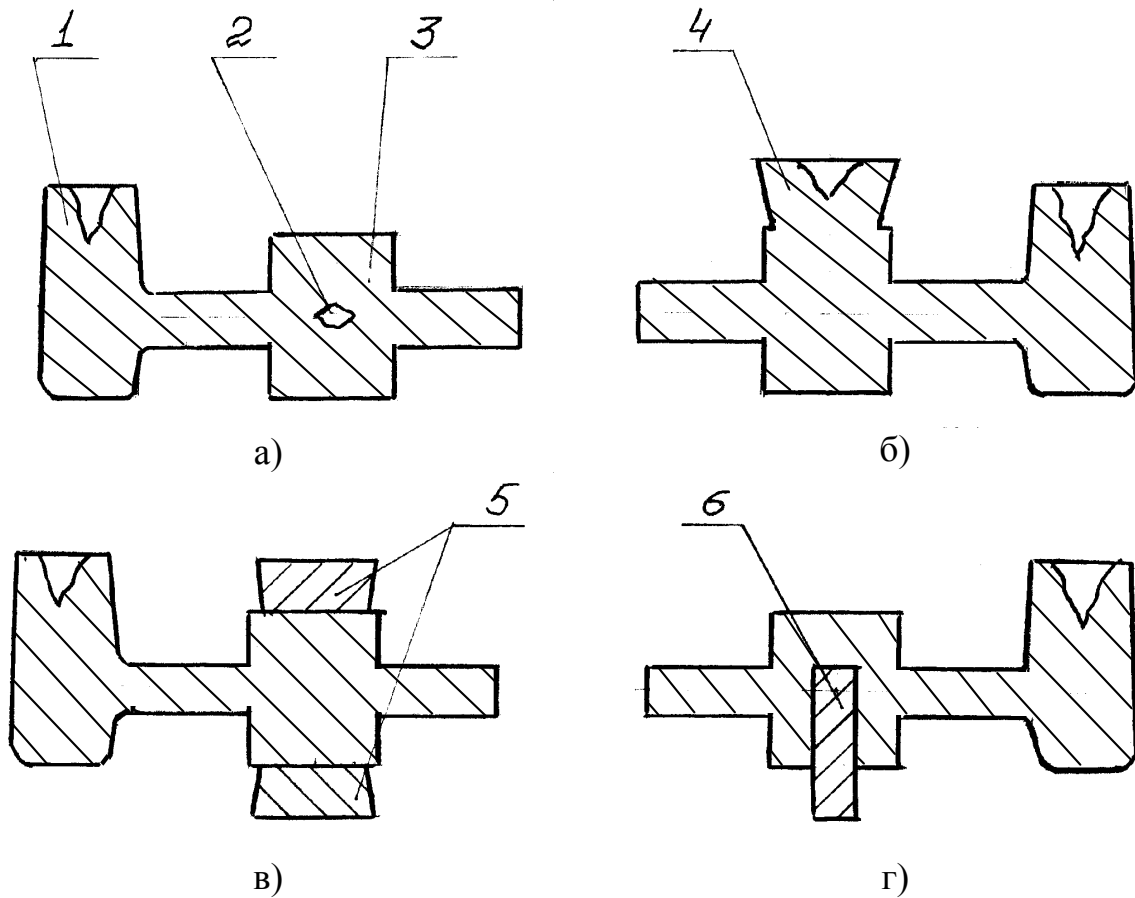


Рис. 1.2. Способы предупреждения усадочных раковин и пористости в отливках.

Коробление отливок – изменение формы и размеров отливки под влиянием внутренних напряжений, возникающих при охлаждении. Коробление увеличивается при усложнении конфигурации отливки и повышением скорости охлаждения, которая вызывает неравномерное охлаждение между отдельными частями отливки и различную усадку. Коробление отливки может быть также вызвано сопротивлением формы усадке отдельных частей отливки. Для предупреждения короблений в отливках необходимо увеличивать податливость формы; создавать рациональную конструкцию отливки и т.д.

1.1.4. Газовые раковины и пористость в отливках

В расплавленном состоянии металлы и сплавы способны активно поглощать значительное количество водорода, кислорода, азота и других газов из оксидов и влаги исходных шихтовых материалов при их плавке, сгорании топлива, из окружающей среды, при заливке металла в форму и т.д.

В жидких металлах и сплавах растворимость газов с увеличением температуры повышается. При избыточном содержании газов они выделяются из рас-

плава в виде газовых пузырей, которые могут всплывать на поверхность или оставаться в отливке, образуя газовые раковины, пористость или неметаллические включения, снижающие механические свойства и герметичность отливок. При заливке расплавленного металла движущийся расплав может захватывать воздух в литниковой системе, засасывать его через газопроницаемые стенки каналов литниковой системы. Кроме того, газы могут проникать в металл из формы при испарении влаги, находящейся в формовочной смеси, при химических реакциях на поверхности металл – форма и т.д.

Для уменьшения газовых раковин и пористости в отливках плавку следует вести под слоем флюса, в среде защитных газов с использованием хорошо просушенных шихтовых материалов. Кроме того, перед заливкой расплавленный металл необходимо подвергать дегазации вакуумированием, продувкой инертными газами и другими способами, а также увеличивать газопроницаемость литейных форм и стержней, снижать влажность формовочной смеси, подсушивать формы и т.д.

Контрольные вопросы

1. Какими показателями оцениваются литейные свойства сплавов?
2. Что такое жидкотекучесть сплава, от каких факторов она зависит, как определяется и влияет на конструкцию и качество отливок?
3. Что такое усадка литейного сплава, от чего она зависит, как влияет на качество отливок?
4. Из-за чего возникают газовые раковины и пористость в отливках?

1.2 Чугуны

Чугун является наиболее распространенным материалом для изготовления фасонных отливок. В разных странах, в зависимости от развития машиностроения и других отраслей производства, чугунные отливки составляют 74...83% от общего числа отливок. Область применения чугуна продолжает расширяться вследствие непрерывного повышения его прочности и эксплуатационных свойств, а также разработки чугунов новых марок со специальными физическими и химическими свойствами. Широкое распространение чугуна получил благодаря хорошим технологическим свойствам и низкой себестоимости по сравнению с другими сплавами.

Наиболее широкое распространение в промышленной практике получили чугуны: белые (при содержании C до 4% в виде цементита); серые (при содержании C 2,5...3,7% при этом до 0,9% углерода находится в химически связанном с железом состоянии, остальная часть углерода содержится в виде графита); высокопрочные (получаются из серого чугуна путем его обработки в жидком состоянии небольшими количествами Mg или другими элементами); ковкие (получаются путем специального отжига белого чугуна); антифрикционные (применяются в подшипниковых узлах трения); легированные (в состав которых входят Ni , Mo , Cr , Cu , W , V , Al , Ti и др.).

1.2.1. Серый чугун

В табл. 1.1 приведены основные характеристики и примеры применения наиболее распространенных марок чугунов. Серые чугуны содержат 2,4...3,6% C; 0,5...3% Si; 0,2 ...1% Mn; 0,04...0,3% P; 0,02...0,2% S.

Согласно ГОСТ 1412 – 85 механические свойства чугунов (табл. 1.2) определяются по результатам испытаний на растяжение образцов, вырезанных из отдельно залитых цилиндрических брусков диаметром 30 мм.

Таблица 1.1.

Характеристика и примеры применения отливок из серого чугуна.

Марка чугуна по ГОСТ 1412-85	Характеристика	Примеры применения
СЧ 10	Неответственное литье, к которому предъявляется главным образом требование легкости обработки, а не прочности	Плиты, грузы, корыта, крышки, кожухи и т.п.
СЧ 15	Малоответственное литье с толщиной стенки $\delta_{ст}=8\div15$ мм; невысокие требования к износостойкости	Детали сложной конструкции при недопустимости большого коробления и невозможности их старения; маховики, шкивы; поршневые кольца, арматура, сосуды работающие под давлением; тонкостенные отливки с развитыми габаритными размерами.
СЧ 20	Ответственное литье с $\delta_{ст}=10\div30$ мм; детали, требующие значительной прочности и работающие при температуре до 300 °С.	Корпуса, блоки цилиндров, зубчатые колеса, станины с направляющими большинства металлорежущих станков, диски сцепления, тормозные барабаны и т.п.
СЧ 25	Ответственное сложное литье с $\delta_{ст}=20\div60$ мм; детали, работающие при температуре до 300 °С.	Корпуса насосов и гидроприводов, поршни и гильзы дизелей и бесклапанных двигателей, цилиндры и головки дизелей, рамы, штампы для холодной вытяжки и другие детали, работающие под высоким давлением
СЧ 30	Ответственное высоконагруженное литье с $\delta_{ст}=20\div100$ мм; детали, работающие при температуре до 300 °С.	Цилиндры и крышки паровых машин, малые коленчатые валы, клапаны и кулачки распределительных механизмов, зубчатые колеса, цепные звездочки, тормозные барабаны, муфты, диски сцепления, клапаны, поршневые кольца и другие интенсивно нагруженные детали
СЧ 35	Ответственное тяжело-нагруженное литье с $\delta_{ст}\geq 20$ мм.	Крупные толстостенные втулки, крупные коленчатые валы, цепные звездочки, зубчатые и червячные колеса, тормозные барабаны, муфты, диски сцепления, клапаны и другие детали.

Вследствие чувствительности чугуна к изменению скорости охлаждения прочность в различных узлах отливки может отличаться от прочности, характеризующей данную марку.

Таблица 1.2.

Механические свойства отливок серого чугуна с пластинчатым графитом по ГОСТ 1412 – 85.

Марка чугуна	σ_B , МПа	$\sigma_{и}$, МПа	Твердость <i>HB</i>	
	Не менее		МПа	кгс/мм ²
СЧ 10	98	274	1402...2246	143...229
СЧ 15	147	314	1599...2246	163...229
СЧ 18	176	358	1668...2246	170...229
СЧ 20	196	392	1668...2364	170...241
СЧ 21	206	392	1668...2364	170...241
СЧ 24	235	421	1668...2364	170...241
СЧ 25	245	451	1766...2452	180...250
СЧ 30	294	490	1755...2501	181...255
СЧ 35	343	539	1932...2638	197...269
СЧ 40	392	588	2030...2795	207...285
СЧ 45	441	637	2246...2835	229...289

В сером чугуне присутствие графита пластинчатой формы действует как внутренние надрезы, поэтому серый чугун характеризуется сравнительно низкой прочностью и особенно низкой пластичностью. Вместе с тем, наличие графита придает чугуну ряд ценных качеств (например, низкая чувствительность к внешним надрезам, высокая циклическая вязкость и др.).

Серый чугун обладает лучшими литейными свойствами, чем сталь. Детали из серого чугуна легко обрабатываются режущим инструментом, хорошо сопротивляются износу, впитывают и удерживают смазочные масла на трущихся поверхностях.

При производстве чугунов высоких марок (СЧ 25, СЧ 30, СЧ 35, СЧ 40) используют модифицирование, легирование и термообработку.

При модифицировании, в качестве графитизирующего модификатора используют ферросилиций ФС75Л; комплексные сплавы на основе Si, содержащие Ca, Mg, Sr, Mn, Zr, РЗМ и модифицирующие смеси, которые в виде кусков 1...5 мм вводят в струю чугуна при сливе из печи в ковш.

Эффективность модифицирования может быть повышена при введении модификаторов непосредственно в процессе заливки формы.

Для легирования используют в основном Cr, Mn, Ni, Mo, Cu, V, Ti. Все эти элементы (за исключением Ti) препятствуют выделению феррита и повышают дисперсность перлита.

При термической обработке чугунов применяют отжиг для снятия литейных напряжений, нормализацию и закалку для повышения прочностных показателей.

Отжиг проводится при температурах 500...570 °С. Выдержка при температуре отжига составляет 3...10 ч. Охлаждение после отжига медленное, вместе с печью.

Нормализацию применяют для повышения механических свойств и износостойкости чугуна путем исправления структуры чугуна и получения перлитной металлической основы. Нормализацию проводят при температуре 850...950 °С с последующим охлаждением отливок на воздухе. После охлаждения на воздухе (обычно до 500 °С) отливка получает структуру – перлит. Для снижения напряжений ниже температуры 500 °С отливки охлаждаются медленно вместе с печью (примерно 40 град/ч).

Закалка и отпуск применяется для повышения прочности, твердости и износостойкости с температуры 880...930 °С в масле. Отпуск для деталей, работающих на износ, производится при температуре 250...300 °С, для остальных при 400...600 °С. Вследствие низкой пластичности чугунов, в отливках при объемной закалке могут образоваться трещины. В связи с этим для чугунов нашла широкое применение поверхностная закалка (нагрев ТВЧ или горелками поверхности отливки с последующим водоструйным охлаждением). При поверхностной закалке обеспечивается получение закаленного слоя глубиной 1,5...4 мм.

1.2.2. Высокопрочный чугун с шаровидным графитом

Чугун обладает некоторыми специфическими, технологическими и эксплуатационными свойствами: хорошей жидкотекучестью, малой величиной линейной усадки, незначительной склонностью образования горячих трещин, износостойкостью, высокими антифрикционными свойствами, высокой жаростойкостью при легировании его кремнием и алюминием; хорошо поддается механической обработке на станках, кислородной резке и допускает заварку литейных дефектов.

Высокопрочный чугун сохраняет свои механические свойства до температуры 450...500 °С.

Отливки из высокопрочного чугуна почти однородны по всему сечению. Поэтому в пределах одной отливки допускается сочетание стенок 30...100 мм и 100...300 мм.

Применяя различные виды термической обработки чугуна с шаровидным графитом (отжиг, нормализацию, изотермическую закалку), можно получить чугун с различной структурой и различными свойствами.

По ГОСТу 7293 – 85 чугун с шаровидной формой графита имеет следующие механические свойства и области применения (табл. 1.3).

Высокопрочный чугун по сравнению со сталью обладает большей износостойкостью, лучшими антифрикционными и антикоррозионными свойствами, лучшей обрабатываемостью. Отливки легче стальных на 8...10%. Из высокопрочного чугуна, в отличие от ковкого, можно отливать детали любого сечения.

Таблица 1.3.

Механические свойства и области применения высокопрочного чугуна.

Марка чугуна	σ_b , МПа	σ_T , МПа	δ , %	Твердость <i>HB</i> , МПа
Не менее				
ВЧ 38-17	373	235	17	1373...1668
ВЧ 42-12	412	274	12	1373...1962
ВЧ 45-5	441	333	5	1570...2158
ВЧ 50-7	490	343	7	1678...2364
ВЧ 60-2	588	393	2	1962...2550
ВЧ 70-2	686	441	2	2246...2943
ВЧ 80-2	784	490	2	2453...3237
ВЧ 100-2	981	686	2	2649...3532
ВЧ 120-2	1177	882	2	2963...3728

Примечание: Область применения: Как новый материал и как заменитель стали, ковкого и серого чугуна. Примеры применения: в станкостроении – суппорты, резцедержатели, тяжелые планшайбы, шпиндели, рычаги и др.; для прокатного и кузнечно-прессового оборудования – прокатные валки, станины, шаботы, траверсы прессы (48000 кг) и др.; для других видов оборудования - барабан тельфера экскаватора (1900 кг), коленчатый вал (2800 кг) и т.п.

Основной операцией технологического процесса получения высокопрочного чугуна является введение магния в жидкий чугун. Введение чистого магния в жидкий чугун при атмосферном давлении сопровождается интенсивным выделением дыма, выплесками металла и пироэффектом, что вызывает необходимость проведения специальных мероприятий и использования специального оборудования, обеспечивающих высокую производительность, хорошее усвоение магния в расплаве и безопасность труда работающих.

Весьма эффективным методом, обеспечивающим максимальное усвоение магния при минимальном расходе лигатуры, является модифицирование чугуна непосредственно в полости литейной формы (рис. 1.3).

Мелкодробленую лигатуру помещают в специальную реакционную камеру литниковой системы. При применении этого метода необходимо обеспечить правильный расчет элементов литниковой системы, однородность состава лигатуры и низкое содержание серы в базовом чугуне.

1.2.3 Ковкий чугун

Ковкий чугун является конструкционным материалом, используемым для изготовления мелких тонкостенных отливок для сельскохозяйственных машин, автомобилей, тракторов, арматуры, фитингов и других деталей массового производства. Благодаря компактной форме графита (углероду отжига) чугун отличается высокими механическими свойствами (табл. 1.4), занимая в этом отношении промежуточное положение между серым чугуном и сталью.

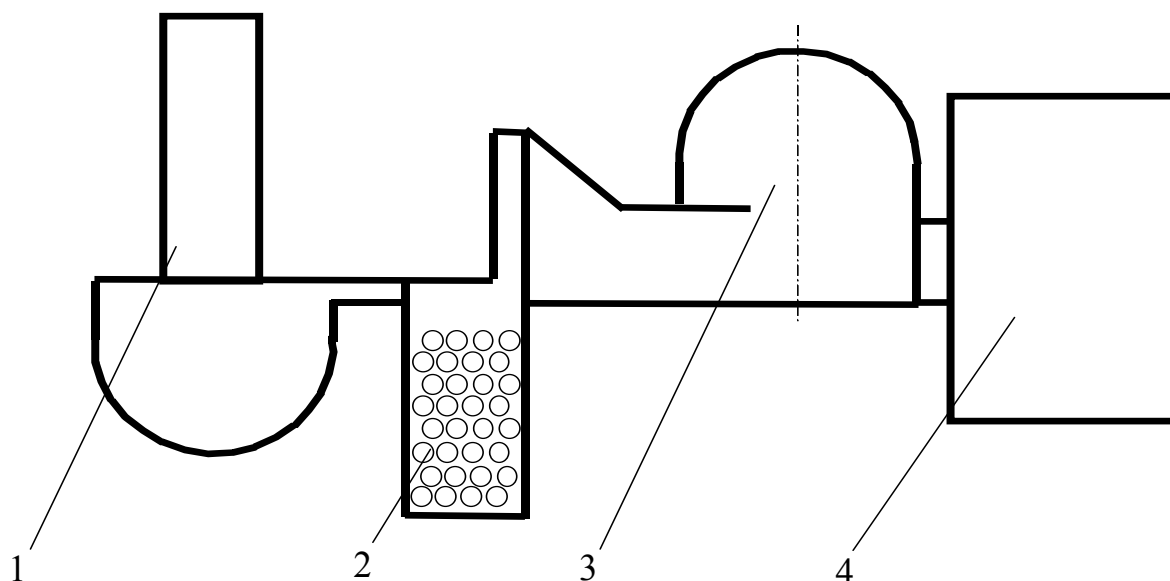


Рис. 1.3. Литниковая система при модифицировании чугуна в литейной форме.

1 – стояк; 2 – реакционная камера с модификатором; 3 – шлакоулавливающая бобышка; 4 – отливка.

Таблица 1.4.

Механические свойства отливок из ковкого чугуна (ГОСТ 1215-79).

Марка чугуна	σ_B , МПа, не менее	δ , %	Твердость HB , МПа не более
КЧ 30 – 6	294	6	1600
КЧ 33 – 8	324	8	
КЧ 35 – 10	344	10	
КЧ 37 – 12	363	12	
КЧ 45 – 6	441	6	2365
КЧ 50 – 4	490	4	
КЧ 56 – 4	549	4	2640
КЧ 60 – 3	588	3	
КЧ 63 – 2	618	2	

Отливки из ковкого чугуна получают путем отжига белого чугуна с целью получения структуры, состоящей из феррита, перлита, углерода отжига и придания ему необходимых механических свойств.

В зависимости от химического состава чугуна (табл. 1.5) и режима отжига можно получить ферритную, перлитную или перлитно-ферритную металлическую основу.

Различают два вида ковкого чугуна: черносердечный (темный бархатный излом) и белосердечный (блестящий светлый излом). Целью отжига чугуна на черносердечный является разложение структурно свободных карбидов. Обезуг-

лероживается только поверхностный слой толщиной 0,5 мм, а содержания углерода в остальном сечении не изменяется. Это достигается применением нейтральной атмосферы.

Таблица 1.5

Массовая доля %, химических элементов в ковком чугуне.

Ковкий чугун	<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>S</i>
Черносердечный ферритный	2,2...2,9	1,4...0,8	0,3...0,5	0,05...0,15
Черносердечный перлитный	2,2...2,9	1,4...0,8	0,3...1	0,05...0,15
Белосердечный	2,8...3,2	1,1...0,7	0,4...0,7	0,12...0,2

При отжиге чугуна на белосердечный наряду с графитизацией преследуется еще одна цель – обезуглероживание. При этом снаружи имеется полностью обезуглероженный слой глубиной несколько миллиметров, затем содержание углерода постепенно повышается, но и в центре отливки оно не достигает исходного.

Отжиг белого чугуна на черносердечный ферритный чугун (четыре первых марки табл. 1.4) состоит из пяти этапов (рис. 1.4).

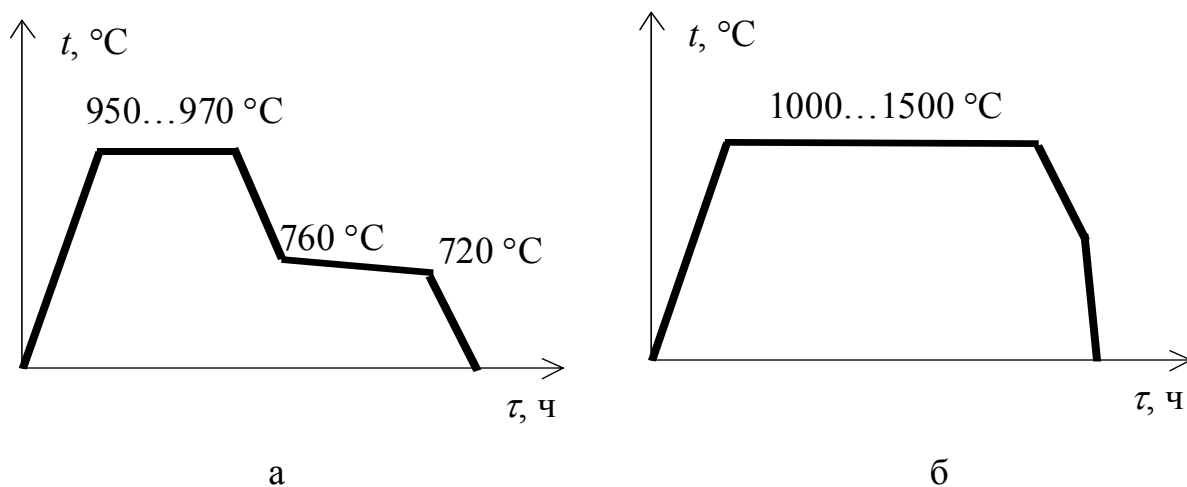


Рис. 1.4. Режимы отжига белого чугуна на ковкий черносердечный (а) и белосердечный (б).

1. Нагрев чугуна с исходной структурой перлит + цементит до 900...1000 °С.

2. Выдержка при 900...1000 °С, во время которой происходит разложение структурно свободного цементита и насыщение аустенита углеродом до содержания, близкого к равновесному. В конце этого периода (первая стадия графитизации) структура чугуна – аустенит + углерод отжига.

3. Охлаждение до температуры ниже эвтектоидной (690...700 °С), при которой часть углерода выделяется из твердого раствора, и происходит перлитное

превращение. К концу этого периода структура чугуна – перлит + углерод отжига.

4. Выдержка при 690...700 °С (вторая стадия графитизации), во время которой происходит разложение эвтектоидного цементита. К концу выдержки чугуна – феррит + углерод отжига.

5. Охлаждение на воздухе.

Общий цикл отжига обычно составляет 50...60 ч.

При отжиге на белосердечный перлитный чугун (КЧ 56 – 4, КЧ 60 – 3, КЧ 63 – 2) исключается вторая стадия графитизации, относительно быстрое охлаждение в интервале критических температур позволяет зафиксировать перлитную металлическую основу. При отжиге в интервале высоких температур (1000...1050 °С) идут параллельно два процесса – графитизация и обезуглероживание. Обезуглероживание обеспечивают отжигом отливок в контейнерах, которые после укладки отливок засыпают рудой. Процесс обезуглероживания идет через газовую фазу, передающую кислород от руды к углероду отливки. Содержание углерода по сечению отливки уменьшается за счет диффузии углерода твердого раствора от центра к периферии. Общий цикл отжига достигает 100...110 ч.

Назначение различных марок ковкого чугуна указано в табл. 1.6.

Таблица 1.6.

Рекомендации по применению ковкого чугуна.

Марка чугуна	Назначение
КЧ 30 – 6	Фитинги, вентили, детали с/х машин, корпуса пневматических инструментов, детали оптических приборов.
КЧ 33 – 8	Детали тормозов, хомуты, педали, колодки, ключи.
КЧ 35 – 10 КЧ 37 – 12	Картеры – заднего моста, дифференциала и руля, ступицы колес, кронштейны двигателя и рессор, тормозные колодки, пробки, балансиры, катки, втулки в автомобильной и тракторной промышленности.
КЧ 45 – 6 КЧ 45 – 4 КЧ 56 – 4	Зубчатые колеса, червячные колеса, поршни.
КЧ 60 – 3 КЧ 63 – 2	Износостойкие детали: звенья цепей, банкоброши; подшипники, зубчатые колеса.

1.2.4. Антифрикционный чугун

ГОСТ 1585 – 85 предусматривает три группы отливок из антифрикционных чугунов:

Серый с пластинчатым графитом марок:

АЧС – 1 – перлитный серый чугун, легированный хромом и медью;

АЧС – 2 – то же, дополнительно легированный никелем и титаном;

АЧС – 3 – перлитоферритный серый чугун, легированный титаном и медью;

АЧС – 4 – перлитный серый чугун, легированный сурьмой;

АЧС – 5 – аустенитный серый чугун, легированный марганцем и алюминием;

АЧС – 6 – перлитно-пористый серый чугун, легированный свинцом и фосфором.

Высокопрочный с шаровидной формой графита:

АЧВ – 1 – высокопрочный перлитный чугун;

АЧВ – 2 – высокопрочный перлитно-ферритный чугун.

Ковкий с углеродом отжига:

АЧК – 1 – перлитный ковкий чугун, легированный медью;

АЧК – 2 – ферритно-перлитный и перлитно-ферритный ковкий чугун.

Твердость и основные характеристики отливок из антифрикционного чугуна даны в табл. 1.7.

Таблица 1.7

Твердость и основные характеристики отливок из антифрикционного чугуна по ГОСТ 1585 – 85.

Марка чугуна	Твердость <i>HB</i> , МПа	Характеристика и назначение чугуна
1	2	3
АЧС – 1	1766...2364	Перлитный чугун, легированный хромом и медью; предназначен для работы в паре с термически обработанным (закаленным или нормализованным) валом
АЧС – 2	1766...2246	Перлитный чугун, легированный хромом, никелем, титаном и медью; предназначен для работы в паре с термически обработанным (закаленным или нормализованным) валом
АЧС – 3	1570...1864	Перлитно-ферритный чугун, легированный титаном и медью; предназначен для работы в паре с «сырым» (в состоянии поставки) или термически обработанным валом
АЧС – 4	1766...2246	Перлитный чугун, легированный сурьмой; предназначен для работы в паре с термически обработанным (закаленным или нормализованным) валом
АЧС – 5	1766...2845 (в литом состоянии); 1373...1766 (после закалки)	Аустенитный чугун, легированный марганцем и алюминием; предназначен для работы в особо нагруженных узлах трения в паре с термически обработанным (закаленным или нормализованным) валом

Продолжение табл. 1.7

1	2	3
АЧС – 6	981...1177	Перлитный пористый чугун, легированный свинцом и фосфором; предназначен для работы в узлах трения с температурой до 300 °С в паре с «сырым» (в состоянии поставки) валом
АЧВ – 1	2060... 2550	Перлитный чугун; предназначен для работы в узлах трения с повышенными окружными скоростями в паре с термически обработанным (закаленным или нормализованным) валом
АЧВ – 2	1638...1933	Перлитно-ферритный чугун; предназначен для работы в условиях трения с повышенными окружными скоростями в паре с «сырым» (в состоянии поставки) валом
АЧК – 1	1834...2246	Перлитный чугун, легированный медью; предназначен для работы в паре с термически обработанным валом
АЧК – 2	1638...1933	Ферритно-перлитный и перлитно-ферритный ковкий чугун; предназначен для работы в паре с «сырым» валом

1.2.5. Чугун, легированный для отливок со специальными свойствами (ГОСТ 7769 - 82).

Отливки из этого чугуна можно эксплуатировать при температурах до 1000 °С (жаростойкие чугуны) и в газовых средах при температурах до 600 °С (коррозионно-стойкие чугуны).

Жаростойкие чугуны (Ж4Ю6С5; Ж4Ю22; Ж4Ю30; Ж4Х16 и др.) обладают достаточной жаростойкостью – способностью оказывать сопротивление окислению [не более 0,5 г/(м²·ч)] и росту отливки (не более 0,2%) при температуре эксплуатации. Из этих чугунов изготавливают: шиберы газогенераторов, колосники, втулки клапанов, гильзы цилиндров автомобильных двигателей и т.п. детали.

Коррозионно-стойкие и жаропрочные чугуны (4НХТ, 4Н1ХД, 4Н15ДХ2, 4Н11ГХ2Ш) применяются для изготовления деталей: маслосты для поршневых колец, блоки и головки цилиндров, выхлопные патрубки двигателей внутреннего сгорания, поршни и гильзы цилиндров, седла и направляющие втулки клапанов, корпуса насосов и др.

1.2.6. Белый чугун

Отливки из белого чугуна широко применяют для изготовления деталей дробильного оборудования (брони шаровых мельниц, мелящих шаров), деталей шламовых насосов, лопастей шнеков, лопаток дробебетных турбин и т.п. Нелегированный белый чугун обладает повышенной хрупкостью и при обычных режимах не поддается обработке резанием. Отливки, имеющие белый излом по

всему сечению, применяют в случаях, когда детали не требуют механической обработки и не подвергаются в процессе эксплуатации ударным нагрузкам.

Детали, работающие в условиях усиленного износа и повышенных нагрузок, например прокатные валки, крановые, рудничные и конвейерные колеса, изготавливают из чугуна с поверхностным отбелом. Макроструктура отливок состоит из наружного слоя белого чугуна, обеспечивающего высокое сопротивление износу, и сердцевины из серого чугуна, обеспечивающего вязкость и прочность отливки.

В особо жестких условиях эксплуатации для повышения абразивной стойкости применяют легированные белые чугуны, в основном хромоникелевый чугун, «нихард», содержащий до 5% Ni и до 2,5% Cr . Такой чугун обладает высокой твердостью и прочностью благодаря мартенситной структуре.

Отливки с наружным отбеленным слоем получают в результате ускорения охлаждения наружных слоев металла для отливок из серого чугуна с помощью холодильников (кокилей). Изменяя интенсивность охлаждения и содержание углерода и кремния в чугуне можно получать отливки с различной глубиной зоны чистого отбела и переходной зоны, а также регулировать твердость отбеленного слоя.

1.2.7. Исходные материалы и оборудование для плавки чугуна

Особенности процесса приготовления жидкого чугуна (применяемые шихтовые материалы и методы плавки) в значительной степени определяют свойства чугуна отливки.

Составляющими металлической шихты являются литейный и переделный чушковые чугуны, ферросплавы, собственные отходы производства (литники, брак), чугунный лом со стороны, стальной лом.

В качестве флюса преимущественно используют - известняк, содержащий не менее 50% CaO и не более 3% ($SiO_2 + Al_2O_3$).

В качестве карбюризатора используют гранулированный графит и электродный порошок (стружку). С помощью карбюризаторов проводят науглероживание чугуна при использовании в шихте большого количества стального лома.

В качестве плавильного оборудования применяют: вагранки, тигельные индукционные печи промышленной частоты, каналные индукционные печи, дуговые электропечи.

Плавка чугуна в тигельных индукционных печах промышленной частоты имеет ряд преимуществ: возможность получения точного химического состава, низкий угар элементов (это особенно важно при выплавке легированного чугуна), высокий перегрев металла, возможность использования в шихте большого количества стальных отходов и стружки.

Канальные печи отличаются от тигельных более высоким КПД, средний удельный расход электроэнергии при перегреве металла ниже на 30...40%.

Дуговые электрические печи, в отличие от индукционных, используют значительно реже, хотя они имеют ряд преимуществ: высокий КПД при рас-

плавлении, возможность проведения металлургических процессов в восстановительной и нейтральной атмосферах (что необходимо при получении высокопрочного чугуна), большая производительность. Однако эти печи имеют и существенные недостатки: низкий КПД при перегреве, значительный шум, выделение дыма при работе, большой угар элементов.

Наиболее совершенным и эффективным процессом, как с точки зрения качества получаемого чугуна, так и с экономической точки зрения является дубликс процесс. При этом процессе получают чугун в двух последовательно работающих плавильных агрегатах: в первом расплавляют шихту, а во втором жидкий чугун подвергается температурно-временной обработке, и при необходимости проводится доводка химического состава. В качестве первичных агрегатов обычно используют вагранку или индукционную тигельную печь, а вторичного - канальную индукционную, тигельную или дуговую печь.

Контрольные вопросы

1. Какие виды чугунов Вы знаете?
2. Как получают чугуны?
3. Какими свойствами обладают чугуны?
4. Для изготовления каких отливок применяются чугуны?

1.3. Стали

Отливки изготавливают по ГОСТ 977 – 88.

Литейные свойства сталей значительно хуже, чем у чугуна и многих литейных сплавов. Усадка у них больше, чем у чугуна и большинства цветных сплавов. Чем больше в стали углерода, тем больше сокращается объем. Линейная усадка при этом для углеродистых и легированных сталей 2,2...2,3%. Для некоторых высоколегированных сталей (12X18H9ТЛ) она достигает до 2,7...2,8%.

В реальных условиях затвердевания из-за механического и термического торможения изменение линейных размеров отливки меньше: у тонкостенных отливок сложной конфигурации составляет 1,23...1,5%, а у толстостенных 2,0...2,3%. Такую усадку принято называть литейной. Литейная усадка нестабильна, в реальных условиях может изменяться в заметных пределах, сказываясь на точности отливок.

Жидкотекучесть и формозаполняемость у сталей также хуже, чем у чугуна и большинства других литейных сплавов. Жидкотекучесть зависит от температурного интервала затвердевания стали, а последний – от содержания углерода.

Большинство углеродистых сталей для отливок имеют небольшое содержание углерода: от 0,15 до 0,55% табл.1.8. Для этих углеродистых и некоторых легированных хромистых и хромоникелевых сталей интервал кристаллизации равен 30...55 °С. Для высокоуглеродистых и высокомарганцовистых сталей интервал кристаллизации увеличивается с 60 до 120 °С, если содержание углерода возрастет с 0,6 до 1% (сталь 110Г13Л).

Указанные свойства являются причиной образования в стальных отливках различных литейных дефектов (усадочных раковин, пористости, трещин, коробления и др.). Особенно это имеет место в отливках из высоколегированных сталей.

Поэтому в таблицах технологических свойств (табл. 1.9) по данным ЦНИИТМАШ, для некоторых сталей даются коэффициенты устойчивости к трещинообразованию и склонности сталей к образованию усадочных раковин и пор.

Таблица 1.8.

Назначение и общая характеристика.

Сталь	Назначение
15Л	Детали, подвергающиеся ударным нагрузкам (копровые бабы, захваты, блоки, ролики и др.) и резким изменениям температуры, а также детали сварно-литых конструкций с большим объемом сварки.
20Л	Арматура и детали трубопроводов, фасонные отливки, изготавливаемые методом выплавляемых моделей, детали сварно-литых конструкций, ответственные детали автосцепки (корпуса, тяговые хомуты, замковые упорные плиты).
25Л	Станины прокатных станов, шкивы, траверсы, поршни, корпуса подшипников, зубчатые колеса, арматура паровых турбин, оси, валы и др. детали, работающие под действием средних статических и динамических нагрузок. Сталь не чувствительна к перегреву, детали могут работать при температуре – 40...+450 °С под давлением.
30Л	Корпуса и обоймы турбомашин, детали гидротурбин, рычаги, балансиры, корпуса редукторов, муфты, шкивы, кронштейны, станины, балки, бандаж, маховики и другие детали, работающие под действием средних статических и динамических нагрузок. Сталь применяют в нормализованном или улучшенном состоянии.
35Л	Корпуса и обоймы турбомашин, станины прокатных станов, бабы паровых молотов, задвижки, вилки, кронштейны и другие детали, работающие под действием средних статических и динамических нагрузок. Сталь применяют в улучшенном состоянии и после поверхностного упрочнения ТВЧ.
40Л, 45Л	Станины, корпуса, муфты, тормозные диски, зубчатые колеса, кожухи, вилки, звездочки, детали лебедки, храповики и другие ответственные детали к которым предъявляют требования повышенной прочности и высокого сопротивления износу. Детали, работающие под давлением при температуре от – 30 до +450 °С. Сталь применяют в нормализованном и улучшенном состоянии и после поверхностного упрочнения.
50Л, 55Л	Зубчатые колеса, бегунки, зубчатые венцы, зубчатые муфты, ходовые колеса, валки станов для прокатки мягкого металла. Сталь применяют в нормализованном и улучшенном состоянии и после поверхностного упрочнения с нагревом ТВЧ.

Таблица 1.9.

Технологические свойства.

Сталь	$K_{y.p.}^*$	$K_{т.у.}^{**}$	Обрабатываемость резанием			Способы сварки
			При <i>HV</i>	K_0	Материал резца	
15Л 20Л	0,9	1,0	121...126	1,5 1,35	Твердый сплав Быстрорежущая сталь	РСД, ЭШС. АДС под газовой защитой
25Л 30Л	1,0		160	1,25 1,0	Твердый сплав Быстрорежущая сталь	РСД, ЭШС. АДС под газовой защитой
35Л	1,2	0,8		1,2 0,9	Твердый сплав Быстрорежущая сталь	РСД, ЭШС. АДС под газовой защитой
40Л	1,2	0,8	200	1,1 1,0	Твердый сплав Быстрорежущая сталь	РСД, ЭШС. АДС под газовой защитой
45Л				1,1 0,7	Твердый сплав Быстрорежущая сталь	РСД, ЭШС. АДС под газовой защитой
55Л	1,3	0,6	196...207	0,7 0,55	Твердый сплав Быстрорежущая сталь	РСД, ЭШС. АДС под газовой защитой
* Склонность к образованию усадочной раковины (показатель) ** Показатель трещиностойчивости Примечания: 1. Стали 15Л и 20Л свариваются без ограничений; стали 25Л; 30Л; 35Л – ограниченно свариваемые. При сварке требуется подогрев и последующая термообработка. 2. Линейная усадка 2,2...2,3%. 3. Все стали не склонны к отпускной хрупкости.						

Отливки классифицируют по способу выплавки, химическому составу, структуре и назначению.

По химическому составу стали для отливок делят на углеродистые, легированные, высоколегированные со специальными свойствами (ГОСТ 977 - 88).

Структура и механические свойства конструкционной углеродистой стали (табл. 2.1) определяются практически только содержанием углерода, так как влияние остальных элементов из-за их небольшого содержания очень незначительно. Практически в углеродистых сталях для отливок содержание углерода не превышает 0,6% и поэтому структура таких сталей состоит из феррита и перлита. При увеличении содержания углерода повышается прочность и снижается пластичность стали (табл. 1.10). Это связано с уменьшением в ее структуре феррита и увеличением перлита. Большое влияние на механические свойства оказывает характер термической обработки стали.

Таблица 1.10.

Механические свойства сталей после термообработки.

Механические свойства сталей после термобработки.							
Сталь	Температура, °С		σ_T	σ_B	δ	ψ	<i>KCU</i> Дж/ /см ²
	Нормализа- ции или закалки	Отпуска	МПа		%		
			Не менее				
Нормализация и отпуск							
15Л	910...930	670...690	200	400	27	35	50
20Л	880...900	630...650	220	420	22	35	50
25Л	880...900	610...630	240	450	19	30	40
30Л	880...900	610...630	260	480	17	30	35
35Л	860...880	600...630	280	500	15	25	35
40Л	860...880	600...630	300	530	14	20	30
45Л	860...880	600...630	320	550	12	20	30
50Л	860...880	600...630	340	580	11	20	25
55Л	840...860	600...630	350	600	10	18	25
Закалка и отпуск							
25Л	870...890	610...630	300	500	22	33	35
30Л	860...880	610...630	300	500	17	30	35
35Л	860...880	600...630	350	550	16	20	30
40Л	860...880	600...630	350	550	14	20	30
45Л	860...880	550...600	400	600	10	20	25
50Л	860...880	600...630	400	750	14	20	30
55Л	790...810	580...600	470	860	15	20	25
Примечание: Приведены свойства стали для отливок с толщиной стенки до 100 мм.							

При конструировании литых деталей из стали необходимо учитывать изменения механических свойств металла от одного сечения к другому (не так резко, как у чугуна).

Изменение механических свойств стали с увеличением диаметра литой заготовки приведено в табл. 1.11.

Таблица 1.11.

Изменение механических свойств стали с содержанием углерода 0,27% в зависимости от диаметра заготовки.

Диаметр заготовки, мм	Механические свойства		
	σ_B , МПа	δ	ψ
		в %	
25	540	25	38
50	525	22	36
70	500	21	35,5

Конструкционные легированные стали (табл. 1.12, 1.13) отличаются от углеродистых повышенными прочностными, физическими и химическими свойствами, например, высокой стойкостью в условиях морской воды и в других средах. Большинство легированных сталей обеспечивает одинаковую структуру и равномерные механические свойства по всему поперечному сечению отливок.

Таблица 1.12.

Назначение и общая характеристика легированных сталей.

Сталь	Назначение
35ГЛ	Диски, звездочки, зубчатые венцы, шкивы, крестовины, траверсы, ступицы, вилки, зубчатые колеса, валы, кулачковые муфты, крышки подшипников, цапфы, детали экскаваторов и др. детали дробильно-размольного оборудования.
30ГСЛ	Рычаги, фланцы, сектора, венцы зубчатые, ролики-обоймы, колеса ходовые и др.
40ХЛ	Фасонные отливки, отливаемые методом точного литья, зубчатые колеса, бандажи, отливки небольших сечений и другие детали общего машиностроения к которым предъявляются требования повышенной твердости.
35ХМЛ	Ответственные нагруженные детали, работающие при повышенных температурах (специальные пластины, крестовины, втулки, зубчатые колеса и др.).
35ХГСЛ	Зубчатые колеса, подушки, рычаги, толкатели, оси, валы, муфты и другие детали, подвергающиеся износу и ударным нагрузкам. Сталь нетехнологична для деталей сложной конфигурации, склонна к образованию трещин и поводке при отливке и термообработке, поэтому необходимо тщательно соблюдать установленный режим охлаждения в опоках, отрезать прибыли в горячем состоянии или на отожженных отливках.
08ГДНФЛ 13ХНДФТЛ 12ДХЖМФТЛ	Различные детали для судостроения. Сталь марки 08ГДНФЛ применяют для литых деталей, работающих при температуре до -60°C

Высоколегированные стали со специальными свойствами по ГОСТ 977 – 88, применяются для изготовления отливок из коррозионно-стойкой, жаростойкой, жаропрочной, износостойкой и кавитационно-стойкой сталей. Для отливок контролируемыми показателями являются: внешний вид, размеры, химический состав и механические свойства. Назначение, термообработка и механические свойства даны в табл. 1.14, 1.15, 1.16.

Таблица 1.13.

Механические свойства легированных сталей после нормализации и отпуски.

Сталь	Температура °C		σ _Т	σ _В	δ	ψ	KCU Дж/см ₂
	Нормализации	Отпуска	МПа		%		
55СЛ	840...880	650...720	340	700	10	-	-
70ГЛ	790...820	580...650	-	800	4	-	-
15ГЛ	900...920	550...650	240	430	22	35	38
30ГЛ	800...890		340	590	20	24	21
45ГЛ	870...890						
60ХГЛ	850...890	570...600	-	-	-	-	-
70Х2ГЛ	820...860	630...680	-	800	4	-	29
50ХГЛ	820...850		800	4	-	-	
15ХЛ	900...930	620...650	-	700	5	-	-
30ХЛ	900...930	550...650	200	390	30	30	38
35ХГЛ	900...920		290	540	15		27
35ХГФЛ	850...880	550...650	340	640	14	25	14
40ХФЛ	850...890	700...740	400	650	13	-	29
30ХМЛ	870...890	500...520	590	785	10	18	25
40ХМЛ	850...890	550...650	290	540	18	25	31
30ХГ1	850...880		340	640	14	25	21
5МФРЛ	910...960	-	650	1000	4	5	5
75ХНМФЛ	840...870	630...670	-	1000	3	-	-
40ГТЛ	870...920	620...660	330	620	14	25	29
20ГНМЮЛ	880...920	600...700	355	510	18	30	50
40ХН2Л	860...900	550...650	380	650	15	25	29

Таблица 1.14.

Назначение и общая характеристика коррозионно-стойких, жаростойких и жаропрочных сталей.

Сталь	Температура, °С		Назначение и основные свойства
	жаро- прочно- сти	жаро- стойко- сти	
	Не более		
1	2	3	4
Стали мартенситного класса			
20Х12ВНМФЛ	650	650	Литые детали турбин (цилиндры, сопла, диафрагмы и арматура) с рабочей температурой до 600 °С

Продолжение табл. 1.14.

1	2	3	4
40X9C2Л	700	800	Детали, работающие длительное время под нагрузкой при температуре до 700 °С (клапаны моторов, колосники, крепежные детали)
Стали аустенитного класса			
12X18Н9ТЛ	600	750	Арматура для химической промышленности, коллекторы выхлопных систем, детали печной арматуры, ящики и крышки для цементации и др. детали. Сталь обладает высокой стойкостью против газовой и межкристаллитной коррозии
10X18Н11БЛ	800	-	Те же детали, а также детали газовых турбин и турбокомпрессоров. Детали аппаратов целлюлозной, азотной, пищевой и мыловаренной промышленности. Сталь не чувствительна к межкристаллитной коррозии.
15X23Н18Л	900	-	Детали установок для химической, нефтяной и автомобильной промышленности. Детали печной арматуры. При температурах 600 – 800 °С склонна к охрупчиванию из-за образования σ - фазы.
15X18Н22В6М2РЛ 20X21Н46В8РЛ	800 800	1000 1000	Детали авиационных двигателей (рабочие и силовые лопатки газовых турбин)
35X18Н24С2Л	-	1000 - 1200	Сильнонагруженные детали, работающие при высоких температурах (печные конвейеры, шнеки, крепежные детали)
12X18Н12М3ТЛ	800	-	Детали, устойчивые при воздействии сернистой кипящей, фосфорной, муравьиной, уксусной и других кислот, а также детали длительное время работающие под нагрузкой при температуре до 800 °С.

Таблица 1.15.

Назначение и общая характеристика кавитационно-стойких и износостойких сталей.

Сталь	Назначение и основные свойства
Сталь мартенситного класса	
10X12НДЛ	Элементы сварных конструкций рабочих колёс гидротурбин, детали гидротурбин (лопасти и другие детали), работающие в условиях кавитационного разрушения. Коррозионно- и эрозионностойкая в условиях проточной воды. Сталь не склонна к отпускной хрупкости.
Сталь аустенитно-ферритного класса.	
10X18НЗГЗД2Л	Литые лопасти и сварно-литые детали рабочей части гидротурбин, работающие при напорах, не превышающих 80 Л/ч, в сечении до 300 мм. Кавитационно-стойкая, имеет повышенную стойкость от песчаной эрозии по сравнению со сталью 10X12НДЛ.
Стали аустенитного класса	
120Г13Х2БЛ, 110Г13Л.	Корпуса вихревых и шаровых мельниц, щёки дробилок, трамвайные и железнодорожные стрелки и крестовины, гусеничные траки, звёздочки, зубья ковшей экскаваторов. Сталь имеет сопротивление износу при одновременном воздействии высоких давлений или ударных нагрузок, высокую хладостойкость. Сталь 110Г13Х2БРЛ имеет высокую стойкость против абразивного изнашивания.

По назначению стали, отливки разделяют на три группы: 1-отливки общего назначения; 2-отливки ответственного назначения и 3-отливки особо ответственного назначения (см. табл. 1.17.).

Для отливки основными контролируемыми показателями являются: внешний вид, размеры, химический состав, а для отливок ответственного назначения и механические свойства (σ_m , σ_b , δ , KCU).

По структуре целесообразно классифицировать легированные и нелегированные стали, так как одинаковые структурные составляющие в зависимости от количества растворенного в них легирующего элемента обладают различными свойствами. Отливки из углеродистой стали, могут иметь ферритную и перлитную структуры и относиться соответственно к ферритному и перлитному классам. Следует отметить, что в реальных сплавах (даже низкоуглеродистых) чисто ферритной структуры не наблюдается. По границам зёрен феррита выпадает

третичный цементит. В заэвтектоидных углеродистых сталях наряду с перлитом выделяется вторичный цементит. Отливки из высоколегированных сталей по структуре делят на шесть классов.

Таблица 1.16.

Термообработка и механические свойства высоколегированных сталей.

Сталь	σ_m	σ_s	δ	ψ	KCU , Дж/см ²	Режим термооб- работки (t°С)
	МПа		%			
	не менее					
12X18H9ТЛ	195	450	25	32	59	3,1050-1100,в,м, или возд.+0в,860- 880
10X18H11БЛ	195	450	25	35	59	3,1100-1150, в.
15X23H18Л	295	540	25	30	98	3,1050-1100, в.
15X18H22B6M2РЛ	195	490	5	-	-	С,800,12-16ч, возд.
20X21H46B8РЛ	-	440	6	8	29	С,900,15ч, возд.
35X18H24C2Л	295	550	20	25	-	3,1150,в
31X19H9МВБТЛ	294	540	12	2	29	3,1150-1180,в +С,700-800
12X18H12БЛ	196	392	13	18	20	3,1180,возд, двойное С,800,10ч и 750, 16ч
О8Х17Н34В5Т3Ю2Л	690	790	3	3	-	3,1150,возд+ С,750,32ч,возд.
10X12НДЛ	450	650	14	30	30	Н940-960,возд или 3,950-1050, охлаждение 30 ⁰ ч+0в,650-680
10X18H3ГЗД2Л	500	700	12	25	30	Н,1070-1100, возд+01,800 +011,600
110Г13Х2БРЛ	480	750	20	30	196	3,1050-1100,в.
130Г14ХМФАЛ	450	900	50	40	250	3,1120-1150,в.

Таблица 1.17.

Группы отливок и перечень контролируемых показателей.

Группа отливок	Назначение	Перечень контролируемых показателей
1.	Общее назначение (для деталей, конфигурация и размеры которых определяются только конструктивными и технологическими соображениями)	Внешний вид, размеры, химический состав.
2.	Ответственное назначение (для деталей, рассчитываемых на прочность и работающих при статических нагрузках)	То же и механические свойства (предел текучести, предел прочности и т.д.)
3.	Особо ответственное назначение (для деталей, рассчитываемых на прочность и работающих при циклических, динамических и ударных нагрузках)	То же и ударная вязкость
Примечание: в число контролируемых значений дополнительно могут быть включены механические свойства при повышенных или пониженных температурах, герметичность, микроструктура, пористость и другие характеристики, указанные в нормативно технической документации на отливку.		

По структуре целесообразно классифицировать легированные и нелегированные стали, так как одинаковые структурные составляющие в зависимости от количества растворенного в них легирующего элемента обладают различными свойствами. Отливки из углеродистой стали, могут иметь ферритную и перлитную структуры и относиться соответственно к ферритному и перлитному классам. Следует отметить, что в реальных сплавах (даже низкоуглеродистых) чисто ферритной структуры не наблюдается. По границам зёрен феррита выпадает третичный цементит. В заэвтектоидных углеродистых сталях наряду с перлитом выделяется вторичный цементит. Отливки из высоколегированных сталей по структуре делят на шесть классов.

По способу выплавки различают стали, полученные в печах с кислой и основной футеровками. Многие нелегированные (углеродистые) и значительная часть низколегированных сталей выплавляют в кислых печах, а средне- и высоколегированные в основных печах. Основной процесс выплавки необходим для приготовления стали с низким содержанием S и P .

Для выплавки литейных сталей широко применяют следующие плавильные агрегаты:

1. Кислые и основные дуговые печи (сейчас в них выплавляют 90% литейных сталей для изготовления самых разнообразных по массе и конфигурации отливок в цехах массового и среднесерийного производства);

2. Кислые и основные индукционные печи (в цехах, выпускающих мелкие отливки различного назначения);
3. Кислые и основные мартеновские печи (в старых цехах при реконструкции их заменяют электропечами);
4. Установки электрошлакового переплава (в цехах выпускающих особо ответственные отливки специального назначения);
5. Конверторы с верхним кислородным душем (для производства крупных отливок преимущественно на металлургических заводах).

Контрольные вопросы

1. Какие виды литейных сталей Вы знаете?
2. Как получают литейные стали?
3. Какими свойствами обладают литейные стали?
4. Для изготовления каких отливок применяются литейные стали?

1.4 Медные сплавы

Медные литейные сплавы делят на бронзы и латуни. Бронзы в свою очередь делят на оловянные (сплавы меди с оловом и другими элементами) и безоловянные (сплавы меди с алюминием, железом, марганцем, никелем и другими элементами).

Латуни – сплавы меди с цинком, кремнием, железом, марганцем, свинцом и др.

Медные сплавы наряду с достаточной прочностью имеют высокие антифрикционные свойства, хорошо противостоят коррозии в морской воде, паре и других средах, сохраняют высокую пластичность при низкой температуре. Они немагнитны, легко полируются и обрабатываются резаньем.

Оловянные бронзы широко применяют для изготовления арматуры, подшипников, шестерён, втулок, работающих в условиях трения, повышенного трения, воды и водяного пара. Хорошая жидкотекучесть бронз позволяет литьём в песчаные формы получать сложные по конфигурации отливки. Характерной особенностью сплавов этой группы является широкий интервал кристаллизации ($150 \dots 200^\circ\text{C}$), что обуславливает значительные трудности получения плотных отливок.

Безоловянные бронзы по механическим свойствам (табл. 1.19) коррозионным и антифрикционным свойствам превосходят оловянные.

Фасонные отливки изготовляют преимущественно из сложнолегированных латуней, двойные латуни используют сравнительно редко. Легирование двойных латуней алюминием или кремнием повышает жидкотекучесть, коррозионную стойкость, механические свойства сплавов и уменьшает угар цинка при плавке. Вместе с тем алюминий и кремний повышают склонность латуней к газонасыщению и образованию пористости. Железо и марганец улучшают механические свойства латуней, но снижают жидкотекучесть. Олово, улучшая механические свойства латуней, не оказывает влияния на их литейные свойства.

Таблица 1.18.

Содержание легирующих элементов, % в некоторых медных литейных сплавах.

Марка сплава	<i>Sn</i>	<i>Pb</i>	<i>Al</i>	<i>Mn</i>	<i>Zn</i>	<i>Cu</i>	Другие
Оловянные бронзы (ГОСТ 613 – 79)							
Бр010Ф1	9-11	-	-	-	-	Ост.	0,4-1,1 <i>P</i>
Бр010Ц2	9-11	-	-	-	1-3	Ост.	-
Бр05Ц5С5	4-6	4-6	-	-	4-6	Ост.	-
Бр03Ц12С5	2-3,5	3-6	-	-	8-15	Ост.	-
Безоловянные бронзы (ГОСТ 493 - 79)							
БрА9Мц2Л	-	-	8-9,5	1,5-2,5	-	Ост.	-
БрА9Ж3Л	-	-	8-10,5	-	-	Ост.	2-4 <i>Fe</i>
БрА10Ж3Мц2	-	-	9-11	1-3	-	Ост.	2-4 <i>Fe</i>
БрС30	-	27-31	-	-	-	Ост.	-
Латуни ГОСТ (17711 - 93)							
ЛЦ40С	-	0,8-2	-	-	Ост.	57-61	-
ЛЦ40Мц1,5	-	-	-	-	Ост.	57-60	-
ЛЦ30А3	-	-	2-3	1-2	Ост.	66-68	-
ЛЦ16К4	-	-	-	-	Ост.	78-81	3-4,5 <i>Si</i>

Кремневая латунь ЛЦ16К4 обладает высокой жидкотекучестью, хорошо обрабатывается резаньем и сваривается. Её применяют для изготовления арматуры испытывающей повышенное воздушное и гидравлическое давление, работающей в агрессивных средах (морской соде, серной кислоте и т.д.).

Алюминиевые латуни, обладающие хорошей коррозионной стойкостью в морской воде, широко применяют в судостроении.

Марганцовые латуни применяют для изготовления жаростойких и коррозионно-стойких отливок.

Свинцовую латунь используют как антифрикционный материал.

1.4.1. Особенности плавки медных сплавов

Плавку медных сплавов ведут в тигельных и шахтных индукционных и отражательных печах, футерованных шамотом и кварцем. При плавке на воздухе медные сплавы окисляются и насыщаются водородом, что снижает свойства сплавов. Для защиты от окисления плавку сплавов ведут под покровом древесного угля или флюсов на основе фторидов стекла и соды. Чтобы предупредить образование твердых нерастворимых оксидов, медь перед введением легирующих элементов раскисляют 0,1...0,5% фосфора.

Для очистки сплавов от растворённого водорода и твёрдых неметаллических включений их подвергают продувке газами, вакуумированию, обработке

флюсами и фильтрованию. Наиболее глубокую очистку расплавов даёт фильтрование через зернистые фильтры фторидов кальция и магния. Фильтры перед использованием подогревают до 700...800 °С.

Таблица 1.19.

Механические свойства и область применения безоловянных литейных бронз по ГОСТ 493 – 79.

Марка бронзы	Спо- соб литья	σ_B , МПа	δ_5 , %	НВ, МПа (кгс/мм ²)	Область применения
		не менее			
БрА9Мц2Л БрА10Мц2Л	К;П	392 490	20 12	784(80) 1078(110)	Антифрикционные детали; детали арматуры; рабо- тающие в пресной воде; топливе и паре при t<250 ⁰ С
БрА9Ж3Л	К П	490 392	12 10	980(100)	Арматура, антифрикцион- ные детали
БрА10Ж3Мц2	К П	490 392	12 10	1176(120) 980(100)	
БрА10Ж4Н4Л	К П	587	6 5	1666(170) 1568(160)	Детали химической и пи- щевой промышленности, детали, работающие при повышенных температурах
БрА11Ж6Н6 БрА9Ж4Н4Мц1	К;П	587	2 12	2450(250) 1568(160)	Арматура, антифрикцион- ные детали. Арматура для морской во- ды.
БрС30 БрСу3Н3Ц3С20Ф БрА7Мц15Ж3Н2Ц2	К К П	58,7 157 607	4 2 18	245(25) 637(65) -	Антифрикционные детали.
Примечания: 1. Условные обозначения способа литья: К - литьё в кокиль: П – литьё в песчаную форму. 2. В марке БрА9Ж3Лпри литье в кокиль допускается относительное удлинение не менее 6%, если твёрдость НВ превышает 1568 МПа (160 кгс/мм ²).					

Медные сплавы модифицируют с целью измельчения зерна и нейтрализации вредных примесей. Для измельчения зерна в сплавы вводят 0,15...0,2% тугоплавких элементов (*Ti, V, Zr, B, W, Mo*). Для нейтрализации вредного влияния примесей висмута, сурьмы, мышьяка и свинца в двойные латуни вводят до 0,2% кальция, до 0,3% церия или циркония.

Контрольные вопросы

1. Какие виды медных сплавов Вы знаете?
2. Какими свойствами обладают медные сплавы?
3. Для изготовления каких отливок применяются медные сплавы?

1.5 Алюминиевые литейные сплавы

Алюминиевые сплавы, благодаря низкому удельному весу, высокой удельной прочности, электро- и теплопроводности, широко применяют в машиностроении, приборостроении и электротехнической промышленности.

Химический состав алюминиевых сплавов их механические свойства, а так же возможность их применения для литья в песчаные формы, под давлением, в кокиль, по выплавляемым моделям и в оболочковые формы даны в ГОСТе 2685 – 81.

Для изготовления фасонных отливок используют сплавы, которые в зависимости от компонентов, добавляемых к алюминию, подразделяют на пять групп (табл. 1.20.).

Таблица 1.20.

Химический состав, % некоторых алюминиевых литейных сплавов (ГОСТ 2685 - 81).

Группа сплавов	Марка сплава	<i>Si</i>	<i>Cu</i>	<i>Mg</i>	<i>Mn</i>	Другие элементы
1	АЛ2 АЛ4 АЛ9	10-13 8-10,5 6-8	- - -	- 0,17-0,3 0,2-0,4	- 0,2-0,5 -	- - -
2	АЛ АК7М2 АЛ32	4,5-5,5 6-8 7,5-8,5	1,5-3 1,5-3 1-1,5	0,35-0,6 0,2-0,6 0,3-0,5	0,6-0,9 0,2-0,6 0,3-0,5	- - 0,1-0,3Ti
3	АЛ7 АЛ19	- -	4-5 4,5-5,3	- -	- 0,6-1	0,15-0,35Ti
4	АЛ8 АЛ27	- -	- -	9,3-10 9,5-10,5	- -	- 0,05-0,15Ti 0,05-0,15Be 0,05-0,2Zr
5	АЛ1 АЛ30 АК21М2,5Н2,5	- 11-13 20-22	3,75-4,5 0,8-1,5 2,2-3	1,25-1,75 0,8-1,3 0,2-0,5	- - 0,2-0,4	1,75-2,25Ni 0,8-1,3Ni 2,2-2,8Ni 0,1-0,3Ti 0,2-0,4Cr

Примечание: остальное *Al*

Основным компонентом (кроме алюминия) в сплавах является: 1 группы – кремний, 2 группы – кремний и медь, 3 группы – медь, 4 – магний. В пятую группу входят сложнелегированные сплавы.

В табл. 1.21 приведены технологические свойства и назначение некоторых марок литейных алюминиевых сплавов.

Таблица 1.21.

Основные технологические свойства и применение некоторых алюминиевых литейных сплавов.

Марка сплава по ГОСТ2685-81	Обрабатываемость резаньем	Свариваемость	Коррозионная стойкость	Рабочая температура °С не более	Примеры применения
1	2	3	4	5	6
АЛ1	Хорошая		Пониженная	300	Поршни и малоребристые головки цилиндров
АЛ2	Пониженная	Хорошая		200	Тонкостенное литьё
АЛ3	Удовлетворительная			275	Детали малой и средней нагруженности (корпуса и арматура приборов)
АЛ4	Пониженная	Хорошая		200	Крупные и средние сложные по конфигурации высоконагруженные детали ответственного назначения
АЛ5	Удовлетворительная			250	Средненагруженные корпусные детали, головки цилиндров поршневых двигателей
АЛ6				225	Детали карбюраторов и арматура двигателей
АЛ7	Хорошая	Пониженная	Небольшие несложной формы детали, работающие при средних нагрузках		

Продолжение табл. 1.21.

1	2	3	4	5	6
АЛ8	Хорошая	Удовле- твори- тельная	Отличная	80	Высоконагруженные де- тали, а также детали, воспринимающие по- вышенные вибрацион- ные нагрузки
АЛ9	Удовлетво- рительная	Хорошая		200	Средне нагруженные де- тали сложной конфигу- рации
АЛ10 В		Удовле- твори- тельная	Пони- женная	250	Различные машино- строительные детали. Не рекомендуется для поршней.
АЛ19		Хорошая		300	Детали сравнительно простой формы, рабо- тающие в условиях по- вышенных статических и ударных нагрузок.
АЛ20	Хорошая	Удовле- твори- тельная	Удовле- твори- тельная	275	Различные детали.
АЛ21			Пони- женная	325	Крупногабаритные дета- ли.

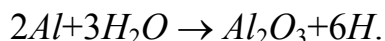
1.5.1. Особенности плавки и литья алюминиевых сплавов

При плавке на воздухе алюминиевые сплавы окисляются и насыщаются водородом. По мере окисления на их поверхности образуется оксидная плёнка. В процессе плавки оксидные плёнки разрушаются, их обрывки замешиваются в расплаве, а, попадая в отливки, ослабляют их сечения, снижают прочность.

Алюминиевые сплавы растворяют до 3 см³ водорода на 100 г расплава. Щелочные и щелочноземельные металлы увеличивают растворимость водорода в сплавах.

Проведение плавки под флюсом предохраняет алюминиевые расплавы от окисления и насыщения водородом. Для сплавов, содержащих не более 1% магния, в качестве покрывного флюса применяют смесь хлоридов натрия и калия (55%) в количестве 1...2% от массы шихты. Для алюминиевых сплавов, содержащих более 1% магния, в качестве флюса используют карналлит ($MgCl_2 \times KCl$) и смесь карналлита с 10...15% фторида кальция или магния. В тех случаях, когда применение флюса невозможно, защиту этих сплавов от окисления проводят введением 0,01...0,05% бериллия. В последние годы для этой цели успешно применяют газовые смеси, например воздух с 0,1% шестифтористой серы (SF_6).

Из газов печной атмосферы для алюминиевых сплавов наиболее опасны пары воды. Взаимодействие их с алюминием приводит к загрязнению расплавов оксидными плёнками и насыщению водородом:



В целях предотвращения такого взаимодействия принимают ряд мер для удаления влаги: сушат шихтовые материалы, прокаливают футеровку печей и разливочных ковшей, окрашивают плавильный инструмент, сушат и переплавляют флюсы. Однако полностью предотвратить окисление не удаётся. Поэтому перед заливкой в формы сплав необходимо рафинировать.

Рафинирование сплава от взвешенных неметаллических включений водорода осуществляют продувкой инертными газами (аргон, азот) и активными (хлор, смесь азота с 10% хлора) и последующим фильтрованием через зернистые и спечённые фильтры.

Технология продувки состоит в пропускании газов через пористые вставки из спечённого глинозёма для получения газовых пузырьков диаметром 1,5...2 мм. Продувку азотом проводят при 720...730 °С в течение 15...20 мин (в зависимости от объёма расплава) с расходом газа 0,5...1 м³ на тонну расплава. Рафинирование смесью азота с хлором проводят при 710...720 °С в течение 10...12 минут с расходом газа 0,5...0,8 м³ на тонну расплава.

При рафинировании хлоридами последние вводят в расплав в количестве 0,1...0,3% при температуре 720...750 °С. Взаимодействие хлоридов с алюминием сопровождается образованием хлористого алюминия, пары которого действуют также как азот или аргон. Для удаления мелких пузырьков рафинирующих газов расплавы после рафинирования отстаивают в течение 10...15 мин.

Рафинирование флюсом осуществляется при температуре 730...750 °С, расход флюса 0,5...1% от массы расплава. Перед использованием флюс переплавляют для удаления кристаллизованной влаги. Обезвоженный флюс насыпают на поверхность расплава или вводят в расплав, который энергично перемешивают.

Вакуумирование алюминиевых сплавов ведут при остаточном давлении 6,6...13,3 МПа в течение 15...20 минут.

Эффективным способом очистки от неметаллических включений и плён является фильтрование расплавов через сетчатые, зернистые или пористые керамические фильтры. Сетчатые фильтры, изготовленные из стеклоткани с размером ячейки от 0,5×0,5 до 1,5×1,5 мм или титана, установленные в литниковых чашах, под стояками или в шлакоуловителях, позволяют в 1,5...2 раза снизить количество попавших в отливку включений и плён, размер которых больше размера ячейки сетки.

Значительно больший эффект дают зернистые фильтры, представляющие собой слой (толщиной 100...150 мм.) зёрен фильтрующего материала диаметром 5...10 мм. Такие фильтры изготовляют из магнезита, графита, сплавов хлоридов и фторидов, алунда и других материалов. При оптимальных условиях фильтрования зернистые фильтры работают в 2...4 раза эффективней, чем сетчатые.

Эффективность операций рафинирования перечисленными способами контролируют с помощью технологических проб, химического и газового анализа.

Алюминиевые сплавы модифицируют с целью измельчения зёрен. Для измельчения зерен в расплавы вводят титан, цирконий, бор, ванадий, титан совместно с бором. Измельчение зерен отливок повышает однородность их механических свойств в различных по толщине сечениях и увеличивает относительное удлинение. В качестве модификаторов используют смесь фтористого и хлористого натрия (33% $NaCl$, 67% NaF) или (25% NaF , 62,5% $NaCl$, 12,5% KCl). В некоторых случаях модифицирование совмещают с рафинированием, используя для этой цели универсальный флюс (40% NaF , 45% $NaCl$, 15% Na_3AlF_6).

Эффект от модифицирования натрием сохраняется в течение 20...30 мин. Модифицирующие действие стронция, который вводят в расплав лигатурой алюминий – стронций (Sr 10%), при температуре 750...780 °C, сохраняется более 3 ч.

Заэвтектические силумины модифицируют с целью измельчения первичных кристаллов кремния. В качестве модификатора используют фосфор, который вводят в расплавы в количестве 0,05...0,1% лигатурой медь – фосфор или смесью красного фосфора (20%) с фторцирконатом калия (K_2ZrF_6) (10%) и хлористым калием (70%) при 790...825 °C.

Для измельчения формы выделения кристаллов железистой составляющей (получение компактных, округлых кристаллов вместо иглообразных, резко снижающих пластические свойства) в алюминиевые сплавы вводят 0,3...0,4% марганца или бериллия.

Тщательно очищенный расплав может быть опять загрязнен в процессе заливки форм. Падение струи металла с высоты более 300 мм вызывает вспенивание и образование оксидов, часть которых попадает в отливки. Для алюминиевых сплавов недопустимо образование оксидов, часть которых попадает в отливку. В связи с этим применяют расширяющиеся литниковые системы, обеспечивающие отделение неметаллических включений и минимально допустимую линейную скорость движения струи расплава на выходе из питателей. Очень часто в шлакоуловителях устанавливают сетки (из стеклоткани, титана, стержневой смеси), усложняют литниковые системы поворотами, используют зернистые фильтры.

Алюминиевые сплавы склонны к образованию усадочной пористости, устранение которой в отливках достигают установкой массивных прибылей, холодильников, а для ответственных отливок кристаллизацией под давлением сжатого воздуха в автоклавах.

Отливки из алюминиевых сплавов изготавливают всеми известными способами литья.

Очищают отливки на гидropескоструйных установках.

В зависимости от состава сплава отливки проходят термическую обработку по определённым режимам.

Контрольные вопросы

1. Какие виды алюминиевых литейных сплавов Вы знаете?
2. Какими свойствами обладают алюминиевые литейные сплавы?
3. Для изготовления каких отливок применяются алюминиевые литейные сплавы?

1.6. Магниевые литейные сплавы

Для изготовления фасонных отливок используют три группы магниевых сплавов: сплавы магния с алюминием и цинком, сплавы магния с цинком и цирконием, сплавы магния, легированные РЗМ (табл. 1.22).

Таблица 1.22.

Химический состав, %, некоторых магниевых сплавов (ГОСТ 2856-79).

Группа сплавов	Марка сплава	<i>Al</i>	<i>Mn</i>	<i>Zn</i>	<i>Zr</i>	Другие элементы
1	МЛЗ	2,5...3,5	0,15...0,5	0,5...1,5	-	-
	МЛ4	5...7	0,15...0,5	2...3,5	-	-
	МЛ5	7,5...9	0,15...0,5	0,2...0,8	-	-
	МЛ6	9...10,2	0,1...0,5	0,6...1,2	-	-
2	МЛ8	-	-	5,5...6,6	0,7...1,1	0,2...0,8 <i>Cd</i>
	МЛ12	-	-	4...5	0,6...1,1	-
3	МЛ9	-	-	-	0,4...1	0,2...0,8 <i>In</i> 1,9...2,6 <i>Nd</i>
	МЛ19	-	-	0,1...0,6	0,4...1	1,4...2,2 <i>Y</i> , 1,6...2,3 <i>Nd</i>
Примечание: остальное <i>Mg</i> .						

Сплавы 1-й группы предназначены для производства высоконагруженных отливок, работающих в атмосфере с большой влажностью. Для повышения коррозионной стойкости в сплавы вводят 0,1...0,5 % марганца, а для снижения окисляемости 0,001...0,002 % бериллия или 0,5...0,1 % кальция. Сплавы этой группы относятся к числу высокопрочных. Основным упрочнителем в них является алюминий, растворимость которого в магнии при эвтектической температуре составляет 17,4%, а при нормальной - 2,8%. Цинк также упрочняет магний, но менее эффективно, чем алюминий.

Сплавы 2-й группы также относят к числу высокопрочных. Они отличаются от магниевых сплавов других групп повышенными механическими свойствами и хорошей обрабатываемостью резанием. Легирование их лантаном улучшает литейные свойства, несколько повышает жаропрочность и свариваемость, но снижает прочность и пластичность при нормальной температуре. Эти сплавы обладают удовлетворительными литейными свойствами, имеют измельченные цирконием зерна, способны упрочняться при термической обработке. Из них можно получать отливки с однородными свойствами в различных по тол-

щине сечениях Их используют для изготовления отливок, работающих при 200...250 °С и высоких нагрузках.

Сплавы 3-й группы обладают высокой жаропрочностью и хорошей коррозионной стойкостью. Они предназначены для длительной работы при 250...350°С и кратковременной при 400°С. Эти сплавы имеют хорошие литейные свойства, высокую герметичность, малую склонность к образованию микрорыхлот и усадочных трещин, высокие и однородные механические свойства в сечениях различной толщины. Сплавы с редкоземельными элементами применяют для изготовления отливок, работающих под воздействием статических и усталостных нагрузок.

Для изготовления отливок чаще используют сплавы первой группы. Лучшими литейными свойствами обладают сплавы МЛ5 и МЛ6.

1.6.1 Особенности плавки и литья

Плавка магниевых сплавов сопряжена с рядом трудностей, связанных, прежде всего с их легкой окисляемостью. На поверхности магниевых расплавов, в отличие от алюминиевых, образуется рыхлая пленка оксида, не предохраняющая металл от дальнейшего окисления. При незначительном перегреве магниевые расплавы легко воспламеняются. В процессе плавки магний и его сплавы взаимодействуют с азотом, образуя нитриды, и интенсивно поглощают водород (до 30 см³ на 100 г расплава). Оксиды и нитриды, находясь во взвешенном состоянии, обуславливают снижение механических свойств сплава и образование микропористости в отливках.

Для предотвращения интенсивного взаимодействия с печными газами плавку магниевых сплавов ведут под флюсами или в среде защитных газов. При плавке большей части магниевых сплавов применяют флюс ВИ2 (40...48% $MgCl_2$, 30...40% KCl , 5% $BaCl_2$, 3...5% CaF_2) и ВИЗ (33...40% $MgCl_2$, 25...36% KCl , 15...20% CaF_2 , 7...10% MgO), основой которых является карналлит. Покровные флюсы для сплавов с редкоземельными элементами не должны содержать хлористый магний (22...26% KCl , 17...20% $NaCl$, 35...39% $CaCl_2$, 19...23% $BaCl_2$, 2...5% CaF_2), так как он взаимодействует с РЗМ с образованием хлоридов, увеличивая их потери до 20%.

Применение флюсов вызывает ряд нежелательных явлений. Попадание флюса в тело отливки приводит к образованию очагов интенсивной коррозии из-за их высокой гигроскопичности; существенно ухудшаются условия труда. Поэтому в настоящее время широко применяют безфлюсовую плавку, используя для защиты магниевых расплавов газовые смеси (воздух с шестифтористой серой или фторидом бора, углекислый газ и др.). В производственных условиях чаще всего используют смесь воздуха с 0,1% шестифтористой серы.

В зависимости от масштаба производства и массы отливок применяют три способа плавки литейных магниевых сплавов: в стационарных тиглях, выемных тиглях и дуплекс-процессом (в индукционной печи-тигле). Плавку в стационарных тиглях ведут при массовом или крупносерийном производстве мелких отливок. Сплавы в этом случае расплавляют под флюсом ВИ2 в толстостенных

стальных тиглях. После рафинирования и модифицирования расплавы отстаивают в течение 10...15 мин при температуре 700...720°C, а затем небольшими ковшами разливают по формам. Остаток металла (25...30% объема расплава в тигле), загрязненный неметаллическими включениями и флюсом, после каждой плавки сливают и подвергают переплавке и рафинированию.

При изготовлении крупных отливок плавку ведут в выемных сварных стальных тиглях чайникового типа под флюсом ВИЗ. Этот флюс имеет меньшую плотность, чем флюс ВИ2, поэтому всплывает на поверхность расплава и во время заливки форм удерживается в тигле перегородкой. Для заполнения форм используют 2/3 объема расплава; 1/3 объема, загрязненного флюсом и неметаллическими включениями, направляют на переплав и рафинирование.

При дуплекс-процессе после расплавления в индукционных тигельных печах под флюсом расплав переливают в выемные тигли, в которых осуществляют рафинирование и модифицирование.

Выплавка большей части магниевых сплавов начинается с загрузки и расплавления покровного флюса (около 10% от массы шихты), затем загружается и расплавляется магний или подготовительный сплав, в который добавляются легирующие компоненты (*Mn*, *Zn*, *Zr* и РЗМ). Марганец вводят в виде хлористого марганца при 850°C, цирконий в виде фторцирконата калия или лигатуры магний — цирконий. РЗМ вводят в чистом виде или мишметаллом.

Для очистки от неметаллических включений магниевые расплавы фильтруют через зернистые фильтры из магнезита или графита, обрабатывают флюсом ВИ2 или ВИЗ или продувают газами (аргоном при 720...760 °C). Для связывания водорода в устойчивые гидриды в расплавы перед разливкой вводят до 0,1 % кальция.

Для измельчения зерна и повышения механических свойств магниевые сплавы, содержащие алюминий, подвергают модифицированию углеродсодержащими веществами (мелом, гексахлорэтаном, магнезитом, мрамором и др.) или перегревом. Перед модифицированием для предохранения от загорания в расплавы вводят 0,001...0,002% бериллия.

При модифицировании перегревом расплав нагревают в стальном тигле до 900°C, выдерживают при этой температуре 15...20 мин, а затем быстро охлаждают до температуры заливки. В процессе перегрева магниевые расплавы растворяют некоторое количество железа из стального тигля. При последующем быстром охлаждения железо выделяется в виде дисперсных частиц $FeAl_3$, которые служат центрами кристаллизации для твердого раствора алюминия в магнии (α_{Mg}).

Более стабильные результаты достигают модифицированием углеродсодержащими веществами (0,3...0,6% от массы расплава). При 720...780°C модификаторы разлагаются с выделением углекислого газа, из которого магний восстанавливает углерод. В результате последующего взаимодействия с алюминием образуются тонкодисперсные карбиды алюминия (Al_4C_3), являющиеся центрами кристаллизации для α_{Mg} -твердого раствора.

Для измельчения зерен сплавов, не содержащих алюминия, в расплав вводят присадки циркония (0,5...0,7%) или кальция (0,05...0,15%).

При заливке форм предусматривают меры, предотвращающие попадание шлака и флюса в отливки, захват воздуха и окисление расплава. Для этого применяют литниковые чаши с пробками, вмещающие от 30 до 100% сплава, необходимого для заполнения формы, устанавливают металлические сетки и зернистые фильтры. Эффективной мерой предотвращения попадания флюса в отливки является применение фильтров из магнезита, хорошо впитывающих хлориды.

Расширяющиеся литниково-питающие системы с тонкими ленточными стояками, щелевыми и многоярусными питателями, массивные прибыли (30...50% от массы отливки) должны обеспечить плавный подвод металла и рациональное питание отливки в процессе затвердевания.

Около 80% отливок из магниевых сплавов изготавливают в металлических формах (в кокилях и под давлением) и около 20 % в песчаных формах. Песчаные формы и стержни изготавливают из мелкозернистых песков.

Отличительной особенностью формовочных и стержневых смесей для этой группы сплавов является введение в их состав серы, буры, борной кислоты, технической мочевины и других веществ, предотвращающих взаимодействие расплава с материалом форм и стержней.

При заливке форм струю металла обязательно припудривают молотой серой, что предохраняет расплав от загорания. При изготовлении высоких отливок (высотой более 500 мм) широко используют метод литья с последовательной направленной кристаллизацией, предусматривающий подачу расплава в форму под уровень расплава через стальные подогреваемые трубки диаметром 10...12 мм и опускание формы с заданной скоростью. Трубки при этом остаются в исходном положении, нижний конец их все время находится под уровнем расплава.

Отличительной особенностью технологии является химическая обработка отливок перед их термической обработкой и сдачей на склад с целью получения плотного защитного слоя оксида на поверхности. В процессе химической обработки отливки обезжиривают в щелочном растворе, промывают в холодной воде, выдерживают в растворе хромового ангидрида для удаления остатков солей и флюсов, вновь промывают в воде, оксидируют в растворе двуххромовокислого калия с азотной кислотой и хлористым аммонием для получения оксидной пленки, промывают и высушивают. После этого отливки подвергают термической обработке в атмосфере сернистого газа с принудительной циркуляцией.

Технология обрубки, пропитки и контроля отливок из магниевых сплавов аналогична технологии обработки отливок из алюминиевых сплавов.

Контрольные вопросы

1. Какие виды магниевых литейных сплавов Вы знаете?
2. В чем состоят особенности плавки и литья магниевых сплавов?
3. Какими свойствами обладают магниевые сплавы?

4. Для изготовления каких отливок применяются магниевые литейные сплавы?

1.7. Выбор шихтовых и вспомогательных материалов. Методы расчета шихты

Качество используемых в промышленности сплавов зависит в первую очередь, от их химического состава. Для некоторых сплавов даже небольшие изменения состава сопровождаются большими отклонениями в заданных свойствах. Поэтому вопросам выбора шихтовых материалов должно уделяться серьезное внимание.

Чтобы правильно решить вопрос о предельно допустимых содержаниях примесных элементов в сплаве, следует учитывать требования, предъявляемые к нему в процессе службы изделий из этого материала, а также успешное проведение соответствующей обработки при изготовлении отливок.

Используемые шихтовые материалы должны быть такими по составу, чтобы обеспечивать получение готового сплава с количеством примесей, не превышающем допустимые пределы.

При составлении шихты для сплава должны быть учтены помимо чисто экономических показателей физические и химические свойства легирующих компонентов и основного металла. Цинк, например, при нагреве его выше температуры плавления сильно испаряется и энергично окисляется. Плавка алюминиевых сплавов в шамотных тиглях, содержащих кремнезем, сопровождается восстановлением последнего и переходом кремния в сплав, а алюминий, переходя в оксиды, шлакуется имеющимся кремнеземом. Поэтому плавка алюминия в шамотных тиглях без специальной обработки поверхности тигля недопустима.

Если не учитывать поведение составляющих шихты в процессе приготовления сплавов, то можно получить состав их, в большей или меньшей мере отличающийся от расчетного. Снижение угара при плавке может быть осуществлено за счет применения лигатур, которое обусловлено также необходимостью получать сплав заданного состава.

Это особенно важно в тех случаях, когда легирующая добавка вводится в малых количествах, когда колебания в составе некоторых компонентов ограничиваются узкими пределами. Во всех случаях для получения сплава заданного состава необходимо применять исходные материалы с известным химическим составом.

Угар металлов при плавке сплавов зависит от многих факторов: продолжительности плавки, типа применяемых плавильных агрегатов, тщательности предохранения сплава от печной атмосферы, температуры перегрева, состава шихтовых материалов и т.д.

Содержание каждого компонента сплава в шихте рассчитывается с учетом его угара в ходе плавки по формуле

$$C_{iш} = (C_{ic} \cdot 100) / (100 - Y_i), \quad (1.5)$$

где C_{ic} - заданное содержание данного компонента в сплаве, %;

Y_i - угар данного компонента при плавке, % .

При определении количества компонента сплава, вносимого возвратом собственного производства, используют формулу

$$C_i = (K_{\text{всп}} \cdot C_{\text{ивсп}} \cdot K_{yi})/100, \quad (1.6)$$

где $K_{\text{всп}}$ - количество возврата собственного производства, %;

$C_{\text{ивсп}}$ - содержание компонента сплава в возврате собственного производства, %;

K_{yi} - коэффициент усвоения компонента при плавке,

$$K_{yi} = (100 - Y_i)/100. \quad (1.7)$$

Количество остальных компонентов шихты (кроме возврата собственного производства) определяют по формуле

$$K_j = (C_{ic} - C_i) 100 / (C_{ij} - K_{yi}), \quad (1.8)$$

где K_j - расчетное количество шихтового материала, %;

C_{ic} - заданное содержание данного компонента в сплаве, %;

C_i - количество компонента сплава, уже внесенного в расплав, например, возвратом собственного производства, %;

C_{ij} - содержание данного компонента сплава в шихтовом материале, %.

Исходными данными при расчете являются:

- а) химический состав сплава по ГОСТу или ТУ;
- б) оптимальный или расчетный состав сплава;
- в) химический состав исходных шихтовых материалов;
- г) угар отдельных составляющих сплава в процессе его изготовления.

Расчет шихты ведут, как правило, на 100 кг сплава. Это значительно упрощает расчет. При расчете следует брать средний химический состав на данный сплав или оптимальный химический состав в пределах ГОСТа и ТУ, при котором сплав имеет наилучшие свойства.

Расчеты шихты могут проводиться арифметическим, аналитическим или графическим методами, в том числе с использованием ПЭВМ.

1.7.1. Арифметический метод расчета шихты

Данный метод применяется при определении количества компонентов шихты с известным количеством возвратов и некоторых других шихтовых материалов (табл. 1.23, 1.24, 1.25). Расчетное содержание того или иного элемента в шихте определяется по формуле (1.5) или (1.6). Определив среднее содержание элемента в шихте, рассчитывают процентное содержание составляющих шихты.

Пример расчета шихты с применением лигатуры: задано приготовить 300 кг сплава Д16. Средний химический состав сплава - 4,4% *Cu*, 1,5% *Mg*, 0,6% *Mn*, 93,5% *Al*.

Исходные данные:

- 1) Алюминий чушковый марки А0.
- 2) Двойная лигатура *Al* - *Mg* марки АМг10, содержащая 10% *Mg* и 90% *Al*.
- 3) Двойная лигатура *Al* - *Cu* марки АМ50, содержащая 50% *Cu* и 50% *Al*.
- 4) Тройная лигатура *Al* - *Cu* - *Mn* марки АМЦ 40-10, содержащая 40% *Cu*, 10% *Mn*, 50% *Al*.

5) Плавка будет производиться в отражательной пламенной печи. Угар компонентов: 1,5% *Al*, 2% *Cu*, 1,5% *Mn*, 4% .

Таблица 1.23.

Средний угар элементов при плавке алюминиевых и магниевых сплавов, %.

Эле- мент	Сплавы			
	алюминиевые		магниевые	
	Тип плавильной печи			
	тигельная	отражательная	тигельная	отражательная
<i>Li</i>	До 10/до 15	До15/до20	До 10/до 15	До 15/до 20
<i>Be</i>	2-3/5-10	5-7/10-20	2-3/5-10	5-7/10-20
<i>B</i>	2-3/3-5	3-5/5-10	Более 2	Более 4
<i>Na</i>	2-3/3-5	3-5/5-10	2-4/3-5	4-6/6-12
<i>Mg</i>	2-3/3-5	3-5/5-10	1,0-1,5/2,0-3,0	1,5-2,0/2,0-5,0
<i>Al</i>	0,8-1,0/2,0-3,0	2-3/3-5	0,5-1,0/1,0-1,5	1,0-1,5/1,5-2,0
<i>Si</i>	1,0-1,5/2,0-3,0	2-5/5-10	0,2-1,0/1,0-3,0	2,0-3,0/3,5-5,0
<i>P</i>	33-5/5-15	Более 5	Более 5	Более 5
<i>K</i>	1-2/2-3	2-3/3-55	1,0-2,5/2,0-3,0	2,0-3,5/3,0-5,0
<i>Ti</i>	1,0-1,5/2,0-5,0	2-5/5-10	1,0-1,5/2,0-5,0	2-5/5-10
<i>V</i>	0,5-1,0/1,0-2,0	1-2/2-3	1-2/2-4	2-5/3-6
<i>Cr</i>	0,5-1,0/2,0-3,0	1-2/2-3	Более 1	Более 2
<i>Mn</i>	1,0-1,5/2,0-3,0	1-2/4-5	0,2-1,0/2,0-3,0	2-3/3-10
<i>Fe</i>	0,5-1,0	2-5/5-10	~1,0	~1,5
<i>Ni</i>	0,5-1/1,0-1,2,0	0,5-1,0	~1,0	~1,5
<i>Cu</i>	0,5-1,0/1,0-2,0	1,0-1,2/1,0-1,5	1,0-1,5/1,5-2,0	1-2/2-3
<i>Zn</i>	0,5-2,0/2,0-5,0	2-3/3-10	0,5-2,0/2,0-5,0	2-3/2-10
<i>Y</i>	-	-	до 1	-
<i>Zr</i>	1-2/2-5	3-55/5-10	1-2/2-5	3-5/5-10
<i>Mo</i>	0,5-1,0	0,5-2,0/1,0-2,0	Более 1	Более 2
<i>Cd</i>	До 2/до 5	До 5/до 10	До 2/до 5	До 5/до10
<i>In</i>	-	-	1	-
<i>Sn</i>	0,2-0,5/1,0-1,5	1,0-1,5/1,0-2,0	До 0,5/1,0-1,5	1,0-1,5/1,0-2,0
<i>La*</i>	-	-	8/20-25	-
<i>Ce</i>	0,5-1,0/1,0-2,0	1-2/2-3	Более1	Более 2
Миш-металл	1-3/3-5	3-5/5-20	Более3	Более 5
<i>Nd</i>	-	-	5/10-15	-
<i>Pb*</i>	0,5-2,0/1,0-2,0	-	Более 2	Более 3

Таблица 1.24.

Средний угар элементов при плавке медных и цинковых сплавов, %.

Эле- мент	Сплавы				
	Тита- новые	Медные		Цинковые	
	Тип плавильной печи				
	тигель ная	отражательная	тигельная		отражательная
<i>Li</i>	-	Более 15	Более 20	Более 2	Более 3
<i>Be</i>	-	2-3/3-5	3-5/3-10	-	-
<i>B</i>	-	Более 5	Более 5	-	-
<i>Na</i>	-	2-3/3-5	3-5/5-10	Более 2	Более 3
<i>Mg</i>	-	3-5/3-10	5-10/10-20	До 2/3-5	3-5/5-10
<i>Al</i>	2,0-2,5	1,0-1,5/2,0-5,0	2-3/2-5	0,5-1,0/2,0-3,0	2-3/3-5
<i>Si</i>	15-20	До 1/до 5	1-5/5-10	до 1,5/2-3	2-3/3-5
<i>P</i>	-	До 30/до 50	30-40/40-70	-	-
<i>K</i>	-	1,5-2,5/2,0-4,0	2-4/4-8	Более 1	Более 1,5
<i>Ti</i>	0,1-0,2	До 5/до10	До 10/до 36	До 1,5/2-5	2-5/5-10
<i>V</i>	До 0,1	Более 3	Более 5	-	-
<i>Cr</i>	15-20	2-3/3-5	3-5/5-10	-	-
<i>Mn</i>	10-15	1,0-1,5/1-10	2-3/2-10	1-2/2-3	2-3/3-5
<i>Fe</i>	10-15	0,5-1,0/0,5-2,0	0,5-2,0/1,0-3,0	-	-
<i>Ni</i>	-	0,5-1,0/1,0-1,5	1,0-1,5/1,5-2,0	До1	До 1,5
<i>Cu</i>	-	0,3-1,0/1,0-2,0	1,0-1,5/1,5-2,0	До 1,0-1,5-2,0	1,0-1,5/1,5-2,5
<i>Zn</i>	-	2-3/3-5	5-10/5-20	1,5-2,0/3,0-5,0	3-5/5-8
<i>Y</i>	-	-	-	-	-
<i>Zr</i>	До 0,1	3-10/5-10	5-15/8-20	-	-
<i>Mo</i>	До 0,1	Более 2	Более 3	-	-
<i>Cd</i>	-	6-20/20/40	15-40/40-50	2-3/3-5	3-5/5-8
<i>In</i>	-	-	-	-	-
<i>Sn</i>	20-30	0,5-1,0/1,0-1,5	1,0-1,5/1,0-3,0	До 0,5-До 2	1,0-2,5/до 4
<i>La*</i>	-	-	-	-	-
<i>Ce</i>	-	Более 2	Более 3	-	-
Миш- ме- талл	-	Более 3	Более 5	-	-
<i>Nd</i>	-	-	-	-	-
<i>Pb*</i>	-	0,5-1,0/1,0-2,0	1-2/2-5	3-5/5-8	5-8/8-10

Таблица 1.25.

Угар элементов при выплавке чугуна, %.

Пла- виль- ный аг- регат	Футе- ровка	Элементы								
		<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>	<i>Cu</i>	<i>Fe</i>
Вагран- ка хо- лодного дутья	Кис- лая	8-(+8)	10-35	15-40	0	+(25- 100)	15-20	До 10	До 10	5-7
	Основ- ная	10- (+15)	35- 550	10-15	До 30	10-30	15-30	До 10	До 10	5-10
Вагран- ка горяче- го дутья	Кис- лая	10- (+8)	10- (+10)	10-30	0	+(10- 50)	10-15	До 5	До 5	5-7
	Основ- ная	10- (+12)	20-25	10-20	До 10	20-50	10-20	До 5	До 5	5-10
Дуговая элек- тропечь	Кис- лая	+(5- 10)	0	15-20	0	До 30	15-30	До 10	До 10	5-7
	Основ- ная	+(3-5)	5-10	10-15	До 20	20-50	15-30	До 10	До 10	5-10
Индук- ционная печь*	Кис- лая	5-15	33- (+5)	10-25	0	0	0	0	0	3-5
	Основ- ная	5-10	5-10	5-10	0	0	0	0	0	3-5
Индук- ционная печь**	Кис- лая	15-20	5-10	10-15	0	0	0	0	0	3-5
	Основ- ная	10-15	10-15	8-12	0	0	0	0	0	3-5
* Печь промышленной частоты.										
** Печь высокой частоты.										

Методика расчета

1. Определяем состав металлической завадки:

а) магния $(1,5 \cdot 100)/(100 - 4) = 1,562$ кг;б) меди $(4,4 \cdot 100)/(100 - 2) = 4,490$ кг;в) марганца $(0,6 \cdot 100)/(100-1,5) = 0,609$ кг;г) алюминия $(93,5 \cdot 100)/(100-1,5) = 94,924$ кг.

2. Определяем необходимое количество лигатур:

а) тройной лигатуры *Al - Cu - Mn*. Расчет ведется по марганцу

$$(0,609 \cdot 100)/10 = 6,09 \text{ кг.}$$

С лигатурой вносятся:

марганца 0,609 кг;

меди $(6,09 \cdot 4,0)/10 = 2,436$ кг;

алюминия $6,09 - (0,609 + 2,436) = 3,045$ кг.

б) двойной лигатуры *Al - Cu*. Расчет ведется по меди.

$$[(4,490 - 2,436) \cdot 100]/50 = 4,108 \text{ кг.}$$

С лигатурой вносятся: 2,054 кг меди и 2,054 кг алюминия;

в) двойной лигатуры *Al - Mg*. Расчет ведется по магнию.

$$(1,562 \cdot 100)/10 = 15,620 \text{ кг.}$$

С лигатурой вносятся:

магния 1,562 кг;

алюминия $15,62 - 1,562 = 14,058$ кг;

г) определяем суммарное количество каждого компонента, вносимого лигатурами:

меди $2,436 + 2,054 = 4,490$ кг;

марганца 0,609 кг;

магния 1,56 кг;

алюминия $3,045 + 2,054 + 14,058 = 19,157$ кг.

3. Определяем количество алюминия, которое необходимо ввести в чистом виде:

$$94,924 - 19,057 = 75,867 \text{ кг.}$$

4. Определяем массу каждой составляющей шихты на одну плавку сплава (30 000 кг):

а) тройной лигатуры

$$(30000 \cdot 6,09)/100 = 1827 \text{ кг;}$$

б) двойной лигатуры

$$(30000 \cdot 4,108)/100 = 1232 \text{ кг,}$$

в) двойной лигатуры

$$(30000 \cdot 15,62)/100 = 4686 \text{ кг;}$$

г) алюминия

$$(30000 \cdot 75,867)/100 = 22760 \text{ кг.}$$

Таким образом, шихта будет состоять из следующих компонентов, кг:

Алюминия марки А0	22760
Тройной лигатуры АМЦ 40-10	1827
Двойной лигатуры АМ 50	1232
Двойной лигатуры АМг 10	4686
Всего:	30505

1.7.2. Графический метод расчета шихты

Графический расчет шихты применяется при сравнительно малом количестве шихтовых материалов. Для большого количества компонентов этот метод применяется лишь в качестве проверки по нескольким элементам. Метод достаточно прост и удобен, но вследствие сравнительно малой точности применим только для расчета шихт сплавов с большими перепадами верхних и нижних пределов содержания основных элементов. К графическим методам расчета шихт относятся:

- метод параллельных координат;

- метод построения треугольника;
- метод построения многоугольника.

Пример расчета шихты методом параллельных координат по одному элементу сплава шихты из двух компонентов. Требуется приготовить латунь Л70 в количестве 1500 кг из отходов латуней Л90 и Л63. Их химический состав: Л70 $Cu = 69...72\%$, $Zn = 28...31\%$, для расчета принят оптимальный состав с $Cu = 71\%$, $Zn = 29\%$; Л90 - $Cu = 88\%$, $Zn = 12\%$; Л63 - $Cu = 62\%$, $Zn = 33\%$. Плавка производится в канальной индукционной печи ИЛК - 1,6. Угар при компактной шихте $Zn = 3,0\%$, $Cu = 0,3\%$. С учетом угара в 100 кг сплава должно быть 71,21 кг меди; 29,9 кг цинка.

Построение графика параллельных координат (см. рис. 1.5).

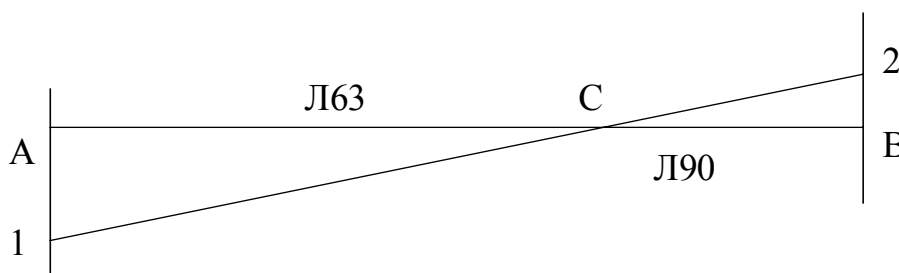


Рис. 1.5. Пример расчета шихты методом параллельных координат.

От точки прямой AB опускается перпендикуляр $A1$, равный недостатку содержания цинка в отходах Л90 по сравнению со сплавом Л70 (17,9 кг), и от точки B перпендикуляр $B2$, равный избытку цинка в Л63 по сравнению с Л70 (3,1 кг). Точка C прямой 1-2 делит AB на отрезки в масштабе; $AC = 84$ кг и $BC = 16$ кг, соответствующие количеству латуни Л63 = 84 кг и Л90 = 16 кг в шихте.

Проверка на содержание

$Zn = (34 \cdot 33 + 16 \cdot 12)/100 = 29,7$ кг - это близко к заданному.

Составляем шихтовую карту

Шихтовые материалы:	Количество, кг
1) Отходы Л63	1260,0
2) Отходы Л90	240,0
Всего:	1500,0

1.7.3. Расчет шихты с применением ЭВМ

Ручной расчет шихты становится громоздким и утомительным, если число шихтовых материалов превышает семь-восемь. Кроме того, в таком расчете не участвует оценка стоимости шихтовых материалов. В связи с этим прибегают к расчету шихты на ЭВМ. Использование ЭВМ позволяет найти оптимальный набор шихтовых материалов по стоимости. Эта задача обычно решается методами линейного программирования. Балансовые соотношения по расчетным элементам и ограничениям по количеству шихтовых материалов при линейном программировании могут быть заданы как в виде равенств, так и неравенств. При этом нижний и верхний пределы по содержанию элементов устанавливают,

исходя из регламентируемого состава сплава с учетом отклонений, обусловленных колебанием содержания легирующих элементов.

Ограничения по числу компонентов шихты также задают в виде равенств или неравенств. Кроме того, в число расчетных уравнений включают целевую функцию, которая является математическим выражением общей стоимости шихты:

$$Ц = Ц_x/100 + Ц_y/100 + Ц_z/100 + Ц_l/100 \Rightarrow \min, \quad (1.9)$$

где $Ц$ - стоимость шихты для выплавки I т сплава, руб./т;

$Ц_x \dots Ц_l$ - цены компонентов шихты, руб./т;

$x \dots l$ - масса каждого шихтового материала, необходимая для выплавки 100 кг сплава.

Таким образом, расчет оптимального состава шихты заключается в нахождении минимального значения целевой функции $Ц_{\min}$ при условиях-ограничениях, которые представляют собой систему балансовых соотношений по всем расчетным легирующим компонентам сплава и примесям, по видам шихтовых материалов (собственные возвраты, отходы со стороны, свежие и вторичные металлы и сплавы) и по общему количеству шихты.

Практически задача сводится к введению в ЭВМ целевой функции и системы балансовых соотношений в натуральной форме или в виде матрицы из коэффициентов целевой функции и балансовых соотношений и подаче команды на расчет.

Аналитический метод расчета шихты

Данный метод расчета применяется при большом количестве шихтовых компонентов и заключается в составлении систем уравнений, в которых неизвестными являются содержания элементов в шихте и, например, в чугунах. Для упрощения расчета задаются значениями двух или трех неизвестных. Количество уравнений должно быть равно числу неизвестных. В этом методе также удобно вести расчет на 100 кг шихты.

Допустим, что в отливках необходимо получить 1,9% Si и 0,65% Mn . В вагранке примем угар кремния 10% и марганца 20%. Тогда с учетом угара в шихту необходимо ввести кремния и марганца

$$Si = (1,9 \cdot 100)/(100 - 10) = 2,1\%;$$

$$Mn = (0,65 \cdot 100)/(100 - 20) = 0,8\%.$$

Допустим, что шихту можно приготовить из четырех сортов металла, химический состав которых по кремнию и марганцу приведен в табл. 1.26.

В шихте возврат собственного производства составляет 40%, металлическая шихта из трех сортов доменных чугунов - 60%.

Для того, чтобы убедиться, что можно составить шихту из компонентов, приведенных в таблице, предварительно выясним возможность получения требуемых содержаний кремния и марганца.

Среднее содержание кремния в доменных чугунах

$$Si = (2,1 + 2,3 + 2,2)/3 = 2,2\%,$$

а в ломе 8%, откуда среднее содержание кремния в 100 кг шихты

$$Si = [(60 \cdot 2,2/100) + (40 \cdot 2/100)] = 2,1 \text{ кг.}$$

Таблица 1.26.

Химический состав шихты, %.

Компоненты	Содержание	<i>Si</i>	<i>Mn</i>
Литейный чушковый чугун			
<i>A</i>	<i>x</i>	2,1	0,9
<i>B</i>	<i>y</i>	2,3	0,95
<i>C</i>	<i>z</i>	2,2	0,8
Возврат собственного производства	40	2,0	0,7

Аналогично определяем содержание марганца

$$Mn = 60/100((0,9 + 0,95 + 0,8)/3) + (40/100) 0,7 = 0,81 \text{ кг.}$$

Для нахождения неизвестных величин x , y , z составляем три уравнения, причем массу шихты при расчете принимаем равной 100 кг. Тогда содержание компонентов в процентах будет равно их массе в килограммах.

Первое уравнение

$$x + y + z + 40 = 100 \text{ или } x + y + z = 60.$$

Второе уравнение для кремния

$$1,1x + 2,3y + 2,2z + 40 \cdot 2,03 = 100 \cdot 2,1 \text{ или } 1,1x + 2,3y + 2,2z = 130.$$

Третье уравнение для марганца

$$0,9x + 0,95y + 0,8z + 40 \cdot 0,7 = 100 \cdot 0,8 \text{ или } 0,9x + 0,95y + 0,8z = 52.$$

Выразив x через y и z , после преобразования получим два уравнения с двумя неизвестными

$$0,2y + 0,1z = 4 \text{ и } 0,1y - 0,1z = -2.$$

После сложения обоих уравнений находим y :

$$0,25y = 2,0, \text{ откуда } y = 8.$$

Подставив в одно из уравнений значение y , получим $z = 24$.

Величину x найдем из уравнения

$$x + 8 + 24 = 60, \text{ откуда } x = 28.$$

На основании проведенного аналитическим методом расчета можно написать состав шихты на 100 кг металлической заправки

Чугун сорта	Содержание, кг
A	28,0
B	8,0
C	24,0
Возврат собственного производства.	40,0
Итого	100,0

Расчет шихты на ПЭВМ

Требуется рассчитать шихту для получения сплава марки АЛ4-1 в индукционной тигельной печи (шихта - компактная). Химический состав сплава и шихтовых материалов, а также необходимые для составления матрицы данные приведены в табл.1.27.

Для сплава АЛ4-1 основными контролируруемыми примесями являются *Fe*, *Cu* и *Zn*. Содержание основных и примесных элементов в лигатурах *Al - Mg - Mn*, *Al - Mn*, *Al - Mg* и *Al - Ti* определяется исходя из содержания этих элементов в лигатурах, а также химического состава первичных металлов, используемых для приготовления лигатур (табл. 1.28) и определяется по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{лиг}} = \frac{\sum x_i y_i}{100\%} \quad (1.10)$$

где $\mathcal{E}_{\text{лиг}}$ - фактическое содержание элемента в лигатуре, %;

x_i - содержание элемента в первичном металле, %;

y_i - регламентированное содержание элемента в лигатуре, %.

Матрица для поиска оптимального состава шихты с использованием симплексного метода представлена в табл.1.29.

Расчет шихты ведут, используя программу *SHIXTA*, разработанную во Владимирском государственном университете. Сначала задают размеры матрицы m и n (в данном примере $m = n = 11$), затем вводят верхний и нижний пределы содержания основы сплава и легирующих элементов, предельно допустимые содержания примесных элементов и саму матрицу.

После выполнения расчета получены следующие значения переменных X_i :

$X_1 = 0,15178$; $X_5 = 0,00091$; $X_9 = 0,02456$;

$X_2 = 0$; $X_6 = 0$; $X_{10} = 0$;

$X_3 = 0,65504$; $X_7 = 0,01546$; $X_{11} = 0$;

$X_4 = 0,17766$; $X_8 = 0$;

Т. е. шихта для получения сплава АЛ4-1 состоит из 6 компонентов, взятых в количестве, кг:

Алюминий марки А85	15,178
Силумин марки СИЛ00	65,504
Силумин марки СИЛ1	17,766
Титановая губка марки ТГ100	0,091
Лигатура <i>Al - Mg - Mn</i>	1,546
Лигатура <i>Al - Mn</i>	2,456
Итого	102,541

Расчетное содержание сплава, легирующих и примесных элементов в шихте составляет, %:

Al – 92,475; *Mg* – 0,309; *Si* – 10,660; *Mn* – 0,508; *Ti* – 0,152; *Fe* – 0,24891; *Cu* – 0,02696; *Zn* – 0,06965; Σ - 0,6.

Стоимость компонентов шихты для приготовления сплава АЛ4-1 составляет 928,41 руб/т.

Контрольные вопросы

1. Как производится выбор шихтовых материалов для получения сплава?
2. Как производится расчет шихты арифметическим методом?
3. Как производится расчет шихты графическим методом?
4. Как производится расчет шихты с применением ЭВМ?

Таблица 1.27.

Химический состав сплава и шихтовых материалов и исходные данные для составления матрицы.

Элементы	Содержание элементов %									Обо- значе- ние	Цена, руб/т*
	основные					примесные					
	<i>Mg</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>Ti</i>	<i>Al</i>	<i>Fe</i>	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	Σ		
Хим. состав сплава %	0,17-0,30	8,0-10,5	0,2-0,5	0,08-0,15	88,55-91,55	0,30	0,1	0,3	0,6	-	-
Угар элементов %	3	1,5	1,5	1,5	1	-	-	-	-	-	-
Хим. состав сплава с учетом угара %	0,175-0,309	8,122-10,66	0,203-0,508	0,081-0,152	89,444 - 92,475	0,3	0,1	0,3	0,6	-	-
Алюминий марки А85	-	0,06	-	0,01	99,85	0,08	0,01	0,02	0,15	X ₁	985
Алюминий марки А5	-	0,3	-	0,03	99,5	0,3	0,02	0,06	0,5	X ₂	780
Силумин марки СИ-ЛОО	-	13,0	0,05	0,05	89,52	0,2	0,03	0,08	0,48	X ₃	905
Силумин марки СИЛ1	-	12,0	0,05	0,15	86,64	0,5	0,03	0,08	1,36	X ₄	805
Магний марки Мг90	99,9	0,01	0,04	-	0,02	0,04	0,005	-	0,1	X ₅	1130
Титановая губка марки ТГ100	-	0,02	-	99,69	-	0,07	-	-	0,31	X ₆	2640
Лигатура <i>Al-Mg-Mn</i>	19,98	0,072	9,658	0,14	69,864	0,55	0,011	-	0,51	X ₇	1048
Лигатура <i>Al-Mg</i>	9,99	0,091	0,004	0,018	89,822	0,11	0,009	-	0,19	X ₈	1010
Лигатура <i>Al-Mn</i>	-	0,09	9,65	0,018	89,82	0,34	0,012	-	0,53	X ₉	996
Лигатура <i>Al-Ti</i>	-	0,096	-	5,004	94,81	0,12	0,009	-	0,21	X ₁₀	1080
Сплав АК2	0,2	9,5	0,2	-	87,7	0,8	1,0	0,5	2,4	X ₁₁	750
* Цены на 1 января 1991 года.											

Химический состав первичных металлов и лигатур.

* Цены на 1 января 1991 года.

Таблица 1.29.

Матрица для поиска оптимального состава шихты.

m/n	$\Xi_{\text{в}}$	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	$\Xi_{\text{в}}$
1	0,175	0	0	0	0	99,9	0	19,98	9,99	0	0	0,2	0,309
2	8,122	0,06	0,3	13,0	12,0	0,01	0,02	0,072	0,091	0,09	0,096	9,5	10660
3	0,203	0	0	0,05	0,5	0,04	0	9,658	0,004	9,65	0	0,2	0,508
4	0,081	0,01	0,03	0,05	0,15	0	99,69	0,014	0,018	0,018	0,004	0	0,152
5	89,444	99,85	99,5	89,52	86,64	0,02	0	69,894	89,822	89,82	94,81	87,7	92,475
6	-	0,08	0,3	0,2	0,5	0,04	0,07	0,55	0,11	0,34	0,12	0,8	0,3
7	-	0,01	0,02	0,03	0,03	0,005	0	0,011	0,009	0,012	0,009	1,0	1,0
8	-	0,02	0,06	0,08	0,08	0	0	0	0	0	0	0,5	0,3
9	-	0,15	0,5	0,48	1,36	0,1	0,39	0,51	0,19	0,53	0,21	2,4	0,6
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,047
11	-	985	780	905	805	1130	2640	1048	1010	996	1080	750	-

2. ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ЛИТОЙ ДЕТАЛИ.

Качество современного изделия характеризуется большим разнообразием свойств, одним из которых является технологичность. Стандартное определение понятия технологичности конструкций содержит исходный принцип подхода сокращения материальных и трудовых затрат во всех сферах проявления свойств конструкций. Технологичность по ГОСТ14205-83 [1] рассматривается как совокупность свойств конструкций изделия, проявляемых в возможности оптимальных затрат труда, средств, материалов и времени при технической подготовке производства, изготовлении, эксплуатации и ремонте по сравнению с соответствующими показателями однотипных конструкций и изделий того же назначения при обеспечении установочных значений показателей качества в принятых условиях изготовления, эксплуатации и ремонта. Отработка конструкции изделия на технологичность осуществляется при творческом содружестве конструкторов и технологов на всех этапах: разработке конструкции, процессов заготовительного производства, обработки, сборки и контроля.

На стадии заготовительного производства отработка конструкции литых деталей не должна усложнять последующую механическую обработку и сборку изделия. Конструкция детали должна отвечать новым технологическим требованиям с учетом литейных свойств сплава и технологии изготовления технологической оснастки, литейной формы, стержней, очистки, обрубки и последующей обработки.

2.1. Особенности конструирования с учетом литейных свойств сплава

Жидкотекучесть сплава определяет в конструкции детали выбор минимальной толщины стенок необрабатываемых поверхностей. Минимальную толщину детали x , мм определяют на диаграмме (рис.2.1) в зависимости от приведенного габаритного размера N :

$$N = \frac{(2l + b + h)}{3}, \quad (2.1)$$

где l , b , h - длина, ширина, высота отливки, мм

Толщина внутренних стенок и ребер принимают на 10...20% меньше толщины наружных стенок.

У литых деталей толщину стенки необходимо назначать с учетом требуемой расчетной прочности, жидкотекучести сплава и заполняемости формы. Всякое увеличение толщины стенки приводит к замедлению скорости кристаллизации сплава, что сказывается на неоднородности структуры, снижении прочности и возникновении дефектов отливки.

Для выбора или оценки наименьшей толщины стенки отливки при литье в песчаные формы может быть использована табл. 2.1.

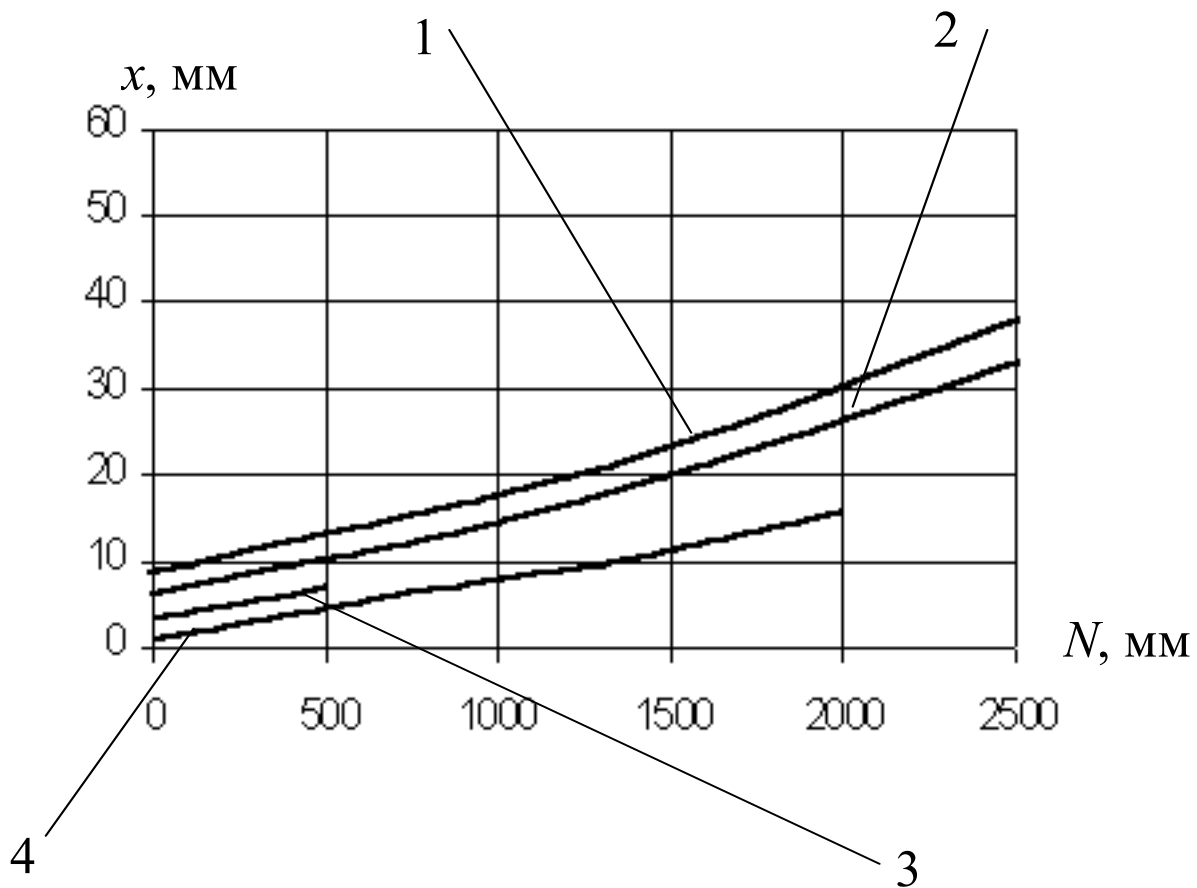


Рис. 2.1. Диаграмма для определения минимальной толщины стенок отливок из различных материалов:

1- стали; 2- серого чугуна; 3 – бронзы; 4 алюминиевых сплавов.

При литье под давлением кристаллизация сплава характеризуется высокими скоростями [3]. Конструкция литой детали в связи с этим должна быть такой, чтобы металл затвердевал по всем сечениям одновременно. Этому требованию удовлетворяет равностенная конструкция с минимально возможной толщиной стенки. Рекомендуемые толщины стенок приведены в табл. 2.2.

При кокильном литье минимальную толщину стенок рекомендуется принимать по табл. 2.3.

Наименьшую возможную толщину стенок отливок при оболочковом литье можно выбрать по табл. 2.4.

Усадка, как второй показатель литейных свойств сплава, вызывает при кристаллизации сплава появление усадочных раковин, трещин. Получение отливок без усадочных дефектов достигается созданием конструкции с равномерной толщиной стенок без большого скопления металла в отдельных местах. Равномерность толщины стенки и скопление металла определяют диаметром вписанной окружности (рис. 2.2, а, б). Желательно, чтобы соотношение диаметров вписанной окружности в близко расположенных сечениях не превышало 1,5. Это достигается уменьшением, с помощью углублений в стенках отлив-

ки (рис. 2.2, в); смещением стенки (рис. 2.2, г); если это невозможно, то следует предусмотреть отверстие (рис. 2.2, д).

Таблица 2.1.

Минимальная толщина стенки отливки при литье в песчаные формы.

Материал	Масса отливки, кг	Максимальная длина стенки, мм	Минимальная толщина стенки, мм
Сталь	До 100	До 200	8...10
	100...1000	200...800	12...14
Чугун серый	До 100	До 200	3...4
	100...1000	200...800	6...8
Чугун ковкий	До 100	До 100	2,5...3,5
	100...300	100...200	4...5,5
Бронза оловянистая	До 10	До 50	3...4
	10...50	50...100	5...6
	Св.50	Св. 100	7...8
Бронзы и латуни специальные	До 0,25	До 50	6...7
	0,25...4,00	50...100	8...10
Сплавы алюминиевые	До 2,00	До 200	3...5
	2,00...10,00	200...500	6...8
Сплавы магниевые	До 2	До 200	3,5...4,5
	2...8	200...400	6...7

Во избежание коробления и появления трещин, конструкция отливки должна обеспечивать достаточную сопротивляемость усадочным и термическим напряжениям. Для этого в конструкции необходимо предусмотреть плавные переходы с толстого на тонкое сечение. Плавный переход по длине L от толстой стенки “ A ” к тонкой “ a ” (рис. 2.3, а) должен соответствовать соотношению $c = 3\sqrt{A-a}$. На рис.2.3, б показана конструкция корпусной детали с горизонтальными плечиками, которые затрудняют процесс усадки, что вызывает большие литейные напряжения. Изменение конструкции (рис. 2.3, в) обеспечивает свободную усадку. Придание плечикам конической формы (рис. 2.3, г) также снизит усадочные напряжения.

Таблица 2.2.

Минимальная толщина стенок отливки при литье под давлением, мм.

материал	площадь внешней поверхности отливок, см ²				
	до 25	25-100	100-250	250-500	св. 500
цинковые сплавы	0,5	0,8	1,0	1,5	2,0
алюминиевые сплавы	0,8	1,2	1,5	2,5	3,0
магниевого сплавы	1,0	1,5	2,0	2,5	-
медные сплавы	2,0	2,5	3,0	3,5	-

Таблица 2.3.

Минимальная толщина стенок отливки при кокильном литье, мм.

материал	площадь поверхности стенки, см ²	минимальная толщина стенки, мм
чугун	до 5	4...5
чугун	25...125	6...7
сталь	25...125	8
алюминиевые сплавы	до 30	3...4
магниевого сплавы	до 30	3
бронза	до 30	4...6

Таблица 2.4.

Наименьшая толщина стенок отливок при литье в оболочковую форму, мм.

сплавы	наибольший габаритный размер отливок, мм				
	До 100	Св. 100 до 200	Св. 200 до 350	Св. 350 до 500	Св. 500 до 1500
чугуны	2,5...3,5	2,5...4,0	3,0...4,5	4,0...5,0	8,0...10,0
стали	2,5...4,0	3,0...3,5	3,5...6,0	5,0...7,0	8,0...12,0
алюминиевые	2,5...4,0	3,0...5,0	4,0...6,0	4,0...7,0	7,0...10,0
магниевого	2,5...4,0	3,0...4,0	3,5...5,0	4,0...6,0	7,0...10,0
цинковые	2,0...4,0	2,5...3,5	3,0...4,0	3,5...5,0	7,0...10,0
медные	2,5...4,0	3,0...4,0	3,5...5,0	4,0...6,0	5,0...7,0
бронзы оловянные	1,5...2,0	2,0...3,0	2,5...3,5	3,0...4,0	4,0...6,0

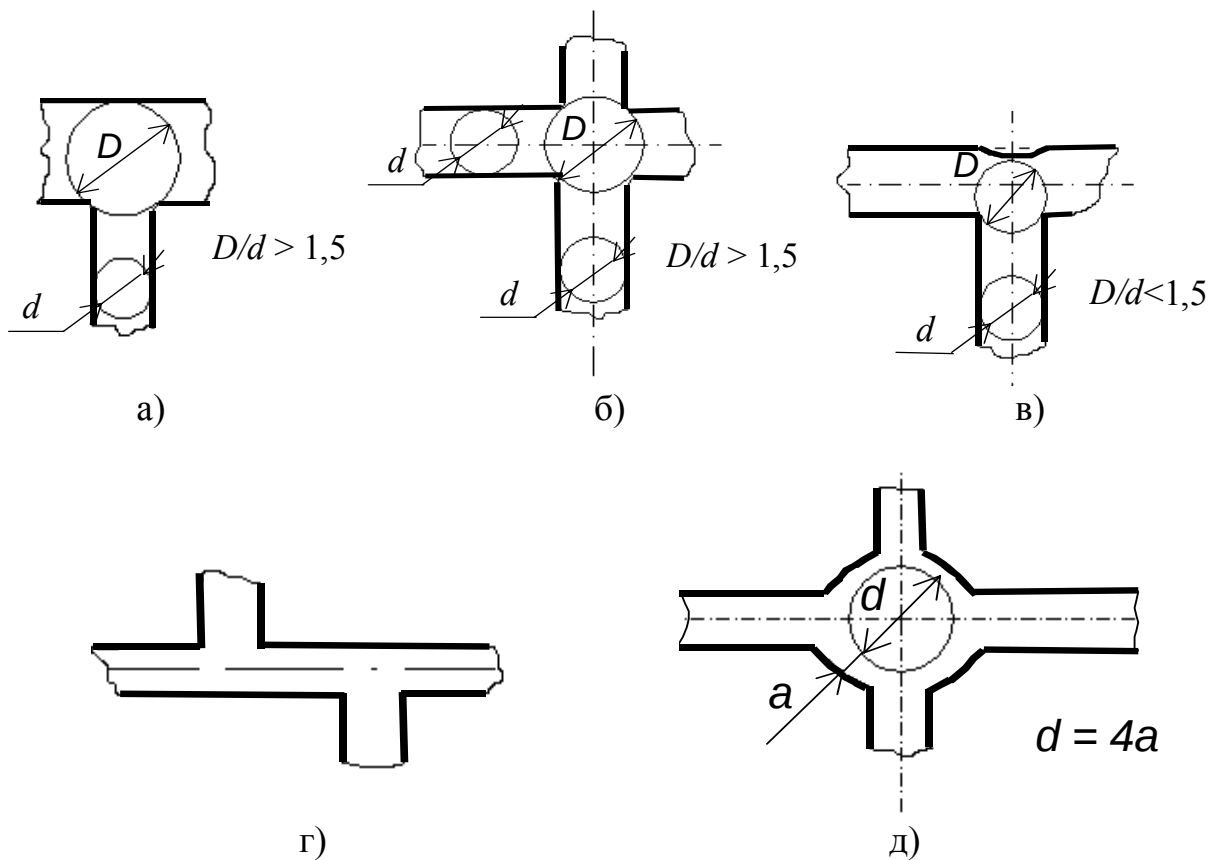


Рис. 2.2. Устранение местного скопления металла в стенках отливки.

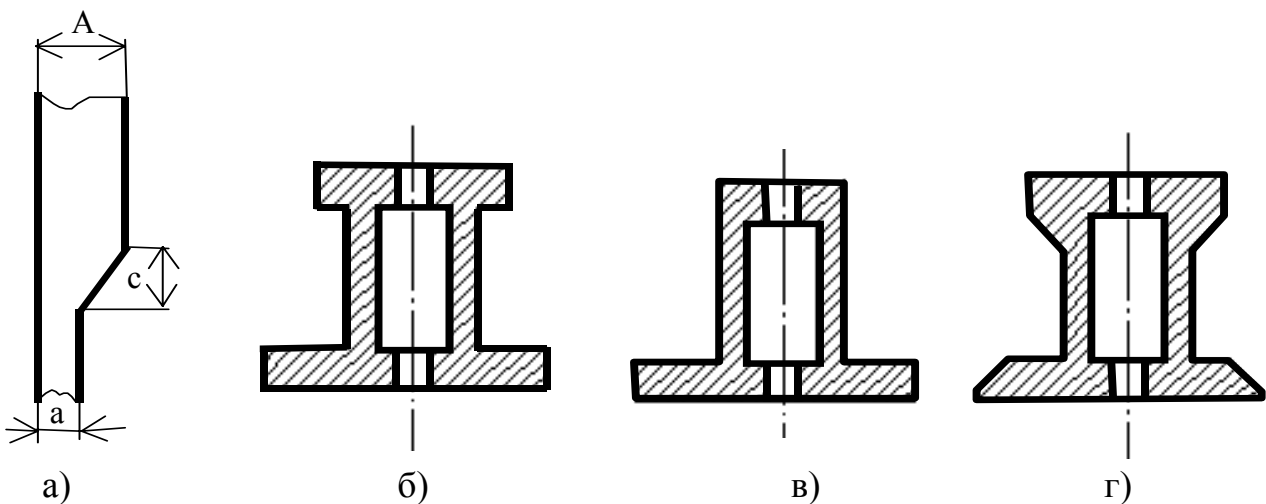


Рис 2.3. Конструкции литых деталей, снижающие внутренние напряжения.

При конструировании литых деталей с повышенными требованиями прочности и герметичности отливок, работающих под давлением, необходимо обеспечить направленное затвердевание отливки в литейных формах. При направленном затвердевании (рис. 2.4) верхние слои металла питают нижние слои, а самые верхние сечения питаются от прибылей 1.

Для увеличения жесткости конструкции и исключения коробления отдельные элементы детали выполняют с ребрами жесткости (рис. 2.5, а). Толщина

ребра должна быть не более 80% наименьшей толщины, к которой оно примыкает. Кроме того, кромки стенок большей протяженности усиливают буртиком (рис. 2.5, б) толщиной $b=(0,5\dots0,8)a$ и шириной $h=2a$.

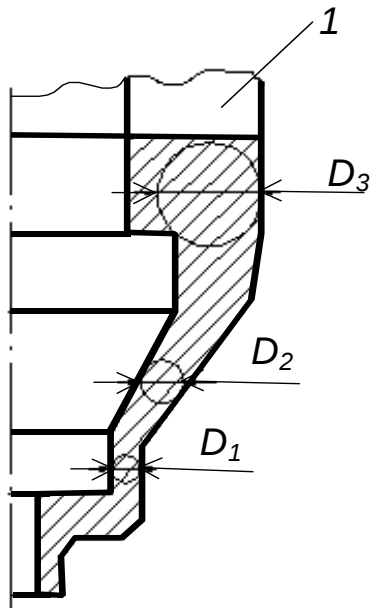


Рис. 2.4. Конструкция литой детали направленного застывания.

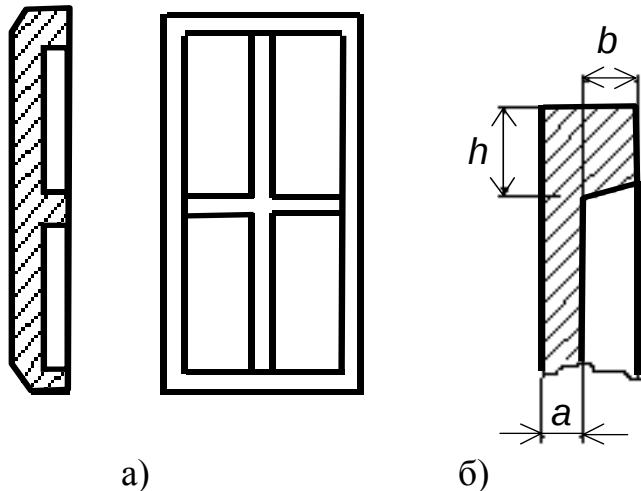


Рис. 2.5. Конструкция литых деталей, снижающая коробление отливок.

При правильно сконструированной детали отношение толщин стенок при переходе от одного сечения к другому должно быть не больше 4:1. При соотношении сопрягаемых толщин $S:S_I \leq 2$ переходы от одного сечения к другому выполняются с помощью радиусов скруглений. Для отливок из чугуна, магниевых и алюминиевых сплавов $R=0,4(S-S_I)$. Такие же радиусы применяют и для деталей, не испытывающих при эксплуатации ударных нагрузок, но имеющих соотношение $S:S_I > 2$.

Если на деталь действуют ударные нагрузки, то при $S:S_I > 2$ переходы выполняют в виде клиновидного сопряжения (рис. 2.6).

Длину участка перехода от одной толщины к другой принимают для отливок из чугуна, магниевых и алюминиевых сплавов

$$L \geq 4 (SL_I/S + L_I) \quad (2.2)$$

для стальных отливок

$$L \geq 5 (SL_I/S + L_I) \quad (2.3)$$

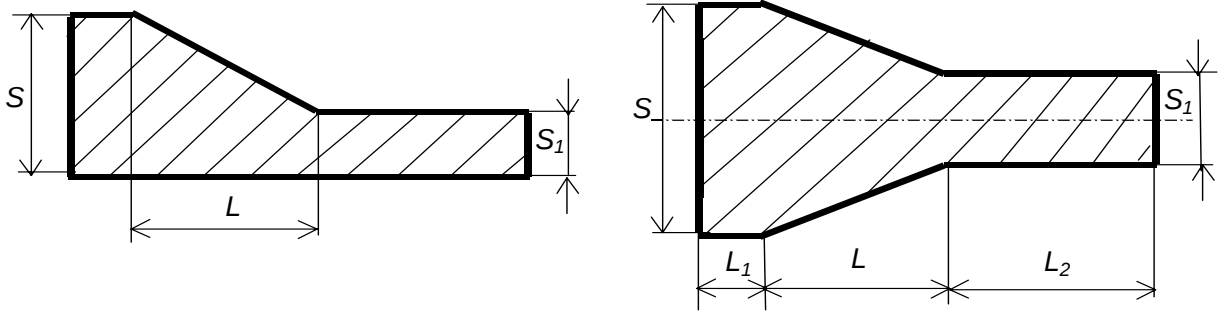


Рис. 2.6. Схемы выполнения односторонних (а) и двусторонних (б) клинов-
вых сопряжений.

Переход от толстого сечения к тонкому при $S/S_1 \geq 4$ (рис. 2.6, б) осуществ-
ляют с помощью участка, длину которого принимают равной: для отливок из
чугуна и цветных сплавов

$$L_1 \geq 3 \left(\frac{SL_1}{S + L_1} - \frac{S_1L_2}{S_1 + L_2} \right); \quad (2.4)$$

для стальных отливок

$$L_1 \geq 4 \left(\frac{SL_1}{S + L_1} - \frac{S_1L_2}{S_1 + L_2} \right) \quad (2.5)$$

При угловом сопряжении стенок разной толщины с соотношением $S/S_1 \leq 2$
для получения плавного перехода делается закругление с внешним радиусом R ,
равным толщине большей стенки, и внутренним радиусом r в пределах $1/6$
до $1/3$ среднего арифметического значения толщин сопрягаемых стенок
(рис. 2.7, а).

Оформление сопряжений стенок, расположенных под острым углом, пока-
зано на рисунке 2.7, б) и 2.7, в), где конструкция б) является не технологичной,
а конструкция в) - технологичной.

При соотношении толщин стенок $S/S_1 > 2$ переход необходимо оформить,
как показано на рис. 2.8.

$$C = \sqrt{S - S_1}; S_1 + C < S. \quad (2.6)$$

Для чугуна и цветного литья $h=4C$; для стального литья $h=5C$.

Три стенки сопрягаются по вариантам а, б, в, как показано на рис. 2.9.

$$\text{Здесь: при } \frac{S}{S_1} \leq 1,25, c=0; \text{ при } \frac{S}{S_1} = 1,25 \dots 2,0, c=S - S_1; \quad (2.7)$$

$$\text{при } \frac{S}{S_1} > 2, c = \sqrt{S - S_1}; \quad (2.8)$$

Радиус закругления принимается равным $r = \left(\frac{1}{c} - \frac{1}{3} \right) \frac{S + S_1}{2}$, для варианта

(рис. 2.9, в) $S = S_1 + c$; $R=2+S_1 + c$. Радиусы закругления нагруженных углов от-
ливок ≤ 3 мм.

При более сложных сопряжениях у заданной детали, оценивая их технологичность, используются специальные рекомендации [2] по конструированию литых деталей.

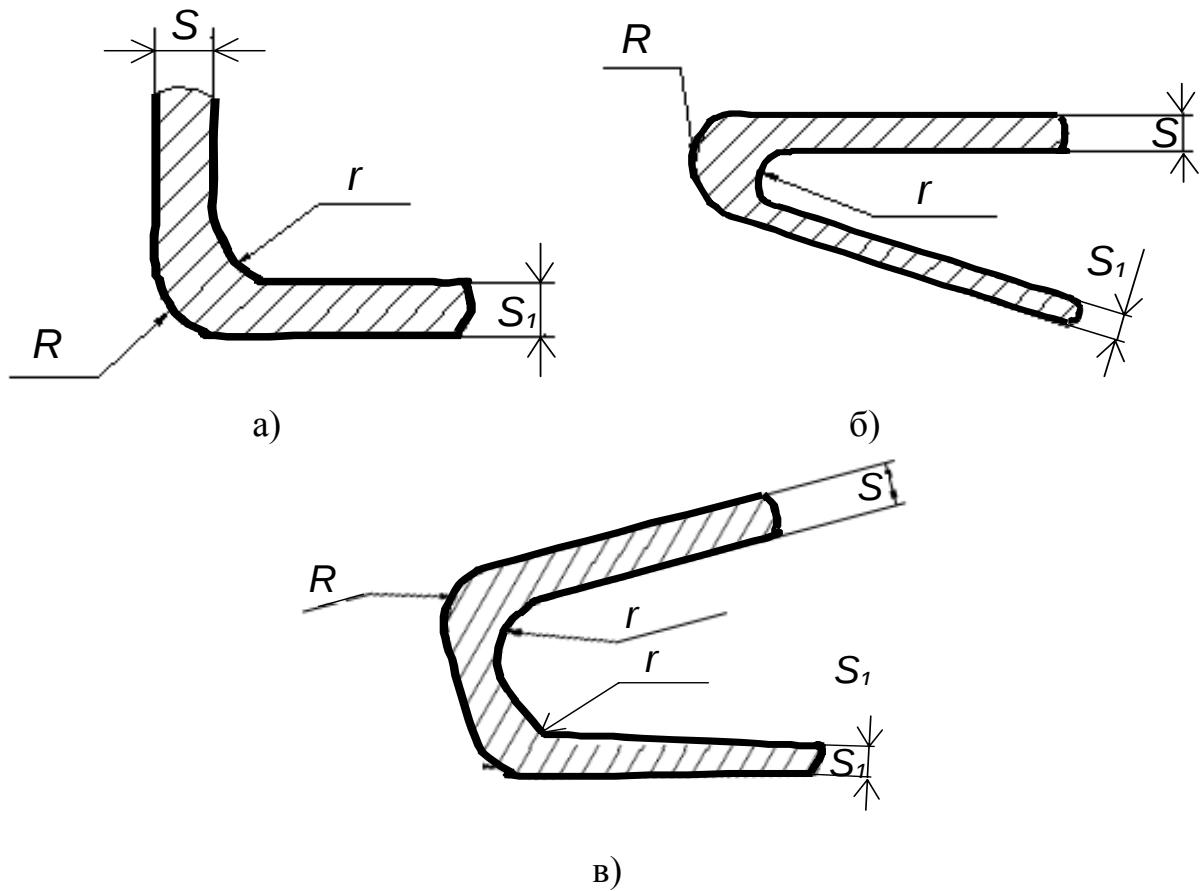


Рис. 2.7. Конструкции с оформлением угловых сопряжений стенок.

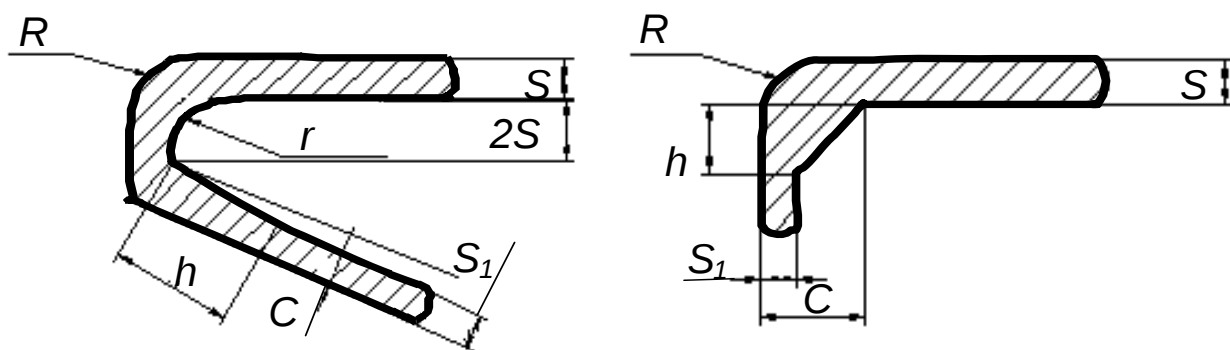


Рис. 2.8. Конструкции с оформлением стенок.

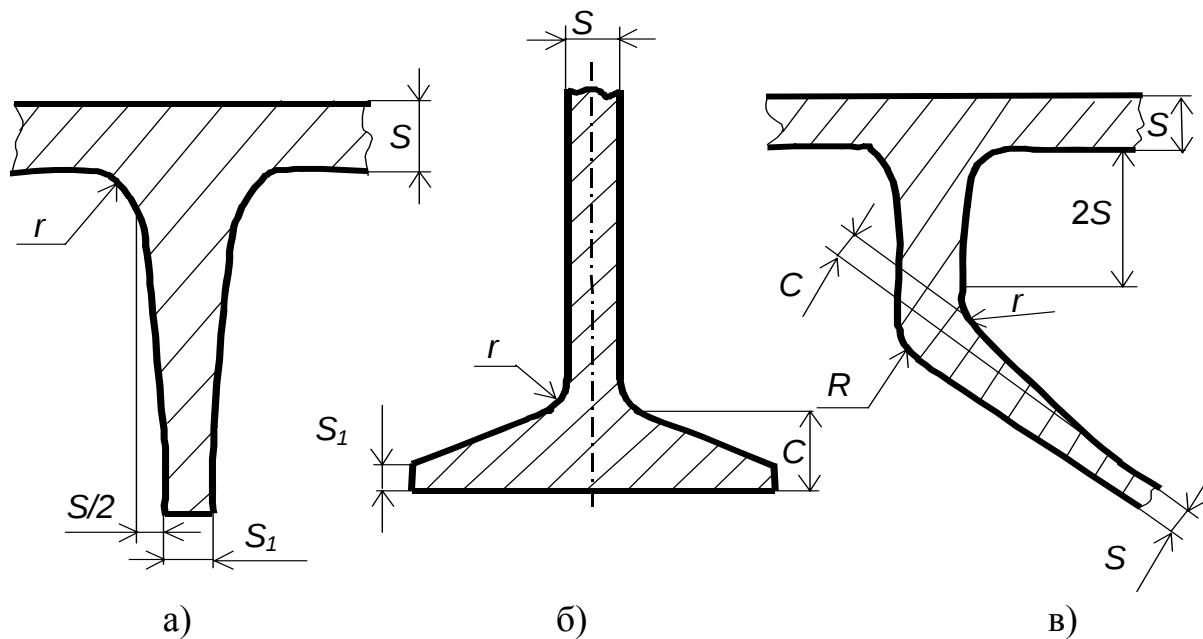


Рис. 2.9. Конструкция сопрягаемых стенок.

Контрольные вопросы

1. Как оценивается технологичность литых деталей?
2. Как учитывается при проектировании отливки жидкотекучесть сплава?
3. Как учитывается при проектировании отливки усадка сплава?
4. Как выбирается толщина стенок отливки?
5. Как выполняются угловые сопряжения стенок отливки?

2.2. Конструирование с учетом технологии изготовления литейной оснастки, формы, стержней и последующей обработки отливки

Внешнее очертание литой детали.

Технологичность конструкции литой детали по данному признаку достигается за счет рационального оформления внешней и внутренней поверхностей отливки. При конструировании внешних контуров отливок необходимо:

– использовать простые геометрические фигуры с преобладанием плоских прямолинейных поверхностей;

– стремиться к уменьшению габаритных размеров и особенно высоты литой детали. Это облегчает изготовление модельного комплекта, а также процессы формовки, сборки форм и очистки отливок;

– стремиться создать один плоский разъем модели, формы и, по возможности, обеспечить расположение отливки в одной полуформе. Например, изготовление отливки, показанной на рис. 2.10, а требует сложный разъем. Разъем формы, модели упростится, если конструкцию литой детали изменить, как показано на рис. 2.10, б. Возможность расположения отливки в одной полуформе определяется по правилу световых теней, согласно которому при воображаемом освещении детали параллельными лучами в направлении, перпендикулярном к плоскости разъема формы или стержневого ящика, тени должны отсут-

вывать (рис. 2.11, а). По результатам проверки видно, что конструкция (рис. 2.11, а) не технологична, а конструкция (рис. 2.11, б) технологична.

Необходимо избегать дополнительных стержней. На рис.2.10, в показана конструкция отливки, при формовке которой требуется 2 стержня. После изменения конструкции детали (рис. 2.10, г) отпала необходимость применения бокового стержня, формовка упростилась.

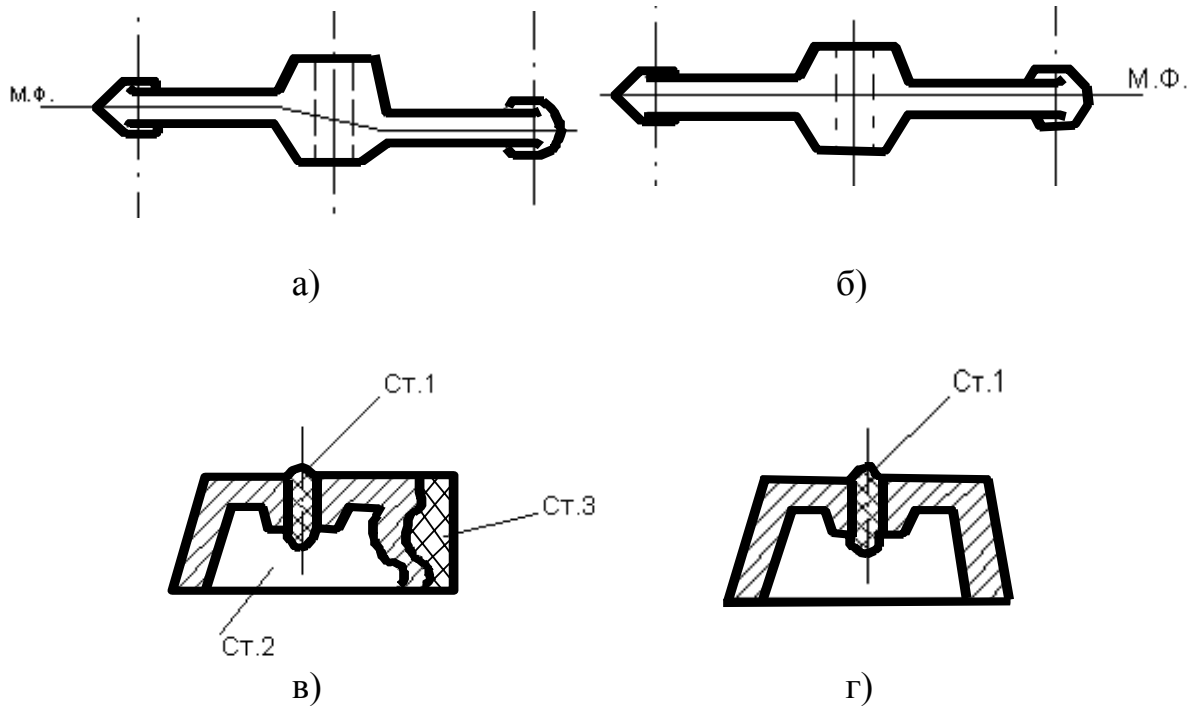


Рис. 2.10. Конструирование внешней поверхности литой детали.

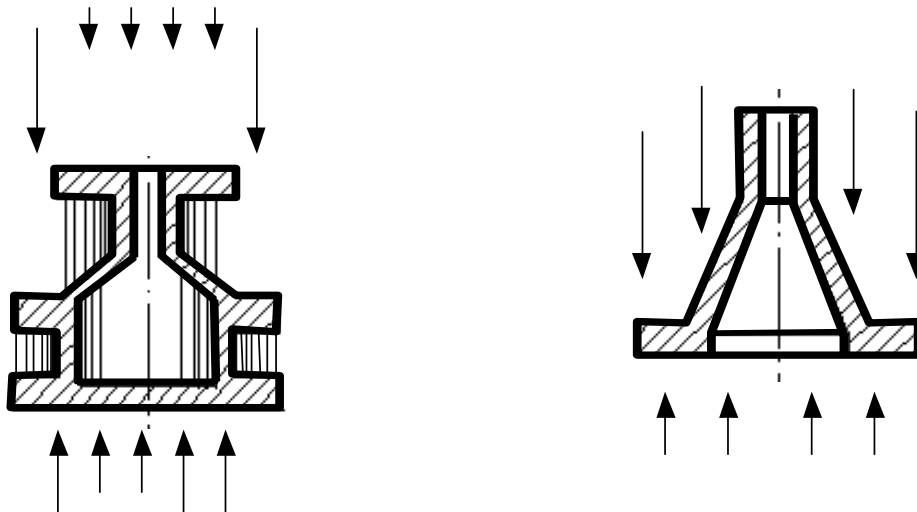


Рис. 2.11. Конструирование по правилу световых теней.

Необрабатываемые поверхности отливок, перпендикулярные к плоскости разъема, должны иметь конструктивные и формовочные уклоны.

Бобышки, приливы, ребра и другие выступающие части необходимо конструировать так, чтобы не затруднять извлечение модели и отливки из формы.

На рис. 2.12, а, в показаны варианты нетехнологичных и на рис. 2.12, б, г варианты технологичных конструкций.

Конструирование внутренних полостей отливок.

Внутренние полости отливок необходимо изготавливать с минимальным числом стержней. На рис. 2.13, а показан пример конструкции литой детали, для изготовления которой требуется применение двух стержней, а на рис. 2.13, б одного (более технологичная конструкция).

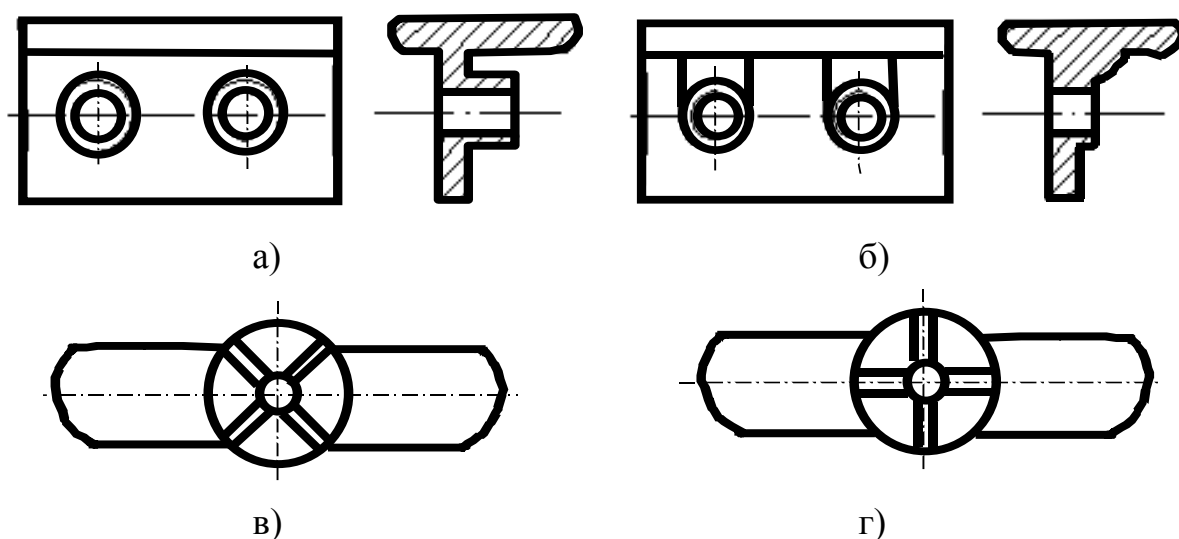


Рис. 2.12. Конструирование бобышек, приливов и других выступающих частей.

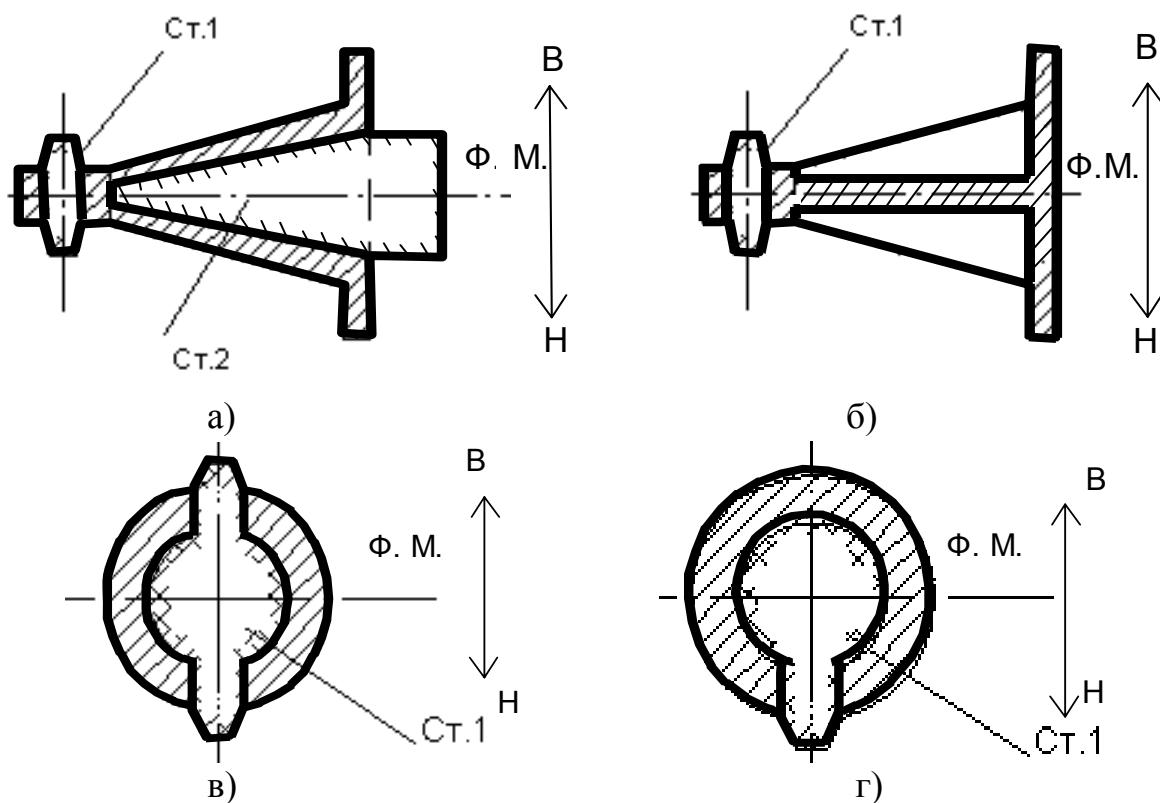


Рис. 2.13. Конструирование внутренних полостей отливок.

В конструкции литой детали должно быть достаточное число окон для прочного крепления стержней в форме, для удаления газов из стержней и удобства выбивки стержней из отливок. При изготовлении отливки (рис. 2.13, г) стержень крепится в форме не устойчиво на одном нижнем знаке, из этого стержня затруднен выход газов, что может привести к образованию газовых раковин в отливках. Кроме того затруднена выбивка его из отливки. Отработанная конструкция (рис. 2.13, в) позволяет крепить стержень устойчиво, обеспечивает беспрепятственное удаление газов из стержня и облегчает выбивку стержня из отливки.

В конструкциях литых деталей следует избегать узких пазов и полостей, что может привести к разрушению стержней потоком расплавленного металла.

Контрольные вопросы

1. По каким правилам проектируются внешние контуры отливки?
2. В чем заключается правило световых теней?
3. Как проектируются внутренние контуры отливок?

2.3. Оценка технологичности конструкции литой детали

По результатам анализа конструкции литой детали в соответствии со всеми вышеперечисленными рекомендациями необходимо дать заключение о технологичности. Если какой либо элемент конструкции не отвечает требованиям технологичности, то необходимо совместно с конструктором изделия откорректировать чертеж детали в соответствии с требованиями ЕСКД. При этом все предложения по изменению конструкции детали должны быть систематизированы и обоснованы.

Технологичность конструкции литой детали оценивается количественно [4, 5, 6] коэффициентом точности, коэффициентом шероховатости поверхности, коэффициентом использования металла.

Коэффициент точности обработки определяется по формуле

$$K_{\text{тч}} = 1 - 1/IT_{\text{ср}}, \quad (2.9)$$

где $IT_{\text{ср}}$ — средний квалитет точности обработки изделия.

Средний квалитет точности обработки изделия определяется по формуле:

$$IT_{\text{ср}} = \Sigma(IT_i^{n_i})/h_{\Sigma}, \quad (2.10)$$

где IT_i — квалитет точности;

n_i — количество размеров имеющих точность соответствующего квалитета;

h_{Σ} — общее количество принятых во внимание размеров детали.

Коэффициент шероховатости поверхности определяется по формуле:

$$K_{\text{ш}} = 1 - 1/Ra_{\text{ср}}, \quad (2.11)$$

где $Ra_{\text{ср}}$ — среднее числовое значение параметра шероховатости поверхности по Ra для всех обрабатываемых поверхностей, мкм.

Среднее числовое значение параметра шероховатости по Ra определяется по формуле:

$$Ra_{cp} = \Sigma(Ra_i m_i) / m_{\Sigma}, \quad (2.12)$$

где Ra_i — числовое значение параметра шероховатости поверхности, мкм;
 m_i — количество поверхностей, имеющих соответствующую шероховатость;
 m_{Σ} — общее количество принятых во внимание поверхностей.

Коэффициент использования металла определяется после выбора заготовки, определения ее массы и нормы расхода материала по формуле:

$$K_{и.м.} = m_g / N_{расх}, \quad (2.13)$$

где m_g — масса детали, кг;

$N_{расх}$ — норма расхода материала на деталь, кг.

Норма расхода материала складывается из массы заготовки и потерь на литниковую систему, облой, угар и др. отходы.

Технологическую характеристику детали целесообразнее привести в табличной форме. Пример оформления и расчета технологической характеристики детали [7] "Планшайба" (рис. 2.14) приведен в таблице 2.5.

Технологическую рациональность тонкостенных отливок оценивают [2] неравенством

$$200 B_{пр} / L \geq 1, \quad (2.14)$$

где $B_{пр}$ — приведенная толщина отливки (отношение ее объема к площади поверхности), мм;

L — наибольший размер отливки, мм.

В заключение, на основании анализа конструкции детали, полученных количественных показателей технологичности, необходимо оценить технологичность конструкции заданной детали с целью выбора рациональной заготовки и применения наиболее простых и производительных способов обработки.

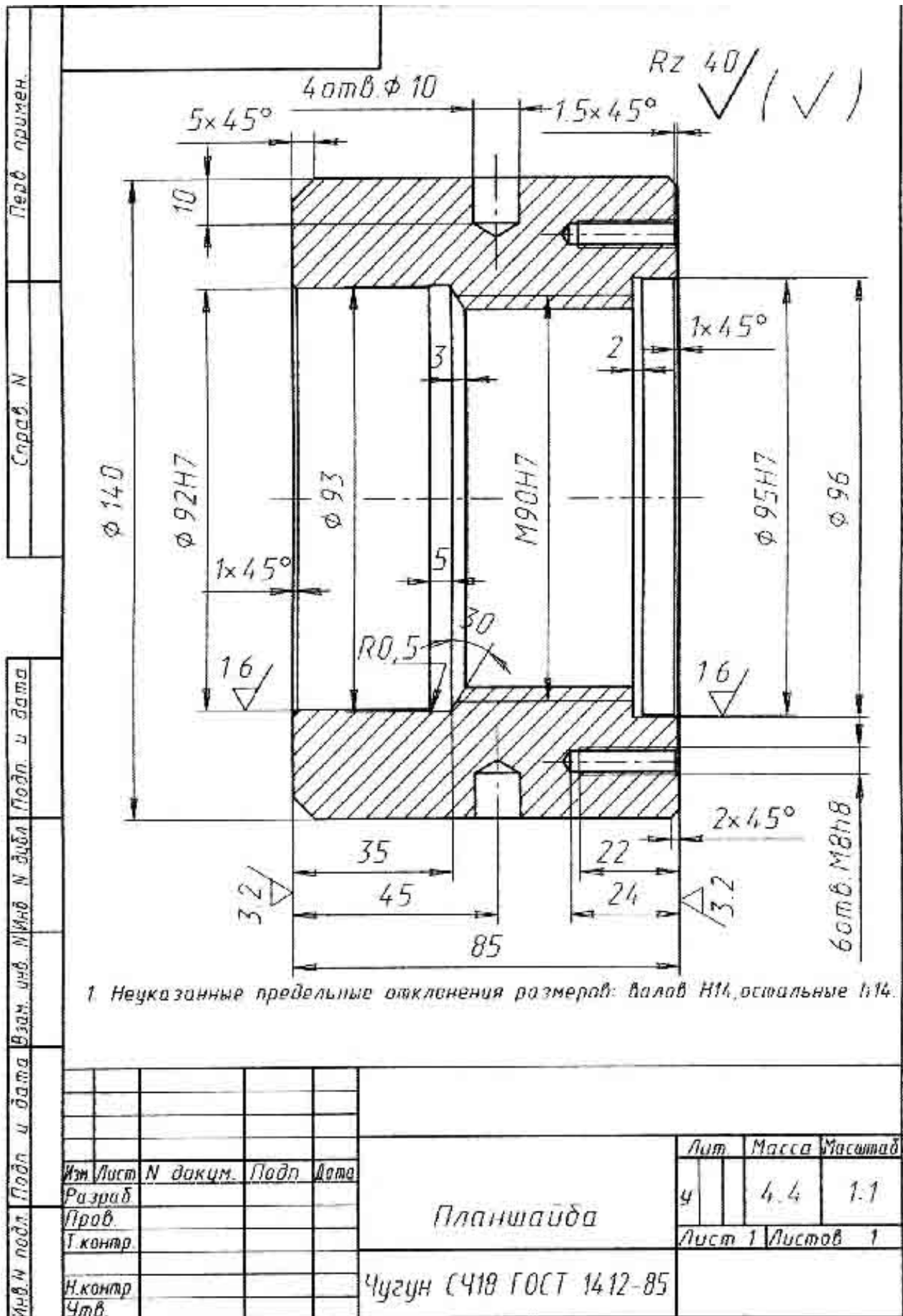


Рис. 2.14. Деталь «Планшайба».

Таблица 2.5.

Технологическая характеристика детали «Планшайба».

Поверх- ность	квалитет точности			шероховатость Ra , мкм		
	$IT7$	$IT8$	$IT14$	1,6	3,2	12,5
Ø140	—	—	14	—	—	12,5
Ø96	7	—	—	—	—	12,5
Ø95	7	—	—	1,6	—	—
Ø93	7	—	—	—	—	12,5
Ø90	—	—	14	—	—	12,5
Ø10	7	—	—	1,6	—	—
Ø10	—	8	—	—	—	12,5
Ø8	—	—	14	—	—	12,5
85	—	—	14	—	3,2	—
45	—	—	14	—	—	12,5
35	—	—	14	—	—	12,5
24	—	—	14	—	—	12,5
22	—	—	14	—	—	12,5
22	—	—	14	—	—	12,5
14	—	—	14	—	—	12,5
5	—	—	14	—	—	12,5
3	—	—	4	—	—	12,5
2	—	—	14	—	—	12,5
5*45°	—	—	14	—	—	12,5
3*30°	—	—	14	—	—	12,5
2*45°	—	—	14	—	—	12,5
1*45°	—	—	14	—	—	12,5
n, m	4	1	17	2	1	19
$IT_i \cdot n_i$	28	8	238	—	—	—
$Ra \cdot m_i$	—	—	—	3,2	3,2	237,5
	$IT_{cp}=12,45$			$Ra_{cp}=11,08$		
	$K_{Tq}=1-1/12,45=0,92$			$K_{ш}=1-1/11,08=0,91$		

Примечание: Значения полученных коэффициентов близко к единице, что свидетельствует о низкой точности большинства поверхностей детали и большой шероховатости.

3. ВЫБОР ВИДА И СПОСОБА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВКИ

Правильно выбрать заготовку – это значит определить рациональный метод ее получения, установить припуски на механическую обработку каждой из обрабатываемых поверхностей, указать размеры заготовки и установить допуски на неточность их изготовления, назначить уклоны и технические условия на выполнение заготовки.

3.1. Классификация литых заготовок

Отливки классифицируют [2] по массе, сложности конфигурации и точности размеров.

В зависимости от массы чугунные и стальные отливки подразделяют на мелкие, средние, крупные (табл. 3.1)

Таблица 3.1.

Характеристика отливок из черных сплавов по массе.

материал отливки	масса, кг	характеристика отливок
сталь углеродистая	до 2	мелкие
сталь углеродистая	2-50	средние
сталь углеродистая	св. 50	крупные
сталь низколегированная	до 3	мелкие
сталь низколегированная	3-70	средние
сталь низколегированная	св. 70	крупные
чугун серый	до 2	мелкие
чугун серый	2-50	средние
чугун серый	св. 50	крупные

Отливки из цветных сплавов по массе классифицируются по девяти группам (табл. 3.2.).

Таблица 3.2.

Классификация отливок из цветных металлов по массе.

группа	бронза, латунь, цинковые сплавы, кг	алюминиевые сплавы, кг
1	до 0,25	до 0,2
2	0,25-1,0	0,2-0,4
3	1-4	0,4-0,8
4	4-10	0,8-1,6
5	10-20	1,6-3,2
6	20-50	3,2-6,3
7	50-200	6,3-12,5
8	200-500	12,5-25
9	св. 500	св. 25

По сложности конфигурации отливки подразделяют на следующие группы:

Первая группа сложности - простые отливки. Отливки преимущественно плоскостные, круглые или полусферические. Наружные поверхности гладкие и прямолинейные с наличием невысоких ребер, бобышек, отверстий, выступов и углублений. Внутренние поверхности гладкие, без выступов и углублений. Типовые отливки: крышки, рукоятки, вилки, рычаги, диски, грузы, маховики без спиц и др.

Вторая группа сложности – несложные отливки. Усложнены по сравнению с первой группой наличием на наружных поверхностях криволинейных ребер, буртиков, кронштейнов, фланцев, с отверстиями и углублениями простой конфигурации со свободным широким выходом наружу. Типовые отливки: подставки, плиты, колпаки, маховики со спицами, барабаны для мельниц, буксы, железнодорожные колеса и др.

Третья группа сложности – отливки средней сложности. Отливки открытой коробчатой, сферической, полусферической, цилиндрической и другой формы. Наружные поверхности криволинейные и прямолинейные с нависающими частями ребер, кронштейнов, бобышек, фланцев с отверстиями и углублениями сравнительно сложной конфигурации. Значительные части поверхности могут выполняться стержнями. Типовые отливки: блоки с литой канавкой, матрицы, звездочки, шестерни и зубчатые колеса с литыми и нарезными зубьями диаметром до 3 м, корпуса, крышки, основания для редукторов, суппорты для металлорежущих станков и др.

Четвертая группа сложности – сложные ответственные отливки. Отливки закрытой и частично открытой коробчатой цилиндрической формы. Наружные и внутренние поверхности имеют сложную конфигурацию. Многие части поверхностей выполняются стержнями. Типовые отливки: столы, корпуса и основания металлорежущих станков, салазки и ползушки, станины прессов и молотов и др.

Пятая группа сложности – особо сложные, особо ответственные отливки. Отличается от четвертой группы отливок сложной конфигурацией с криволинейными поверхностями, пересекающимися под различными углами с выемками, выступами, расположенными в два и более яруса, с затрудненным выходом внутренних полостей. Типовые отливки: передние бабки и усложненные станины металлорежущих станков, станины молотов, сложные корпуса центробежные насосов, компрессоров дизелей и др.

С учетом точности фасонные отливки характеризуются классом размерной точности, степенью коробления, степенью точности поверхностей, классом точности массы.

Нормы точности отливок: классы размерной точности, степень коробления, степень точности поверхностей, классы точности масс, а также ряды припусков на обработку для различных технологических процессов и условий изготовления и обработки отливок даны в приложениях 1-7 ГОСТ 26645-85.

При характеристике точности отливки, нормы точности отливки приводят в следующем порядке: класс размерной точности, степень коробления, степень точности поверхностей, класс точности массы и допуск смещения отливки.

Контрольные вопросы

1. По каким признакам классифицируют литые заготовки?
2. Как классифицируются заготовки по сложности конфигурации?

3.2. Способы получения отливок

Теория и практика литейного производства на современном этапе позволяет получать изделия с высокими служебными свойствами. Свидетельством тому является надежная работа отливок в реактивных двигателях, атомных энергетических установках, других машинах и установках ответственного назначения. Основная тенденция развития заключается в росте качества отливок, повышении точности их размеров, снижении металлоемкости. Все это вместе взятое обеспечивает рост количества выпускаемых отливок.

Литейная технология может быть реализована различными способами: гравитационным литьем в разовые песчано-глинистые формы и специальными способами литья. Благодаря низкой себестоимости, универсальности процесса и быстрой подготовки производства в разовых песчано-глинистых формах производят примерно 80% всего объема выпуска отливок. Однако низкая точность и высокая шероховатость их поверхности, условия труда, технико-экономические показатели не всегда удовлетворяют требованиям современного производства. В связи с этим все более широкое применение находят специальные способы литья.

Специальные способы литья отличаются от традиционного литья в песчано-глинистые формы по одному или нескольким признакам: по конструкции литейной формы, материалу, из которого она выполнена, использованию внешних воздействий при заполнении форм и затвердевании отливок и др.

Одни из них основаны на применении постоянных форм (литье в кокиль, под давлением и др.), другие – разовых, причем форма может представлять собой одно- или многослойную оболочку (литье в оболочковые формы, литье по выплавляемым моделям и т. д.). Заполнение форм и затвердевание отливок в них происходит под действием сил гравитации, центробежных сил, избыточного давления, создаваемого воздухом (газом) или поршнем.

Вместе с тем, не всегда легко можно разграничить способы литья. Например, литье в кокиль отличается от литья в разовые песчаные формы только материалом литейной формы: и те и другие заполняются расплавом под действием сил гравитации.

Однако во многих случаях их трудно разграничить как по конструктивно-технологическому, так и по теплофизическому признаку. В разовых песчаных формах нередко используют металлические холодильники, а в кокилях – песчаные стержни. По мере увеличения поверхности формируемой холодильником,

разовая песчаная форма постепенно трансформируется в кокиль с песчаным стержнем. Поэтому по конструктивно-технологическому признаку, кокилем считают литейную форму, металлические части которой составляют ее основу и участвуют в формировании конфигурации и свойств отливки. С другой стороны, кокиль с целью регулирования скорости затвердевания металла отливки и повышения срока службы формы, покрывают со стороны рабочей полости слоем теплоизоляционной краски или футеровки. По мере увеличения толщины слоя краски (футеровки) влияние кокиля на формирование отливки убывает, и по выполняемой роли он постепенно трансформируется в песчаную форму. Поэтому по теплофизическому признаку футерованную металлическую форму рекомендуют считать кокилем, если выполняется условие: $X_{кр} < X_0$, где $X_{кр}$ - толщина слоя краски (покрытия), X_0 - характерный размер отливки (половина толщины стенки для плоской или радиус для цилиндрической и сферической отливки).

Литье под низким давлением в настоящее время рассматривают как самостоятельный способ, хотя он является разновидностью литья под давлением и сформировался в результате совершенствования варианта литья под давлением, основанного на использовании в период заполнения форм и затвердевания отливок давления сжатого воздуха (газа) от компрессора. В последние годы разработаны новые смешанные варианты этих способов литья. Заполнение форм расплавом осуществляют, например, по режимам литья под низким давлением, затем полость формы отсекают от металлопровода и на затвердевающий расплав воздействуют высоким давлением, создаваемым поршнем.

Можно привести другие примеры, свидетельствующие об определенной условности приведенной классификации специальных способов литья.

Для повышения качества и эффективности литых заготовок большое значение имеет создание и внедрение новых методов воздействия на жидкий и кристаллизующийся металл при формировании отливки. Дальнейшее развитие специальных способов литья базируется на использовании теплосиловых воздействий: давления, электромагнитных полей, вибрации, ультразвука и др.

Все методы внешних воздействий можно условно разделить на три следующие группы:

- введение в расплав давлений и упругих колебаний (низкочастотные и высокочастотные ультразвуковые вибрации);
- механическое перемешивание расплава электромагнитными силами, газоимпульсной обработкой, продувкой инертного газа и специальными мешалками;
- введение концентрированных источников энергии (электрических импульсов или взрыва) в расплав.

Для наглядного представления и сравнения существующих видов и способов литья применяют классификатор способов литья, который облегчает выбор рациональной литой заготовки. Основные виды и способы литья этого классификатора приведены в табл. 3.3.

Кроме основных способов литья, для повышения физико-механических и эксплуатационных свойств металла отливок применяют такие разновидности литья, как электрошлаковое, центробежное и кокильное литье, при осуществлении которых плавление и кристаллизация металла в литейных формах происходит одновременно. Это определяет такие преимущества, как отсутствие контакта рафинированного жидкого металла с атмосферой, материалом плавильного агрегата, а также обеспечивает минимальный объем ванны жидкого металла. В зависимости от массы получаемых заготовок и от их серийности возможно применение той или иной из существующих разновидностей этого литья. При массе заготовок 50 кг и более и серийности от нескольких сотен до нескольких тысяч штук в год, как правило применяют схему [3] одна плавка - одна отливка. При меньшей массе заготовок и большей серийности применяют схемы, предусматривающие использование “многоручьевой” разливки или центробежных машин карусельного типа.

Этими способами изготавливают литые заготовки (взамен поковки) с небольшими (3...5 мм) припусками для самых разнообразных деталей ответственного назначения, применяемых как в основном, так и во вспомогательном (ремонтном, инструментальном) производстве. Материал отливок стали (конструкционные, углеродистые, легированные, инструментальные, штампованные, быстрорежущие, валковые стали, коррозионно-стойкие, жаропрочные) и сплавы: чугун, медные. Применение этих технологических процессов во всех перечисленных случаях приводит к значительному повышению коэффициента использования металла (0,8...0,9), уменьшению объема обработки резанием и потерь металла в стружку. В качестве исходных шихтовых материалов используют дешевые: кузнечную и листовую обрезь, отходы собственного производства, отработавшие детали и т. д.

Внедрение этих разновидностей литья при изготовлении инструмента, оснастки из собственных отходов обеспечивает существенное повышение маневренности инструментального производства и ремонтных служб, исключает зависимость их от поставок металла со стороны, снижает транспортные расходы и пр. В этом случае себестоимость инструмента существенно (в 1,5...2) раза ниже, чем кованных, при эквивалентной или даже более высокой стойкости.

Разновидностью центробежного литья является также центробежное литье с использованием разовых и полупостоянных песчано-глинистых, керамических и графитовых форм. При этом расширяются возможности литья и повышается качество отливок и эффективность процессов литья в разовые и полупостоянные формы (керамические и графитовые формы используются неоднократно). Так, помимо отливок с формой тел вращения этими разновидностями литья можно получать сложные фасонные отливки, такие как: венцы шарошек для установок колонкового бурения, корпусов клапанов, авиационных компрессоров и газовых турбин, фасонных барабанов и крышек энергетических установок высокого давления, турбинных колес, роторов короткозамкнутых двигателей, ювелирных и зуботехнических изделий и других тонкостенных деталей с извилистыми очертаниями, а также с тонким и сложным рельефом.

Для получения отливок со специальными свойствами применяют разные виды литья с использованием суспензионной заливки жидкого металла в формы, с получением композиционных, армированных отливок, с использованием электромагнитных ультразвуковых воздействий на металл отливок. Сущность и особенность вышеперечисленных разновидностей литья рассмотрены в разделе 4 настоящего пособия.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные способы литья?
2. По каким признакам классифицируют способы литья?
3. Чем отличаются специальные способы литья от традиционного литья в песчано-глинистые формы?

3.3. Факторы, влияющие на выбор способа получения отливки

Целесообразность и экономическая эффективность того или иного вида отливки зависят от многих факторов и в первую очередь от серийности производства (табл. 3.4.).

Таблица 3.4.

Определение типа производства.

масса детали, кг	объем выпуска деталей в год (шт.) при типе производства				
	единичное	мелкосе- рийное	среднесе- рийное	крупнесе- рийное	массовое
до 1 кг	до 10	10-2000	1500- 100000	75000- 200000	свыше 200000
1-2,5	до 10	10-1000	1000-50000	50000- 100000	свыше 100000
2,5-5	до 10	10-500	500-35000	35000- 75000	свыше 75000
5-10	до 10	10-300	300-25000	25000- 50000	свыше 50000
10-30	до 10	10-200	200-10000	10000- 25000	свыше 25000
свыше 30	до 5	5-100	100-300	300-1000	свыше 1000

Особенно важно правильно выбрать вид заготовки и назначить наиболее оптимальные условия на ее изготовление в условиях автоматизированного производства деталей машин, когда размеры детали при механической обработке получаются автоматически на предварительно настроенных станках. Здесь недостаточные припуски также вредны, как и излишние, а неравномерная твердость материала или большие уклоны на отливке могут вызвать большие колебания в допусках размеров готовой детали вследствие закона копирования.

Выбор вида технологического процесса получения отливки и способа осуществления определяется следующими факторами:

1) Технологическими свойствами сплава, то есть его литейными свойствами, а также структурными изменениями материала в результате того или иного способа изготовления отливки (величина зерна, плотность, микроструктура сплава и т. п.), влияющие на работоспособность литой детали.

2) Конструктивными формами и размерами детали (чем больше деталь, тем дороже обходится изготовление форм, недостаточные возможности применения специального оборудования и т. п.).

3) Требуемой точностью выполнения литой заготовки и качеством поверхности (шероховатость, остаточные напряжения, износостойкость, твердость поверхностного слоя отливки и т. п.).

4) Величиной программного задания (при больших партиях наиболее выгодны виды и способы литья, которые обеспечивают наибольшее приближение формы и размеров отливки к форме и размерам детали: литье под давлением, литье по выплавляемым моделям и т. п.).

5) Производственными возможностями литейных цехов предприятия (наличием соответствующего оборудования).

6) Временем, затрачиваемым на подготовку производства (изготовление моделей, пресс-форм и т. п.).

7) Возможностью быстрой переналадки оборудования и оснастки, особенно при работе на переменнo-поточных линиях, характерных для автоматизированного производства.

При выборе литой заготовки эти факторы учитываются в порядке рассмотренной последовательности. Сначала устанавливают, какой вид литья наиболее подходит для изготовления детали: литье в песчаные разовые формы, литье в постоянные металлические формы, литье в полупостоянные формы. Затем выбирают способ его осуществления с применением ручной, машинной формовки, оболочковых форм, выплавляемых моделей и другие способы изготовления разовых песчаных форм; в кокилях, под давлением, с использованием центробежных, электромагнитных, ультразвуковых и других воздействий; литье в углеродистые, керамические формы; способы получения отливок со специальными свойствами: суспензионное литье, армированные, композиционные отливки и другие способы.

В первую очередь выбирают такой способ изготовления литой заготовки, который полностью обеспечивает точность и качество детали, а также условия работы, например, структура, плотность металла, антифрикционность, износостойкость и пр. При наличии нескольких способов выбор делают, исходя из условий обеспечения максимальной производительности труда и минимальной себестоимости отливки. В некоторых случаях необходимо учитывать трудоемкость изготовления отливки на всех операциях технологического процесса, например, изготовление моделей, формовка, получение стержней, заливка, очистка, термообработка и эффективность капитальных затрат.

Контрольные вопросы

1. Какие факторы влияют на выбор способа получения отливки?
2. Как выбирается способ получения отливки?

3.4. Техничo-экономическое обоснование выбора рационального способа литья

Решение о выборе технологического процесса получения литой заготовки выносят на основе сравнительной оценки технологической себестоимости технически равноценных вариантов. Процесс с минимальной технологической себестоимостью считается наиболее экономичным и принимается как наиболее выгодный. Под технической себестоимостью понимается сумма затрат, изменяющихся при различных технологических вариантах. В общем виде техноло-

гическая себестоимость C сопоставляемых вариантов может быть определена по следующей формуле:

$$C = M_o + 3_{п} + И + P_o + P_{п}, \quad (3.1)$$

где M_o — стоимость заготовки, руб.;

$$M_o = M_3 \cdot D_3 + M_c \cdot D_c; \quad (3.2)$$

M_3 — стоимость единицы массы, кг. заготовки, руб.;

M_c — стоимость единицы массы, кг. стружки, руб.;

D_3 — масса заготовки, кг;

D_c — масса стружки, кг;

$3_{п}$ — заработная плата станочников, занятых на обработке заготовки, руб.;

$И$ — расходы на эксплуатацию режущего инструмента, руб.;

P_o — затраты на эксплуатацию и обслуживание оборудования, руб.;

$P_{п}$ — расходы на эксплуатацию приспособлений, руб.

Опыт показывает, что сравнение вариантов только по двум частным показателям (по стоимости заготовки — M_o , руб., заработной плате — $3_{п}$, руб. станочников) обеспечивает достаточную степень точности.

Ниже приводится пример рационального выбора и экономического обоснования способа литья для изготовления детали «Планшайба» (рис. 2.5).

Материал детали серый чугун, масса детали 4,4 кг, программа 1000 штук деталей в год.

На основании классификатора способов литья (табл. 3.3) для изготовления отливки детали «Планшайба» можно воспользоваться следующими вариантами:

1. Литьем в сырые песчаные формы с применением машинной формовки;
2. Литьем в оболочковые формы;
3. Центробежным литьем.

В связи с различием технических возможностей каждого из предлагаемых вариантов величина припуска на механическую обработку, а, следовательно, и массы отливки будут различными.

Согласно ГОСТ 26645-85 припуски на обработку (на сторону) назначают дифференциально на каждую обрабатываемую поверхность отливки.

По ГОСТ 26645-85 минимальный литейный припуск на обработку поверхности отливки назначают в соответствии с табл. 3.5 для устранения неровностей и дефектов литой поверхности и уменьшения шероховатости поверхности при отсутствии необходимости в повышении точности размеров, формы и расположения обрабатываемой поверхности.

Ряды припусков на обработку отливок устанавливают по табл. 3.6 в зависимости от степени точности поверхности.

Значения степени точности поверхности приведены в табл. 3.7.

Из данных табл. 3.5 – 3.7 для вариантов изготовления отливки детали «Планшайба» находим показатели степени точности поверхностей, ряд припус-

ков, минимального литейного припуска на обработку поверхности и сводим их в табл. 3.8.

Таблица 3.5.

Минимальный литейный припуск на сторону, мм.

Ряд припуска отливки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Мин. припуск на сторону, мм, не более	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10

Таблица 3.6.

Ряды припусков на обработку отливок.

Степень точности поверхности	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12	13-14	15	16	17	18	19	20	21	22
Ряды припусков	1-2	1-3	1-4	2-5	3-6	4-7	5-8	6-9	7-10	8-11	9-12	10-13	11-17	12-15	13-16

Примечания:

1) Меньшие значения рядов припусков из диапазонов их значений следует принимать для термообрабатываемых отливок из цветных легкоплавких сплавов, большие значения — для отливок из ковкого чугуна, средние — для отливок из серого и высокопрочного чугуна, термообрабатываемых отливок из стальных и цветных сплавов.

2) Для верхних при заливке поверхностей отливок единичного и мелкосерийного производства, изготавливаемых в разовых формах допускается принимать увеличенные на 1-3 единицы значения ряда припуска.

Таблица 3.7.

Степени точности поверхностей отливок.

Технологический процесс литья	Наибольший габаритный размер отливки, мм	Тип сплава			
		Цветные легкие нетермообрабатываемые сплавы	Нетермообрабатываемые черные и цветные, тугоплавкие и термообрабатываемые цветные легкие	Термообрабатываемые чугуны и цветные тугоплавкие сплавы	Термообрабатываемые стальные сплавы
		Степень точности поверхностей			
1	2	3	4	5	6

Продолжение табл. 3.7

1	2	3	4	5	6
Литье под низким давлением и в кокиль без песчаных стержней, центробежное литье в металлические формы	до 100	4-9	5-10	7-11	7-12
	св. 100-250	5-10	6-11	7-12	8-13
	250-630	6-11	7-12	8-13	9-14
Литье в оболочковые формы из терморезистивных смесей, литье в облицованный кокиль, в вакуумноплёночные песчаные формы	до 100	6-12	7-13	8-14	9-15
	св. 100-250	7-13	8-14	9-15	10-16
	250-630	4-14	9-15	10-16	11-17
Литье в песчаноглинистые сырые формы, изготовленные машинной формовкой встряхиванием или прессованием	до 100	9-16	10-7	11-18	12-19
	св. 100-250	10-17	10-17	11-18	12-19
	250-630	11-18	12-19	13-19	14-20
	630-1600	12-19	13-19	14-20	15-20
Примечание: Меньшие из значений степеней точности относятся к простым отливкам и условиям массового автоматизированного производства, большие — к сложным отливкам единичного и мелкосерийного производства, средние — к отливкам средней сложности и условиям механизированного серийного производства.					

Таблица 3.8.

Показатели степени точности поверхностей, ряда припуска, минимального припуска для изготовления детали «Планшайба».

Вариант литья	Степень точности поверхностей	Ряд припуска	Минимальный припуск, мм
1. Литье в песчаные формы	13	8	1,0
2. Литье в оболочковые формы	12	7	0,8
3. Центробежное литье в облицованные металлические формы	12	7	0,8

В связи с тем, что на отдельные размеры и расположения поверхностей детали «Планшайба» установлены определенные требования точности, то для устранения погрешностей размеров, формы и расположения, в целях повышения точности обрабатываемых элементов отливки необходимо установить общий припуск. Общие припуски назначают по полным значениям общих допусков за исключением п.п. 4.2.1 и 4.2.2 ГОСТ 26645-85. Согласно пункта 4.2.1, общие припуски на поверхности вращения и противоположные поверхности, используемые в качестве взаимных баз при их обработке, назначают по половинным значениям общих допусков отливки на соответствующие диаметры или расстояния между противоположными поверхностями отливки. Пункт 4.2.2 устанавливает такую же, как в п. 4.2.1 норму использования общего допуска для назначения общего припуска на обработку, но в условиях индивидуальной обработки отливок с установкой их и с выверкой обрабатываемой поверхности относительно номинальной поверхности. Общий допуск при назначении общего припуска определяемый на размеры от обрабатываемой поверхности до базы обработки, при этом допуски размеров отливки, изменяемых обработкой определяют по номинальным размерам детали. Допуски размеров отливок (табл. 3.9) определяют в зависимости от класса размерной точности отливки и номинальных размеров детали. Табл. 3.10 устанавливает допуск формы и расположения элементов отливки, в мм, в зависимости от степени коробления элементов отливки и номинальных размеров нормируемого участка отливки в мм.

Допуски формы и расположения поверхностей, приведенные в табл. 3.7, не учитывают формовочные уклоны назначаемые в соответствии с ГОСТ 3212-8 и допуски: круглости, соосности. Общие допуски элементов отливок, учитывающие совместное влияние допуска размера от поверхности до базы и допусков формы и расположения поверхности приведены в табл. 3.11.

Таблица 3.9.

Допуски линейных размеров отливки.

Интервал номинальных размеров	Допуски размеров отливки, мм не более для класса точности													
	5	6	7T	7	8	9T	9	10	11T	11	12	13T	13	14
От 4 до 6	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	—	—	—	—
6-10	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,9	1,1	1,4	1,8	2,2	2,8	—	—	—
10-16	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	—
16-25	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90	1,1	1,4	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7
25-40	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8
40-63	0,44	0,56	0,70	0,90	1,1	1,4	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9
63-100	0,50	0,64	0,80	1,00	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10
100-160	0,56	0,70	0,90	1,10	1,4	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11
160-250	0,64	0,80	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12
250-400	0,7	0,9	1,1	1,4	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	14
400-630	0,8	1,00	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16

Таблица 3.10.

Допуски формы и расположения элементов отливки.

Номинальный размер нормируемого участка	Допуск формы и расположения элементов отливки, мм не более, для степеней коробления элементов отливки										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
До 125	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20
125-160	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,60
160-200	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00
200-250	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00	2,40
250-315	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00	2,40	3,20
315-400	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00	2,40	3,20	4,00
400-500	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00	2,40	3,20	4,00	5,00
500-630	0,64	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00	2,40	3,20	4,00	5,00	6,40
630-800	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00	2,40	3,20	4,00	5,00	6,40	8,00
800-1000	1,00	1,20	1,60	2,00	2,40	3,20	4,00	5,00	6,40	8,00	10,0
Примечание: За номинальный размер нормируемого участка при определении допусков формы и расположения следует принимать наибольший из размеров нормируемого участка элемента отливки, для которого регламентируются отклонения формы и расположения поверхности.											

Таблица 3.11.

Общие допуски элементов отливок, мм.

Допуск размера от поверхности до базы	Допуск формы и расположения поверхности	Общий допуск элемента отливки, не более	Допуск размера от поверхности до базы	Допуск формы и расположения поверхности	Общий допуск элемента отливки
1	2	3	4	5	6
От 0,20 до 0,24	До 0,06	0,24	От 0,50 до 0,64	До 0,12	0,64
	0,06-0,12	0,28		0,12-0,24	0,70
	0,12-0,16	0,32		0,24-0,40	0,80
	0,16-0,20	0,36		0,40-0,50	0,90
	0,20-0,24	0,40		0,50-0,64	1,00
	0,24-0,32	0,50		0,64-0,80	1,20
	0,32-0,40	0,56		0,80-1,00	1,40
	0,40-0,48	0,64		1,00-1,20	1,60
От 0,24 до 0,32	До 0,06	0,32	От 0,64 до 0,80	До 0,20	0,80
	0,06-0,12	0,36		0,20-0,40	0,90
	0,12-0,20	0,40		0,40-0,50	1,00
	0,20-0,24	0,44		0,50-0,64	1,10
	0,24-0,32	0,50		0,64-0,80	1,20
	0,32-0,40	0,56		0,80-1,00	1,40
	0,40-0,50	0,70		1,00-1,20	1,80
	0,50-0,64	0,90		1,20-1,60	2,20

1	2	3	4	5	6
От 0,32 до 0,40	До 0,08	0,40	От 0,80 до 1,00	До 0,24	1,00
	0,08-0,16	0,44		0,24-0,40	1,10
	0,16-0,24	0,50		0,40-0,64	1,20
	0,24-0,32	0,56		0,64-0,80	1,40
	0,32-0,40	0,64		0,80-1,00	1,60
	0,40-0,50	0,70		1,00-1,20	1,80
	0,50-0,64	0,90		1,20-1,60	2,20
	0,64-0,80	1,10		1,60-2,00	2,80
От 0,40 до 0,50	До 0,12	0,50	От 1,00 до 1,20	До 0,32	1,20
	0,12-0,24	0,56		0,32-0,64	1,40
	0,24-0,32	0,64		0,64-0,80	1,60
	0,32-0,40	0,70		0,80-1,00	1,80
	0,40-0,50	0,80		1,00-1,20	2,00
	0,50-0,64	0,90		1,20-1,60	2,0
	0,64-0,80	1,10		1,60-2,00	2,80
	0,8,-1,00	1,40		2,00-2,40	3,20
От 1,2 до 1,60	До 0,40	1,60	От 3,20 до 4,00	До 1,00	4,00
	0,40-0,80	1,80		1,00-1,60	4,40
	0,80-1,00	2,00		1,60-2,40	5,00
	1,00-1,20	2,20		2,40-3,20	5,60
	1,20-1,60	2,40		3,20-4,00	6,40
	1,60-2,00	2,80		4,00-5,00	7,00
	2,0-2,40	3,60		5,0-6,40	9,00
	2,40-3,20	4,40		6,40-8,00	11,00
От 1,60 до 2,00	До 0,40	2,00	От 4,00 до 5,00	До 1,20	5,0
	0,40-0,80	2,20		1,20-2,40	5,60
	0,80-1,20	2,40		2,40-3,20	6,40
	1,20-1,60	2,80		3,20-4,00	7,00
	1,60-2,00	3,20		4,00-5,00	8,00
	2,0-2,40	3,60		5,0-6,40	9,00
	2,40-3,20	4,40		6,40-8,00	11,00
	3,20-4,00	5,60		0,80-10,00	14,00
От 2,00 до 2,40	До 0,64	2,40	От 5,00 до 6,40	До 1,20	6,40
	0,64-1,20	2,80		1,20-2,40	7,00
	1,20-1,60	3,20		2,40-4,00	8,00
	1,60-2,00	3,60		4,00-5,00	9,00
	2,0-2,40	4,00		5,00-6,40	10,00
	2,40-3,20	4,40		6,40-8,00	12,00
	3,20-4,00	5,60		0,80-10,00	14,00
	4,00-4,80	6,40		10,00-12,00	16,00
От 2,40 до 3,20	До 0,80	3,20	От 6,40 до 8,00	До 2,00	8,00
	0,80-1,60	3,60		2,00-4,00	9,00
	1,60-2,00	4,00		4,00-5,00	10,00
	2,0-2,40	4,40		5,00-6,40	11,00
	2,40-3,20	5,00		6,40-8,00	12,00
	3,20-4,00	5,60		0,80-10,00	14,00
	4,00-5,00	7,00		10,00-12,00	18,00
	5,00-6,40	9,00		12,00-16,00	22,00

Допуски неровностей поверхностей отливок должны соответствовать указанным в табл. 3.12.

Таблица 3.12.

Допуски неровностей поверхности отливки.

Допуск неровностей поверхностей отливки, мм, не более для степеней точности поверхности отливки																					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
0,05	0,06	0,08	0,1	0,12	0,16	0,2	0,24	0,32	0,4	0,5	0,64	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4

Для обрабатываемых поверхностей отливок установлено симметричное расположение полей допусков, для необрабатываемых поверхностей допускается симметричное и несимметричное (частично или полностью) расположение полей допусков размеров, формы и расположения.

Установлено симметричное расположение полей допусков неровностей поверхностей отливок. Классы размерной точности, степень коробления элементов, отливки, для трех предполагаемых вариантов изготовления детали «Планшайба» согласно данных классификатора способов литья, табл. 3.3 и степени коробления элементов отливки, табл. 3.13 заносим в табл. 3.14.

Таблица 3.13.

Степень коробления элементов отливок.

Отношение наименьшего размера элемента отливки к наибольшему (толщины ил высоты к длине элемента отливки)	Степень коробления элемента отливки			
	Многократные формы		Разовые формы	
	Нетермообрабатываемые отливки	Термообрабатываемые отливки после правки	Нетермообрабатываемые отливки	Термообрабатываемые отливки
Свыше 0,2	1-4	2-5	3-6	4-7
0,100-0,200	2-5	3-6	4-7	5-8
0,050-0,100	3-6	4-7	5-8	6-9
0,025-0,050	4-7	5-8	6-9	7-10
До 0,025	5-8	6-9	7-10	8-11
Примечания: 1. Меньшие значения из диапазонов степеней коробления относятся к простым отливкам из легких цветных сплавов; большие значения - к сложным отливкам из черных сплавов; 2. Степень коробления отливки, указываемую на чертеже, следует принимать по ее элементу с наибольшей степенью коробления.				

Из таблицы 2.4.6 ГОСТ 26645-85 по значениям табл. 3.11 находим общий допуск, общий припуск элемента поверхности отливки «Планшайба» и полученные данные сводим в табл. 3.15.

Таблица 3.14.

Нормы точности отливок, изготовленных по трем вариантам.

№	Вариант литья	Класс размерной точности отливки	Степень коробления элементов отливки
1	Литье в песчано-глинистые формы, изготовленные машинной формовкой	11	6
2	Литье в оболочковые формы	10	6
3	Центробежное литье в облицованные металлические формы	10	6

Таблица 3.15.

Общий допуск и общий припуск на элементы отливок «Планшайба», изготовленных тремя вариантами литья.

Вариант литья	Интервал размеров отливки	Класс размерной точности	Ряд припусков	Общий допуск, мм	Общий припуск при обработке на сторону, мм			
					Черновая	Получистовая	Чистая	Тонкая
1	63-100	11	8	3,6/1,8	3,1/2,2	4,1/3,0	4,9/3,4	5,3/3,6
	100-160			4,0/2,0	3,4/2,4	4,8/3,2	5,3/3,6	5,8/3,9
2	36-100	10	7	2,8/1,4	2,5/1,8	3,3/2,2	3,8/2,5	4,1/2,6
	100-160			3,2/1,6	2,6/1,9	3,6/2,4	4,1/2,6	4,5/2,9
3	63-100	10	7	2,8/1,4	2,5/1,8	3,3/2,2	3,8/2,5	4,1/2,6
	100-160			3,2/1,6	2,6/1,9	3,6/2,4	4,1/2,6	4,5/2,9
Примечание: В числителе общих припусков и общих допусков указаны полные значения этих величин. В знаменателе указаны половинные значения допусков и соответствующие им припуски на отливку «Планшайба» т.к. отливка имеет поверхности вращения, используемые в качестве базовых при обработке (см. п.4.2.1 ГОСТ 26645-85).								

Значения общего припуска для каждого интервала общих допусков, расположенные в разных графах табл. 3.15 и соответствующие черновой, получистовой, чистой обработке, выбирают в зависимости от соотношений между требуемой точностью обработки поверхности детали и исходной точностью поверхности отливки, приведенных в табл. 3.16 для погрешностей размеров и в табл. 3.17 для погрешностей формы и расположения поверхностей детали и отливки; окончательно принимают значение припуска, соответствующее более точной обработке.

Для обеспечения квалитетов $H7$; $h7$; $H14$; $h14$ точности размеров детали «Планшайба» из табл. 3.15 и 3.16 находим, что окончательными видами обработки требуются соответственно тонкая и получистовая обработка.

Таким образом, в зависимости от варианта способа литья, вида окончательной обработки и размеров элементов конструкции «Планшайба» по табл. 3.14 – 3.17 находим припуски и их значения сводим в табл. 3.18.

Приведенные из ГОСТ 26645-85 значения общих припусков даны для среднего уровня точности обработки (обработка на автоматизированном оборудовании – агрегатных станках, станках с ЧПУ и автоматических линиях на их базе). При повышенном и высоком уровне точности обработки (обработка на автоматизированном оборудовании, оснащённом устройствами для стабилизации и управления точностью обработки) припуск следует уменьшать, а при пониженном уровне точности обработки (обработка на неавтоматизированном оборудовании) — увеличивать по сравнению с установленными общими припусками.

Таблица 3.16.

Выбор вида окончательной обработки отливки в зависимости от погрешностей размеров детали и отливки.

Допуск размера отливки	Соотношения между допусками размера детали и отливки от базы обработки до обрабатываемой поверхности	Вид окончательной механической обработки
До 0,5	Свыше 0,4	черновая
	0,15-0,4	получистовая
	0,10-0,15	чистовая
	До 0,1	тонкая
0,5-1,0	Свыше 0,3	черновая
	0,1-0,3	получистовая
	0,05-0,1	чистовая
	До 0,05	тонкая
1,0-2,0	Свыше 0,2	черновая
	0,1-0,2	получистовая
	0,05-0,1	чистовая
	До 0,05	тонкая
2,0-5,0	Свыше 0,15	черновая
	0,05-0,15	получистовая
	0,02-0,05	чистовая
	До 0,02	тонкая
Свыше 5,0	Свыше 0,10	черновая
	0,05-0,10	получистовая
	0,02-0,05	чистовая
	До 0,02	тонкая

Таблица 3.17.

Выбор вида окончательной обработки отливки в зависимости от погрешностей формы и расположения поверхностей детали и отливки.

Допуск размера отливки, мм	Соотношения между допусками формы и расположения обработанной поверхности	Вид окончательной механической обработки
До 0,5	Свыше 0,4	Черновая
	0,10-0,4	Получистовая
	0,02-0,0	Чистовая
	До 0,02	Тонкая
0,5-1,0	Свыше 0,3	Черновая
	0,10-0,3	Получистовая
	0,02-0,10	Чистовая
	До 0,02	Тонкая
1,0-2,0	Свыше 0,20	Черновая
	0,05-0,20	Получистовая
	0,01-0,05	Чистовая
	До 0,01	Тонкая
2,0-5,0	Свыше 0,10	Черновая
	0,02-0,10	Получистовая
	0,005-0,02	Чистовая
	До 0,005	Тонкая
Свыше 5,0	Свыше 0,05	Черновая
	0,01-0,05	Получистовая
	0,002-0,01	Чистовая
	До 0,002	Тонкая

Таблица 3.18.

Припуски на механическую обработку для изготовления детали «Планшайба».

Вариант литья	Припуск на сторону элемента конструкции, мм.			
	Ø 140	Ø 95	Ø 92	Ø 85
1	3,2	3,6	3,6	3,6
2	2,4	2,6	2,6	2,6
3	2,4	2,6	2,6	2,6

Для отливок, изготавливаемых в мелкосерийном и единичном производстве, допускается назначать увеличенные припуски по сравнению с установленными по ГОСТ 26645-85 общими припусками. При назначении припусков в отверстиях следует учитывать особенности способа литья. Так, при литье в песчаные формы, минимальный диаметр получаемых отверстий зависит от типа сплава и толщины стенки отливки в месте расположения отверстия и его про-

тяженности. В целях предотвращения спекания формовочной смеси в отверстиях приняты следующие минимальные размеры получаемых отверстий при толщине стенки 10 мм и глубине отверстия до 20 мм в отливках: из стали — $\varnothing 30$ мм, чугуна — $\varnothing 15$ мм; цветных легких сплавов — $\varnothing 10$ мм. При литье по выплавляемым моделям и под давлением в отливке могут быть выполнены отверстия $\varnothing 3 \dots 5$ мм.

В учебной практике, для упрощения назначения припусков на механическую обработку, можно воспользоваться ориентировочными табличными данными для каждого способа литья в разделе 4 настоящего пособия.

При расчете массы отливок, Дз (3.2) необходимо найти массу припусков и приплюсовать их к массе детали. Для этого необходимо умножить объем припусков, см^3 на плотность материала заготовки (табл. 3.19). Для определения массы припусков сложной геометрической формы следует разделить их на возможно более простые по форме геометрические элементы, удобные для расчета объема, а затем суммировать найденные значения. Объем припусков простейших профилей рассчитывают по формулам:

круглое сечение

$$V = 0,78d^2h; \quad (3.3)$$

кольцевое сечение:

$$V = 0,78(D^2 - d_1^2)h, \quad (3.4)$$

где d — диаметр круглого сечения;

D и d_1 — диаметры внешней и внутренней окружностей;

h — высота, и т.д.

Таблица 3.19.

Плотность сплава.

Сплав	Плотность, г/см ³
Алюминиевые сплавы: АЛ1; АЛ2; АЛ9 и др.	2,75; 2,65; 2,66
Баббиты оловянные и свинцовые: Б88; Б83 С	7,35; 7,40
Бронзы безоловянные литейные: БрА9МцЛ; БрА9ЖЗЛ и др.	7,6
Бронзы оловянные литейные: Бр ОЗЦ12С5; Бр О5Ц5С5	8,69; 8,84
Латуни литейные: Лц 40МцЗЖ и др.	8,5
Сталь конструкционная литейная	7,85
Чугун серый	7,0-7,2
Чугун ковкий и высокопрочный	7,2-7,4
Чугун антифрикционный	7,4-7,6

При изготовлении детали «Планшайба» масса отливок для вариантов способов литья 1,2,3 соответственно составит 7,22; 6,6; 6,6 кг.

Стоимость единицы массы заготовки M_z , кг и стоимость единицы массы стружки M_c , кг (3.2) принимается по данным базового предприятия.

При отсутствии данных стоимости литья на базовом предприятии можно воспользоваться ориентировочными ценами на отливки, изготавливаемые в песчаных формах, которые приведены в табл. 3.20.

Таблица 3.20.

Оптовые цены на отливки, руб. за тонну.

Сплав	Масса одной отливки, кг	Группа сложности				
		1	2	3	4	5
Чугун						
СЧ -10	3-10	1950	2400	2850	3360	3900
СЧ - 20	10-20	1750	2150	2600	3100	3650
СЧ - 30	50-200	1650	2000	2450	2950	3450
и др.						
Сталь						
15Л,20Л	3-10	2200	2650	3250	3950	4750
25Л,30Л	10-20	2000	2450	3050	3700	4600
35Л,40Л	20-50	1850	2300	2850	2500	4300
45Л,50Л	50-200	1750	2150	2700	3300	4100
55Л						
Алюминиевые	0,5-1,0	11850	13000	14300	15700	17300
сплавы	1-3	11400	12550	13850	15250	16860
АЛ-2, АЛ-4, АЛ-9	3-10	10900	12050	13350	14750	16350
и др.	10-20	10600	11750	13050	14450	16050
	20-50	10350	1150	12800	14200	15700

Характеристика групп сложности отливок приведена в разделе 3.1 настоящего пособия.

Цена одой тонны стружки принимается по следующим ориентировочным данным: чугунная — 200 руб./т, стальная (углеродистая) – 270 руб./т, латунная — 4000 руб./т, бронзовая (оловянная) — 5000 руб./т.

Зная все составляющие формулы (3.2) находим M_o — стоимость заготовок по трем варианта литья.

Размер заработной платы станочника (с начислениями) зависит от трудоемкости операций механической обработки заготовки. Как правило, сравниваемые варианты получения отливки отличаются степенью близости формы заготовки к форме детали, объемом удаляемого материала, и, следовательно, трудоемкостью обработки. Независимо от способа получения отливки трудоемкость отделочных (финишных) операций будет одной и той же. Поэтому при сравнении нужно принимать во внимание только трудоемкость удаления лишнего металла менее точной, более массивной заготовки до приведения ее размеров в соответствие с размерами отливки, форма которой наиболее приближена к форме готовой детали. Заработная плата станочника определяется по формуле:

$$З_{п\ 1,2,3} = (Тшт_{1,2,3} Ч/60) К_n, \text{ руб} \quad (3.5)$$

где $T_{шт\ 1,2,3}$ — время обработки детали на операциях удаления лишнего металла сравниваемых вариантов оливок, мин;

$Ч$ — часовая тарифная ставка станочника, выполняющего работу по обработке заготовки, руб.;

$Кн$ — коэффициент учитывающий начисления на заработную плату.

Штучное время $T_{шт}$ определяется по формуле:

$$T_{шт} = T_o + T_v + T_{п.з.} + T_{орг.тех.обсл.}, \quad (3.6),$$

где T_o — основное (машинное) время, мин

$$T_o = Li/nS, \quad (3.7)$$

где L — расчетная длина обрабатываемой поверхности, мм;

i — число проходов;

n — частота вращения шпинделя, об/мин;

S — подача, мм/об.

Режимы обработки: число проходов — i , частота вращения шпинделя — n , подача — S , разряд работы определяем по общемашиностроительным нормативам времени и режимов резания для соответствующего вида обработки и типа производства [8, 9, 10, 20].

T_v — вспомогательное время, мин;

$T_{п.з.}$ — подготовительно-заключительное, мин;

$T_{орг.тех.обсл.}$ — время организационно-технического обслуживания, мин определяется в соответствии с нормативами приведенных затрат, приходящихся на один час работы оборудования при выполнении i -й операции по справочникам [11, 12, 17, 18, 19]. В табл. 3.21 из источника [11], с. 323 приведена структура (%) штучно - калькуляционного времени при различных видах механической обработки.

Таблица 3.21.

Структура % штучно-калькуляционного времени.

Элементы штучно-калькуляционного времени	Вид обработки				
	токарная	револьверная	фрезерная	шлифовальная	сверлильная
Основное	36,2	45,2	41,0	48,0	51,4
Вспомогательное	28,3	29,4	41,0	29,0	28,8
Подготовительно-заключительное	18,6	9,9	4,3	6,5	5,9
Время организационно-технического обслуживания	16,9	15,5	13,7	16,5	13,9

Величина часовых тарифных ставок — $Ч$, коэффициента $Кн$, учитывающего начисления на заработную плату принимается по данным базового предпри-

ятия. При отсутствии такой возможности, можно воспользоваться ориентировочными данными часовых тарифных ставок (табл. 3.22).

Таблица 3.22.

Часовые тарифные ставки в рублях.

Условия труда	Разряды					
	1	2	3	4	5	6
Нормальные для сдельщиков	5,03	5,48	6,06	6,70	7,50	8,63
Для повременщиков, занятых на МРС.	4,71	5,12	5,66	6,27	7,05	8,07

Коэффициент начисления на заработную плату K_n включает дополнительную заработную плату в размере 20% от заработной платы и начисление по социальному страхованию. Для упрощения расчетов, дополнительную заработную плату определяют общим коэффициентом $K_n = 1,3$.

На основании экономического расчета только по двум составляющим технологической себестоимости M_o и $З_p$ определяем рациональный вариант изготовления отливки.

Если сопоставляемые варианты по технологической себестоимости оказываются равноценными, как в случае изготовления отливок «Планшайба» по 2-му и 3-му вариантам, то предпочтение следует отдать варианту, имеющему более высокие основные натуральные показатели (табл. 3.23).

Таблица 3.23.

Основные натуральные показатели процессов литья.

Наименование показателя	2-й вариант	3-й вариант
Коэффициент использования металла отливки	90	90
Удельная норма расхода электрической энергии и топлива	0,15	0,05
Удельная норма расхода металла	1,80	1,20
Трудоемкость изготовления заготовки, мин	12,67	9,45
Число занятых рабочих	5	5
Коэффициент использования оборудования	0,82	0,9
Коэффициент использования производственной площади	0,6	0,87

Сравнивая основные натуральные показатели процессов литья по второму и третьему вариантам литья, приходим к выводу, что литье заготовки «Планшайба» центробежным способом является более рациональным, экономически целесообразным вариантом литья.

Расчет технико-экономического обоснования рационального варианта технологического процесса получения литых заготовок можно также провести по методикам [13, 14, 15, 16].

Контрольные вопросы

1. Из каких составляющих складывается себестоимость изготовления детали?
2. По каким составляющим себестоимости производится сравнение вариантов изготовления отливки?
3. Как рассчитываются припуски на механическую обработку отливок?
4. Как рассчитывается заработная плата станочников?
5. Как производится выбор способа получения отливки, если сопоставляемые варианты по себестоимости равноценны?

Таблица 3.3.

Сравнительная характеристика основных видов и способов литья.

виды литья	способы изготовления форм и отливок	масса отливки, кг	мин. толщина стенки, мкм	материал отливки	кл. точн. размеров отливки, ГОСТ 26645-85	шерох. поверхн. отливки, R_a , ГОСТ 2789-73, мкм	Коэффициент использ. материала отливки	Экономически целесообразная партия отливок, шт.
Литье в разовые песчано-глинистые формы	Ручная формовка	0,1-50000	3-6	Все сплавы	11т-14	50-100	0,71	1 и более
	Машинная формовка	0,1-2000	3-6	Все сплавы	7-12	25-50	0,71	200 и более
Специальное литье в оболочковые и разовые формы	Песчано-смоляные формы	0,1-70	2-6	Все сплавы	4-11	5,0-40	0,9	400 и более
	По выплавляемым моделям	0,01-150	1-6	Все сплавы	3-5	0,4-6,3	0,93	1000 и более
	По газифицируемым моделям	0,3-380	2-6	Сталь, чугун	6-13	10-63	0,8	1 и более
	В керамические формы	10,0-2000	1,5-6,5	Все сплавы	4-6	0,4-6,3	0,9	5 и более
Специальное литье в постоянные металлические литейные формы	Литье в кокиль	0,01-30	3	Цветные сплавы	4-10	4,0-20	0,85	400 и более
	Литье в облицованный кокиль	0,1-160	3-6	Сталь, чугун	6-15	5,0-40	0,75	60 и более
Специальное литье с применением внешних воздействий на жидкий и кристаллизующийся металл	Литье под давлением	0,01-30	0,8-1,2	Цветные сплавы	3-8	3,2-10,0	0,98	1000 и более
	Литье с кристаллизацией под давлением	4-30	2,0-4	Цветные сплавы	3-10	6,3-16,0	0,9	400 и более
	Центробежное литье	0,01-500	3	Все сплавы, биметаллы	5-12	25-50	0,75	100 и более
	Литье под низким давлением	0,01-0,03	1,5-2,5	Все сплавы	5-11	5,0-20	0,85	1000 и более
Непрерывное литье	В вертикальных и горизонтальных кристаллизаторах	5-85	10-20	Все сплавы	4-10	6,3-20,0	0,9	1000 и более

4. ОСОБЕННОСТИ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ЛИТЬЯ

4.1. Литье в разовые песчано-глинистые формы

4.1.1. Сущность и особенности процесса

В разовых песчаных формах производят ~ 80% от всего объема выпуска отливок. Это объясняется универсальностью процесса (широкие технологические возможности процесса обеспечивают получение любых отливок как по массе, так и по роду металла), низкой себестоимостью и сравнительно легкой и быстрой технологической подготовкой производства отливок широкой номенклатуры.

Литье в сырые формы – самое распространенное в цехах серийного и массового производства. В последние годы изготовление сырых форм получило дальнейшее развитие благодаря эффективному использованию современных формовочных машин и автоматических линий.

Машинная формовка по металлическим моделям с механизированным выемом моделей из полуформы является экономичным вариантом изготовления наиболее сложных по конфигурации тонкостенных отливок в серийном и массовом производстве и обеспечивает 8 – 13 для цветных и 9 – 14 для черных сплавов классы размерной точности ГОСТ 26645 – 85. При этом меньшие значения классов точности относятся к простым отливкам и условиям массового автоматизированного производства, большие – к сложным отливкам единичного и серийного производства, средние – к отливкам средней сложности и условиям механизированного серийного производства.

Применение при этом машинного способа изготовления стержней с калибровкой их перед сборкой форм в кондукторах позволяет в дальнейшем обеспечить безразметочную механическую обработку отливок в приспособлениях.

Прогрессивной технологией изготовления отливок в единичном и мелко-серийном производстве является использование машинной формовки по координатным плитам с незакрепленными моделями. Данная технология обеспечивает 9 – 13 для цветных 10 – 14 для черных сплавов классы размерной точности, ГОСТ 26645 – 85.

При всех преимуществах сырых форм им свойственны недостатки, в частности, непроизводительная переработка около 70% формовочных смесей, не участвующих в процессах формирования отливок; значительный брак по газовым раковинам, засорам и др. дефектам. Отсюда вытекает задача перехода от обычных к оболочковым, сухим, более прочным формам и стержням. Решая эти задачи, литейщики используют новые свойства и новые составы формовочных и стержневых смесей.

В настоящее время в литейном производстве применяют свыше 100 различных технологических процессов изготовления стержней и форм, более 40 видов связующих материалов, свыше 300 различных противопопригарных покрытий и т.д.

Наиболее перспективны отвечающие современным требованиям литейного производства процессы, при которых затвердевание стержней, изготовленных из смесей с органическими или неорганическими связующими материалами, происходит в ящиках. Для единичного и серийного производства чаще применяются процессы изготовления стержней из самотвердеющих смесей.

В связи с бурным развитием химической промышленности и широким применением в литейном производстве синтетических смол смеси, содержащие смолы, в настоящее время используются не только при изготовлении стержней, но также и форм.

Новые технологические процессы в зависимости от условий производства позволяют регулировать продолжительность затвердевания смесей в широких пределах от нескольких минут до 40...60 мин.

При изготовлении стержней для массового производства быстроходные смесители непрерывного действия устанавливаются непосредственно над пескострельными машинами, а продолжительность затвердевания смеси исчисляется секундами. Вместе с этим новые технологические процессы получения песчаных форм стабилизируют и повышают показатели точности, снижают шероховатость поверхности отливок и повышают эффективность их использования.

Последовательность технологического процесса получения отливок в разовой песчано-глинистой форме приведена на рис. 4.1.

Весь цикл изготовления отливки [21] состоит из ряда основных и вспомогательных операций, осуществляемых как параллельно, так и последовательно в различных отделениях литейного цеха. Модели, стержневые ящики и другую оснастку изготавливают, как правило, в модельных цехах.

Литейная разовая песчано-глинистая форма (рис. 4.2) в большинстве случаев состоит из двух полуформ: верхней 7 и нижней 9, которые получают уплотнением формовочной смеси вокруг соответствующих частей (верхней и нижней) деревянной или металлической модели в специальных рамках – опоках 3 и 5.

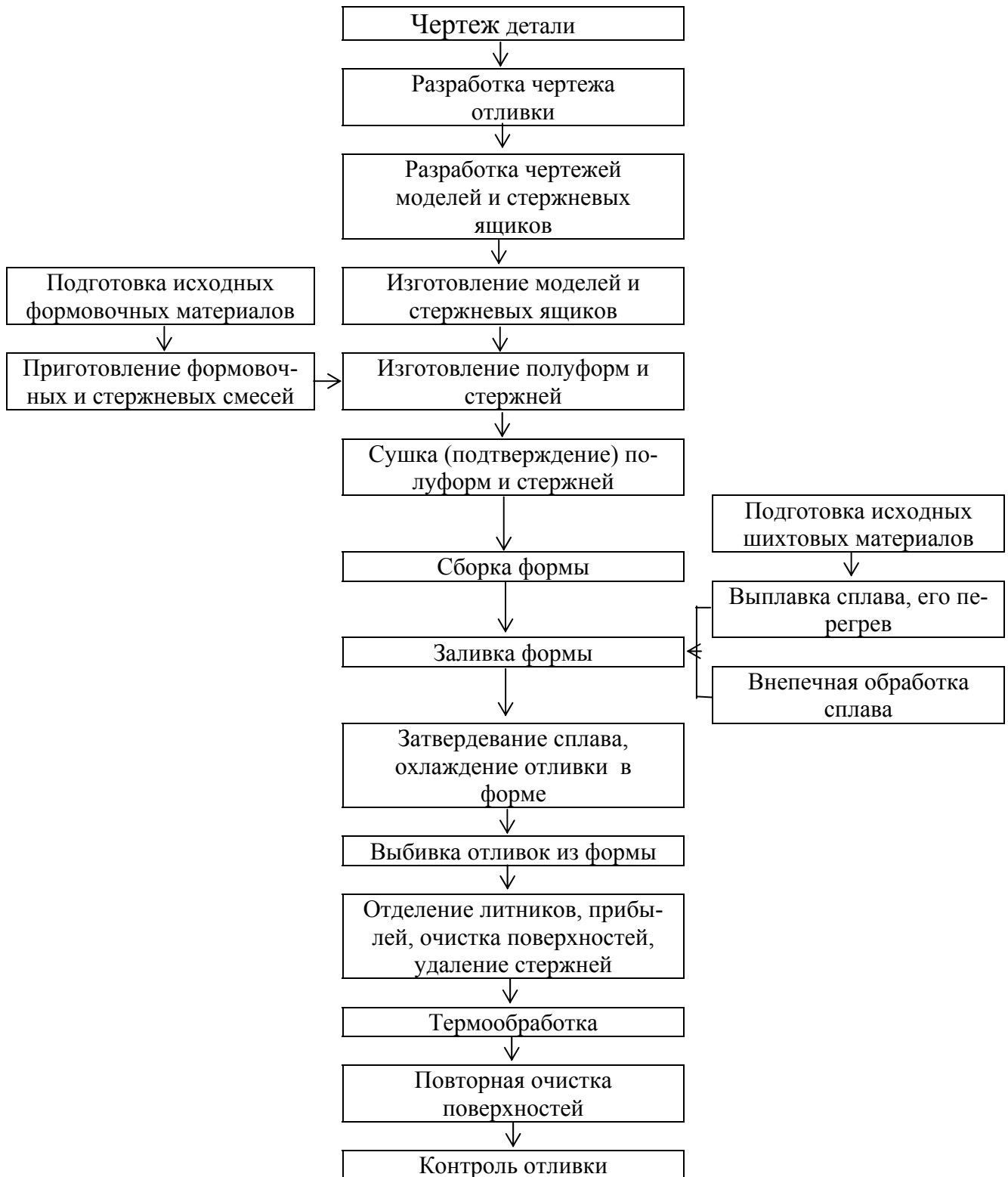


Рис. 4.1. Технологический процесс получения отливок в разовой песчано-глинистой форме.

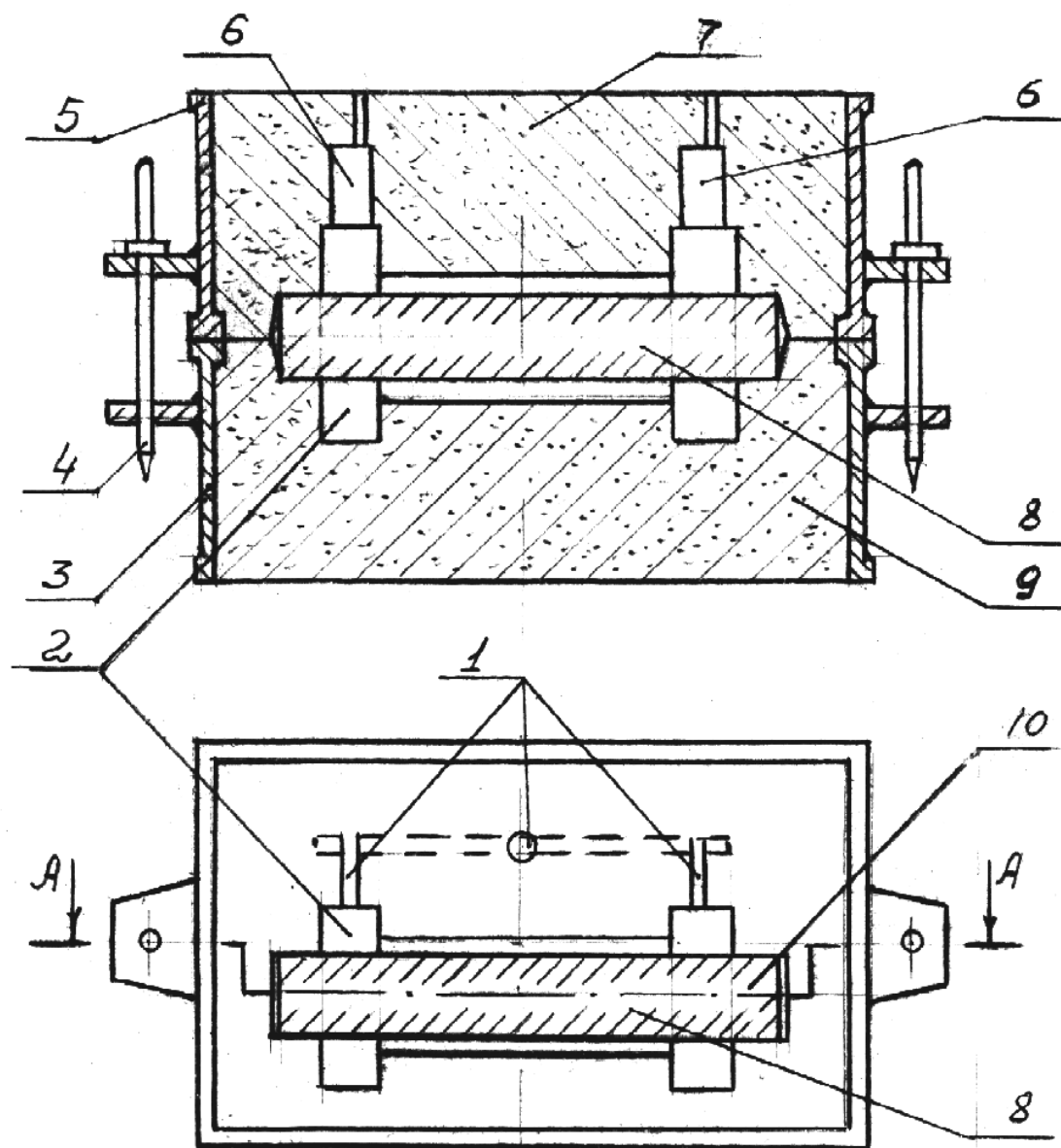


Рис. 4.2. Литейная разовая песчано-глинистая форма:

1 – литниковая система; 2 – полость формы; 3 – нижняя опока; 4 – штырь; 5 – верхняя опока; 6 – прибыль; 7 – верхняя полуформа; 8 – стержень; 9 – нижняя полуформа; 10 – знаковая часть стержня.

Модель отличается от отливки увеличенными размерами на величину усадки сплава, наличием формовочных уклонов, облегчающих извлечение модели из формы, наличием плоскости разъема и знаковых частей 10, предназначенных для установки стержня 8, образующего внутреннюю полость (отверстие) в отливке. Стержень изготавливают из смеси, например кварцевого песка, отдельные зерна которого скрепляются при сушке или химическом отверждении специальными крепителями (связующими). В верхней полуформе с помощью соответствующих моделей выполняется воронка, каналы стояка и шлакоуловителя, а в нижней полуформе 9 каналы питателей. В целом воронка и все каналы образуют литниковую систему 1, по которой из разливочного ковша поступает литейный сплав в полость формы 2, и дополнительные полости прибы-

ли 6. Прибыли являются дополнительным резервуаром жидкого расплава, который необходим для питания отливки при усадке металла в процессе его кристаллизации. Прибыли, как правило, устанавливаются над массивными частями отливки.

После уплотнения смеси модели собственно отливки, литниковой системы и прибылей извлекают из полуформ. Затем в нижнюю полуформу 9 устанавливают стержень 8 и накрывают верхней полуформой. Необходимая точность соединения полуформ обеспечивается фиксирующими штырями 4. Перед заливкой сплава во избежание поднятия верхней полуформы жидким расплавом опоки скрепляют друг с другом специальными скобами, или на верхнюю опоку устанавливают груз.

При ручном способе изготовления литейной формы формовка по разъемной модели в двух опоках начинается с изготовления нижней полуформы и производится в такой последовательности:

1. Нижнюю половину модели (не имеющую центрирующих шипов) кладут плоскостью разъема вниз на подмодельную доску, припыливают модельной пудрой и накрывают нижней опокой (рис. 4.3, а).
2. Через сито просеивают облицовочную смесь, покрывая модель слоем толщиной 15...20 мм, а остальную часть опоки засыпают с избытком наполнительной формовочной смесью.
3. Уплотняют смесь ручной трамбовкой.
4. Линейкой срезают излишки формовочной смеси заподлицо с опокой.
5. Иглой накалывают вентиляционные каналы (рис. 4.3, б).
6. Набитую опоку переворачивают на 180°.
7. На нижнюю полумоделю устанавливают верхнюю полумоделю и припыливают ее.
8. Плоскость разъема формы посыпают разделительным сухим песком.
9. На нижнюю опоку по штырям накладывают верхнюю опоку.
10. Устанавливают модели шлакоуловителя, стояка и выпора.
11. Просеивают облицовочную смесь, уплотняя ее руками вокруг моделей литниковой системы (рис. 4.3, в).
12. Засыпают верхнюю опоку с избытком наполнительной смесью.
13. Уплотняют формовочную смесь трамбовкой и линейкой срезают излишки смеси заподлицо с верхней опокой.
14. Иглой накалывают вентиляционные каналы в верхней полуформе и гладилкой вырезают возле стояка литниковую чашу (рис. 4.3, г).
15. Удаляют из формы модели стояка и выпора (рис. 4.3, д).
16. Снимают верхнюю опоку и переворачивают на 180° (рис. 4.3, е).
17. Кистью смачивают формовочную смесь вокруг полумоделей.

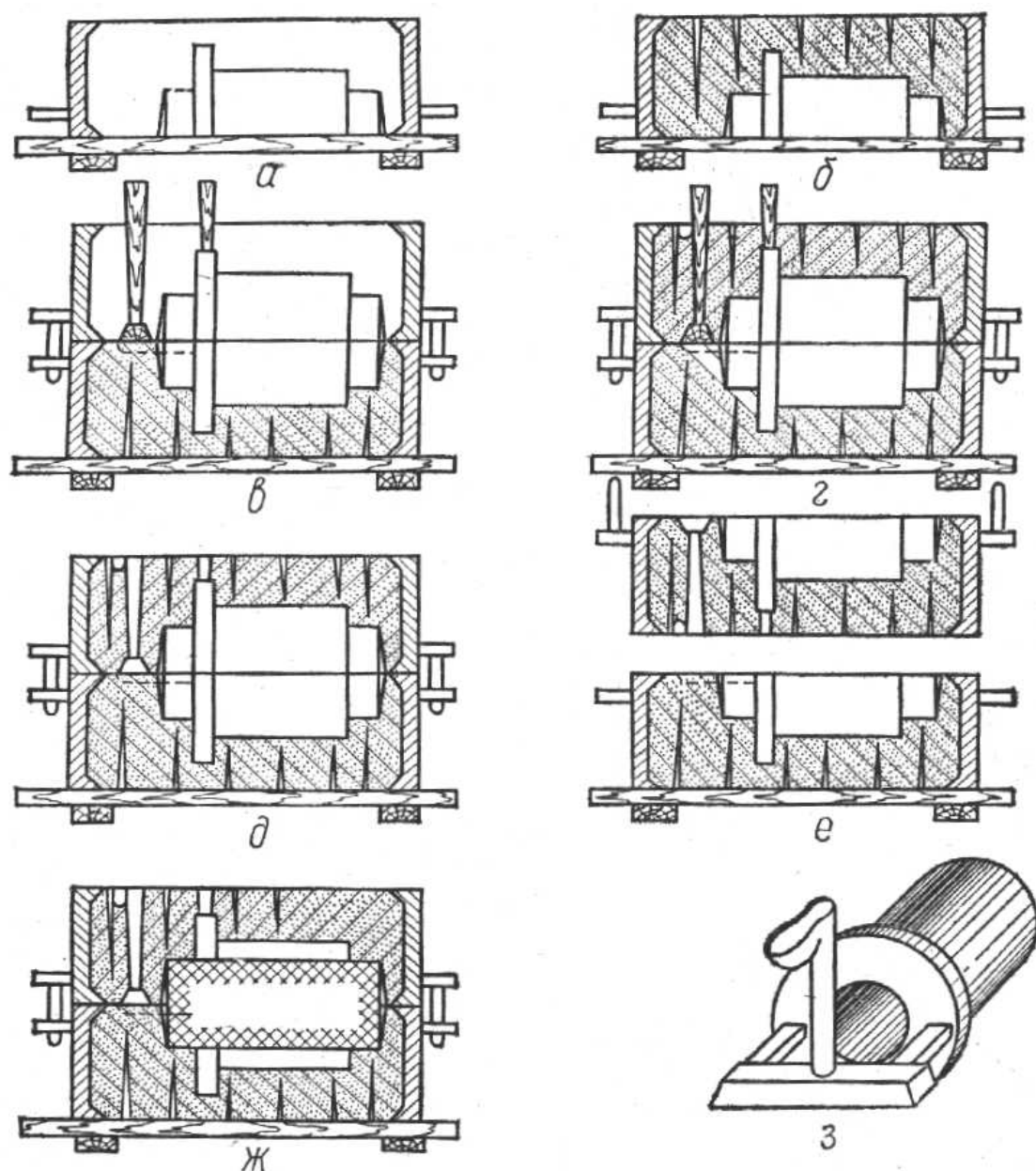


Рис. 4.3. Формовка в двух опоках по неразъемной модели.

18. Подъемником полумодели расталкивают в стороны и осторожно удаляют из форм.
19. В нижней полуформе прорезают питатели.
20. Форму отделяют, поправляют и выглаживают инструментом.
21. Устанавливают в нижнюю полуформу готовые стержни по знакам.
22. Накрывают верхней полуформой (рис. 4.3, ж) и нагружают. Общий вид отливки с литниковой системой показан на рис. 4.3, з.

При машинном способе изготовления литейных форм и стержней применяют следующие типы формовочных машин:

- прессы с давлением прессования до $5 \cdot 10^5$ Па и более 10^6 Па;
- встряхивающие;
- пескометы;
- пескодувные;

- пескострельные;
- импульсные;
- вакуумные;
- специальные (уплотнение формовочной смеси отличается от перечисленных методов).

Прессовые машины могут быть с верхним и нижним прессованием. При верхнем прессовании (рис. 4.4, а) модельную плиту 2 с моделью 3 укрепляют на столе 1. Устанавливают опоку 4 высотой H с наполнительной рамкой 5 высотой h , затем в них насыпают формовочную смесь. Стол с опокой поднимают, и прессовая колодка 6, входя внутрь наполнительной рамки 5, уплотняет смесь. Прессование заканчивается в момент, когда вся формовочная смесь, находящаяся в наполнительной рамке, перейдет в опоку. Высота прессовой колодки и высота наполнительной рамки одинаковы. Степень уплотнения ρ смеси при верхнем прессовании неодинакова по высоте опоки. По мере удаления от прессовой колодки степень уплотнения уменьшается до определенного предела и затем несколько возрастает из-за сопротивления, которое оказывает жесткая плоскость модельной плиты передвиганию смеси в процессе уплотнения. С увеличением высоты опоки увеличивается неравномерность уплотнения смеси. По этой причине высота опок не может превышать 250 мм.

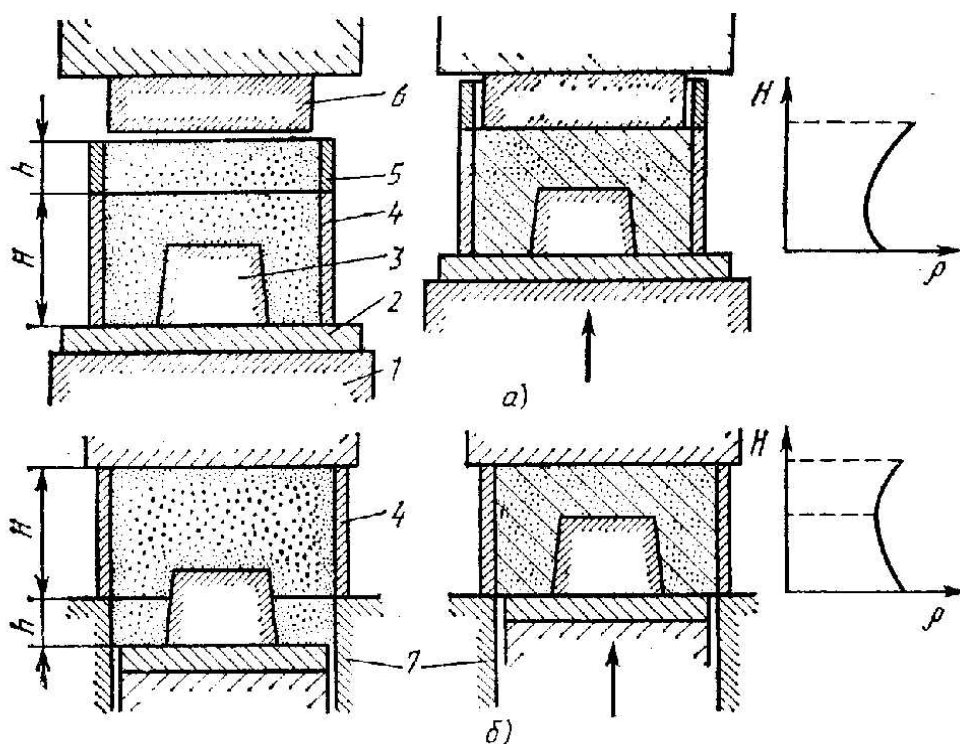


Рис. 4.4. Схемы верхнего (а) и нижнего (б) прессования и изменение плотности смеси по высоте опок.

В машинах с нижним прессованием (рис. 4.4, б) роль наполнительной рамки выполняет углубление h в неподвижном столе 7.

По сравнению с верхним прессованием максимальная степень уплотнения смеси достигается у модели. Этот вариант технологически более благоприятен, однако такие машины обладают худшими эксплуатационными качествами.

В некоторых машинах прессование осуществляется одновременно с вибрацией. Песчинки смеси совершают колебания с малой амплитудой и большой частотой, трение между ними и о боковые стенки опоки уменьшается. В результате прессование происходит эффективнее, смесь уплотняется равномернее. В этом случае можно применять более высокие опоки.

Прессовые машины, работающие под высоким давлением ($2 \cdot 10^6$ Па), позволяют уплотнять смеси в высоких опоках, которые ранее использовали на встряхивающих машинах, работающих с большим шумом. Прочность формовочной смеси при этом способе увеличивается за счет сцепления зерен песка, а не за счет сил связи между водными оболочками вокруг зерен песка. Поэтому на этих машинах можно использовать смеси с пониженной влажностью (1,5...3%), что уменьшает брак отливок по газовым раковинам. Высокое давление прессования позволяет получать более точный отпечаток и изготавливать отливки с меньшими припусками на механическую обработку. С повышением плотности смеси увеличивается ее теплопроводность, ускоряется охлаждение отливки. Связь между плотностью смеси в форме и давлением прессования выражается формулой $\rho = \rho_1 + n \lg p$, где ρ_1 — средняя плотность смеси; p — давление прессования, $p = 10^5$ Па; n — изменение плотности смеси при изменении давления на 10^5 Па.

Более равномерное уплотнение формовочной смеси как по высоте, так и по поверхности формы достигается при использовании в качестве уплотняющего органа машины эластичной диафрагмы (рис. 4.5) или многоплунжерной прессовой головки (рис. 4.6).

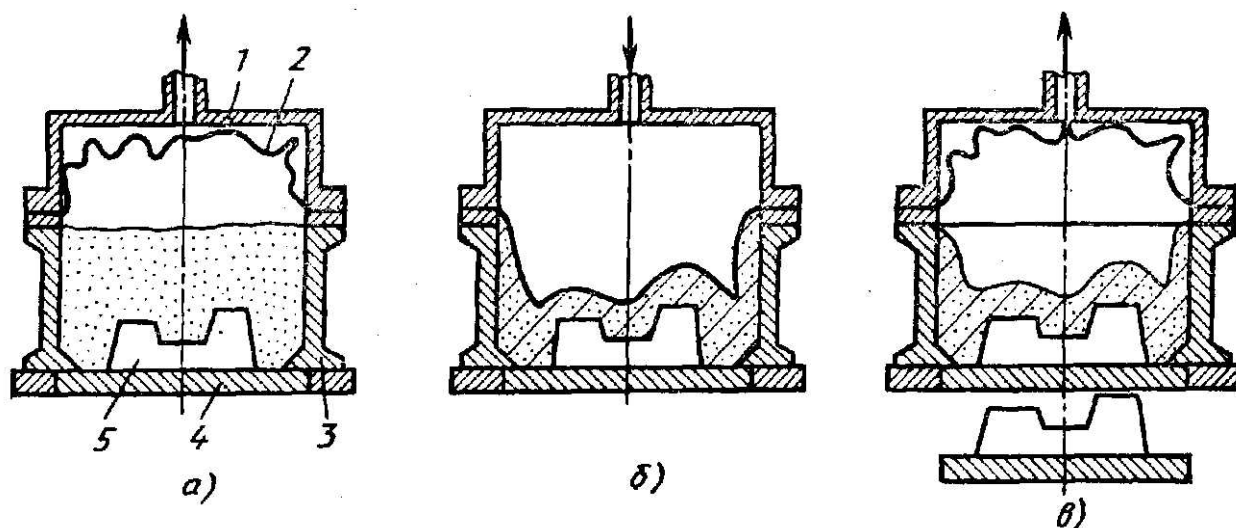


Рис. 4.5. Уплотнение формовочной смеси эластичной диафрагмой.

В первом случае после заполнения установленной на модельной плите 4 опоки формовочной смесью к верхнему торцу опоки 3 прижимается кожух 1 с

диафрагмой 2, в полость между которыми подается сжатый воздух (рис. 4.5, а). Диафрагма растягивается и равномерно уплотняет формовочную смесь (рис. 4.5, б). Давление воздуха передается, прежде всего, в места, допускающие наибольшее сжатие формовочной смеси и расположенные над низкими частями модели 5. Поверхность диафрагмы принимает волнообразную форму, в результате чего ее площадь превышает площадь опоки примерно на 40% и соответственно на 40% возрастает общее давление на форму. Давление сжатого воздуха, а следовательно, и прессования равно $(5...6) \cdot 10^5$ Па. Уплотнив формовочную смесь в опоке, диафрагму извлекают (рис. 4.5, в), создавая в пространстве над ней разрежение.

Указанный способ обеспечивает высокую и равномерную плотность смеси во всех частях формы и позволяет изготавливать формы размером до 9000x3000x1500 мм как из обычных песчаных смесей, так и из быстротвердеющих смесей с последующей их продувкой CO_2 , который подается в полость между диафрагмой и формовочной смесью. Недостатком метода является низкая стойкость диафрагмы, которая выдерживает до 60000 формовок.

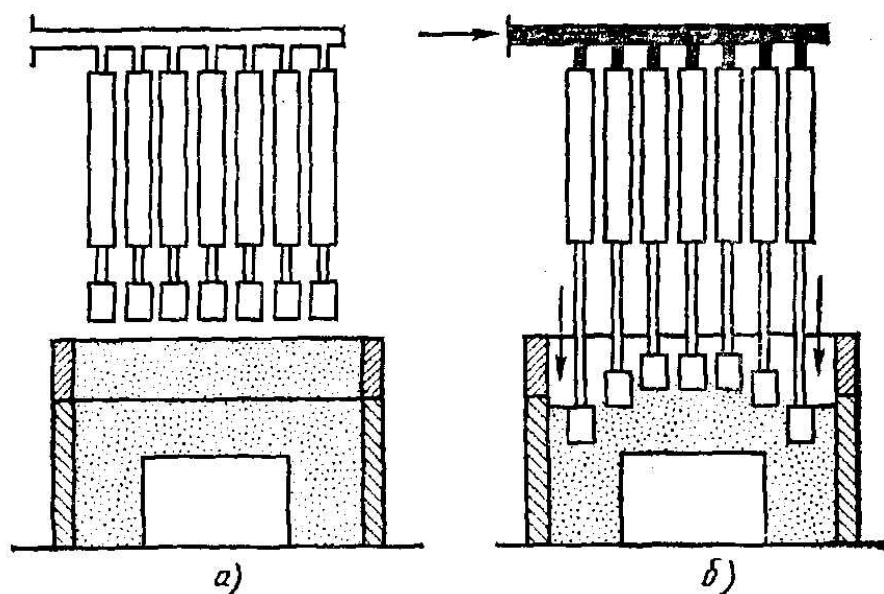


Рис. 4.6. Уплотнение формовочной смеси прессовой многоплунжерной головкой.

Метод прессования многоплунжерной головкой является модификацией диафрагменного прессования (рис. 4.6, а). В систему прессования подается масло, давление которого может регулироваться в широких пределах. Цилиндры всех плунжеров соединены друг с другом. Перетекание масла между ними и приводит к тому, что на каждую прессующую колодку (башмак) передается одинаковое по величине давление. Ход перемещения башмака зависит от сопротивления, оказываемого уплотняемой частью формовочной смеси (см. рис. 4.6, б). Чем оно выше, тем на меньшую высоту перемещается башмак. В результате плотность формовочной смеси в опоке оказывается примерно одинаковой.

Встряхивающие машины. На столе 3 машины (рис. 4.7, а) укреплена плита 2 с моделью, на которую устанавливают опоку 1 и заполняют ее формовочной смесью. Стол поднимается под давлением воздуха на 30...80 мм. После того как поршень 4 дойдет до отверстия 5, сжатый воздух выйдет, и стол, падая, ударится о преграду. Уплотнение происходит под действием силы тяжести смеси. Число ударов стола о преграду — борта пневматического цилиндра — составляет 30...50 в минуту.

При встряхивании наиболее сильно уплотняются нижние слои, непосредственно прилегающие к модельной плите. По мере удаления от плиты масса вышележащего слоя смеси уменьшается, а следовательно, уменьшается степень уплотнения. Верхний слой смеси остается практически неуплотненным. Характер плотности смеси по высоте опоки при встряхивании описан кривой 1 на рис. 4.7, б. Верхние слои смеси в опоках дополнительно уплотняют подпрессовкой. С этой целью на машинах устанавливают специальные устройства. Характер распределения плотности смеси по высоте опоки после встряхивания и подпрессовки описывается кривой 2 на рис. 4.7, б.

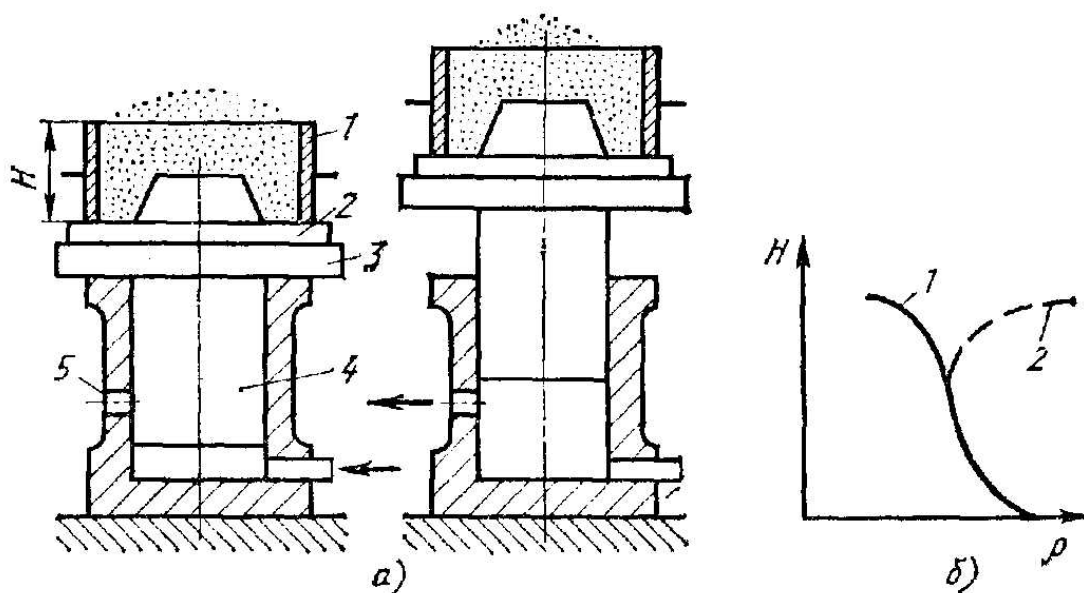


Рис. 4.7. Схема работы встряхивающей формовочной машины и распределение степени уплотнения смеси по высоте опоки.

Пескометы. Основной рабочей частью пескомета является головка. Внутри ее кожуха 1 с большой скоростью вращается ротор с одной или двумя лопатками 3 (рис. 4.8, а). Скорость вращения ротора 1500 об/мин. Через отверстие 4 в кожухе 1 лопатки выбрасывают смесь 5, которая в головку подается транспортером 2. При падении за счет силы тяжести смесь уплотняется.

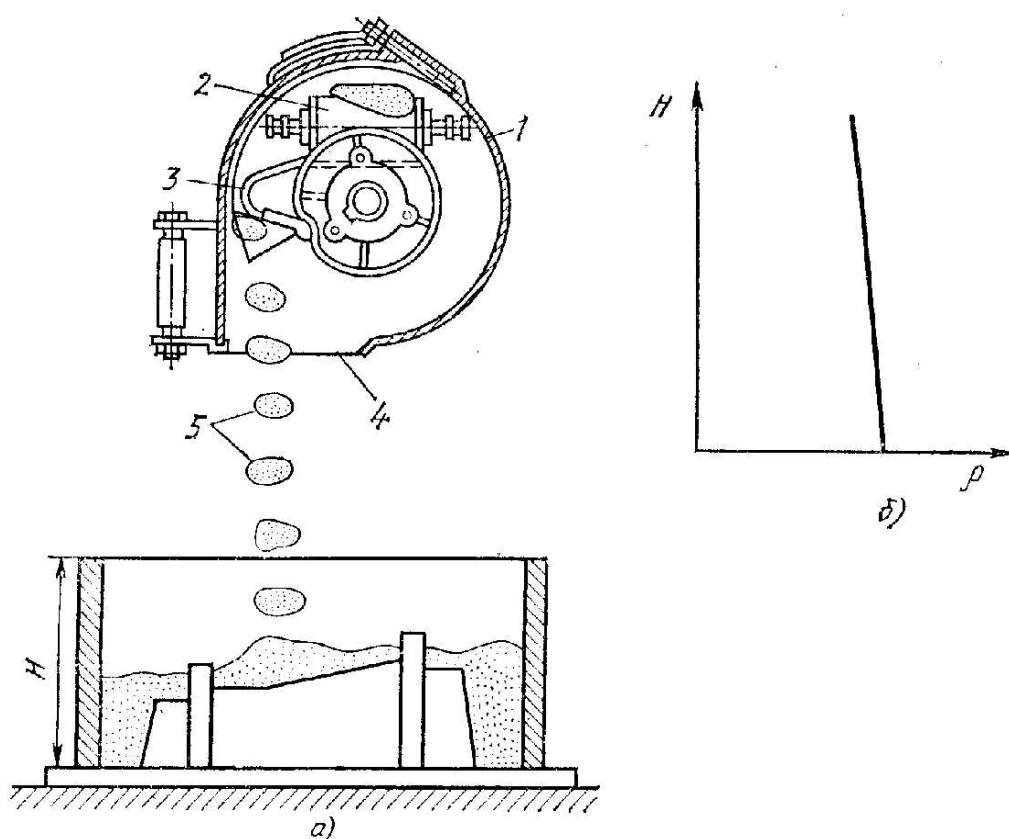


Рис. 4.8. Схема уплотнения смеси пескометом и распределение степени уплотнения смеси по высоте опоки.

Головку монтируют на подвижной консоли пескомета, что дает возможность перемещать ее в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Формы или стержни с помощью пескометов изготавливают двумя способами: перемещением пескомета относительно неподвижных опок или стержневых ящиков и перемещением опок или стержневых ящиков с помощью транспортных устройств относительно неподвижно установленного пескомета. Степень уплотнения смеси по высоте опоки практически одинаковая (рис. 4.8, б). Производительность пескометов составляет обычно не менее $10 \dots 12 \text{ м}^3/\text{ч}$ формовочной смеси, поэтому их целесообразно применять для изготовления средних и крупных форм и стержней. Пескометы только заполняют опоки смесью и уплотняют ее. Другие операции формовки они не выполняют.

Пескодувные машины. Формовочную (стержневую) смесь вдувают в опоку (стержневой ящик) под большим давлением. Машина имеет пескодувный резервуар 3, периодически заполняемый смесью из бункера 9. Вибратор 10 предусмотрен для предупреждения зависания смеси в бункере. Заполненный резервуар перемещается цилиндром 6 по ролям 7 на рабочую позицию (рис. 4.9, а). При этом бункер 9 перекрывается шиберным затвором 5. Стержневой ящик 1 прижимается столом 2 к вдувной плите 4. Сжатый воздух через распределитель 5 поступает в пескодувный резервуар и через вдувные отверстия выносит песчано-воздушную массу в полость опоки и уплотняет ее. В опоке имеются отверстия (венты), закрытые сеткой и предназначенные для выхода воздуха из полос-

ти опоки. В основном смесь уплотняется за счет перепада давления в верхней части ящика, у вдувных отверстий и вент (внизу, сбоку ящика). Если изготавливаемый стержень имеет сложную конфигурацию, то венты следует располагать в труднодоступных для смеси местах ящика.

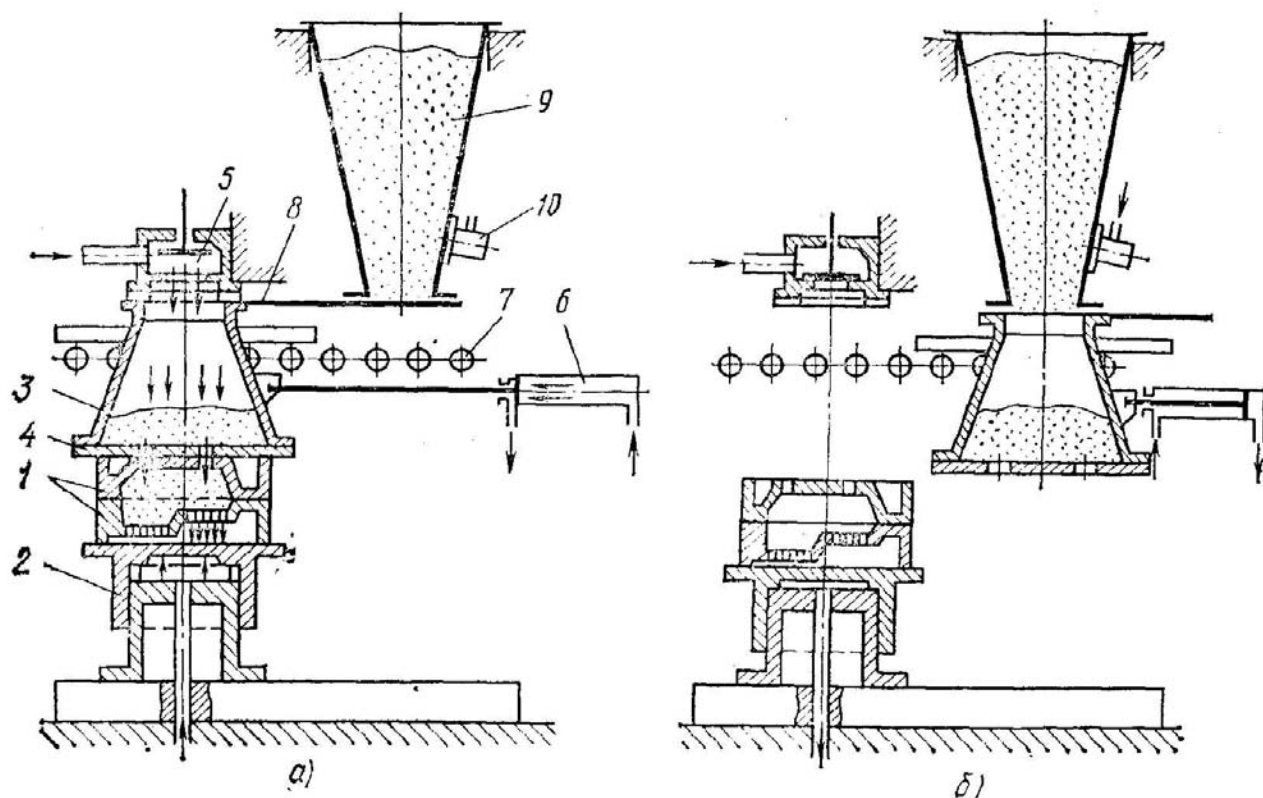


Рис. 4.9. Схема работы пескодувной машины:

а – заполнение пескодувного резервуара смесью; б – наддув смеси в стержневой ящик.

Пескострельные машины. Пескострельные машины являются разновидностью пескодувных. Смесь из бункера 1 через шибер 2 подается в рабочий резервуар 3 и уплотняется при мгновенном перемещении из пескострельного резервуара через вдувное отверстие в стержневой ящик (опоку) под давлением воздуха. Сжатый воздух из резервуара 8 (рис. 4.10) через быстродействующий клапан 9 большого сечения поступает в рабочий резервуар 3. Давление в резервуаре мгновенно повышается и ударно действует на смесь, выбрасывая ее через вдувное отверстие 6 в полость стержневого ящика 5. Сопло (вдувное отверстие) обязательно должно быть конической формы, чтобы воздух не прорвался в стержневой ящик и не ухудшил качество уплотнения смеси. Отверстия 7 во вдувной плите 4 необходимы для удаления воздуха, вытесняемого смесью из стержневого ящика. В стержневом ящике венты, как правило, отсутствуют, что в значительной степени удешевляет конструкцию ящика.

При этом не происходит образования воздушно-песчаной смеси. Отсутствие песчано-воздушной массы резко снижает абразивное действие потока смеси

на оснастку, что позволяет применять деревянные ящики. На пескострельных машинах в нашей стране и за рубежом изготавливают преимущественно стержни.

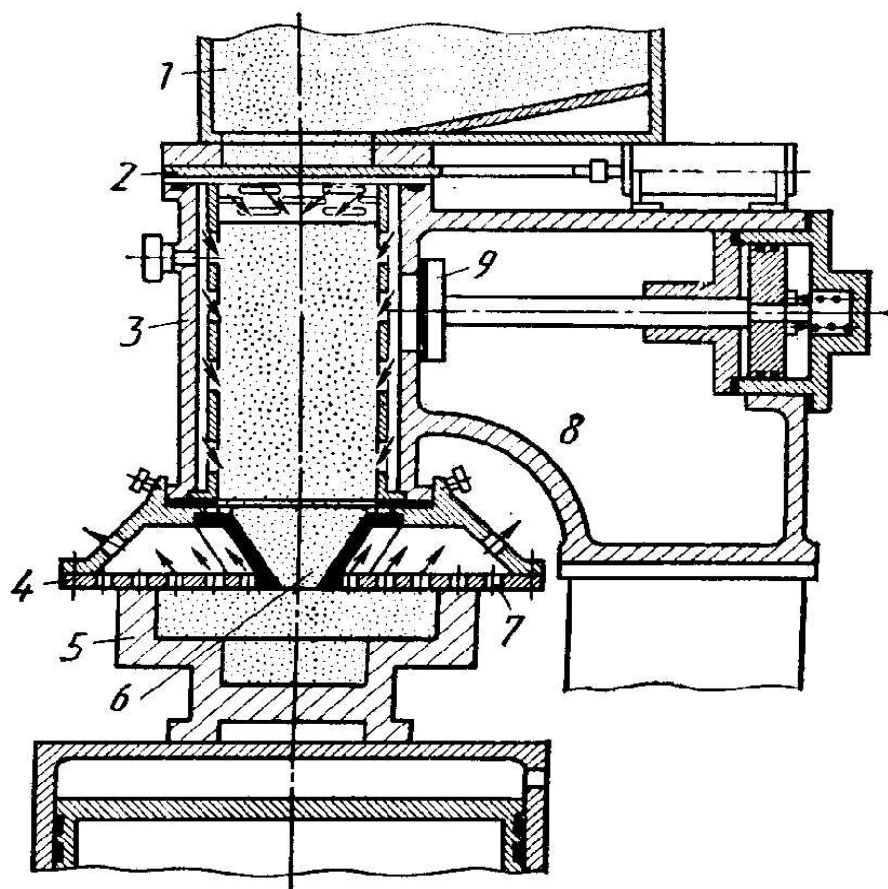


Рис. 4.10. Схема работы пескострельной машины.

Импульсные машины. Уплотнение смеси происходит за счет удара воздушной (газовой) волны.

Опока 3, установленная на модельной плите 5, после заполнения формовочной смесью подводится под импульсную головку - рабочий орган машины (рис. 4.11, а). Сжатый воздух под давлением $(6...10) \cdot 10^6$ Па через рассекаль 1 с большой скоростью поступает в полость формы. Под действием удара воздушной волны формовочная смесь 2 уплотняется в течение $0,02...0,05$ с. Оставшийся воздух через венты 4 удаляется. Верхние слои формовочной смеси уплотняются подпрессовкой с помощью плиты 6 (рис. 4.11, б).

При использовании обычных песчано-глинистых смесей поверхностная твердость формы достигает 89...94 единиц. Максимальное уплотнение смеси соответствует разьему полуформы. Степень уплотнения регулируется исходным давлением воздуха в импульсной головке. Этот метод формовки позволяет использовать и смеси повышенной прочности (до 0,2 МПа). Колебания свойств смесей в заводских условиях практически не влияют на процесс формообразования. Улучшение технологических параметров литейной формы повышает геометрическую точность отливок, снижает брак, улучшает санитарно-гигиенические условия труда за счет полного устранения вибрации и шума.

Импульсную формовку можно применять для изготовления отливок различной номенклатуры в опоках размерами до 3000×2000×2500 мм.

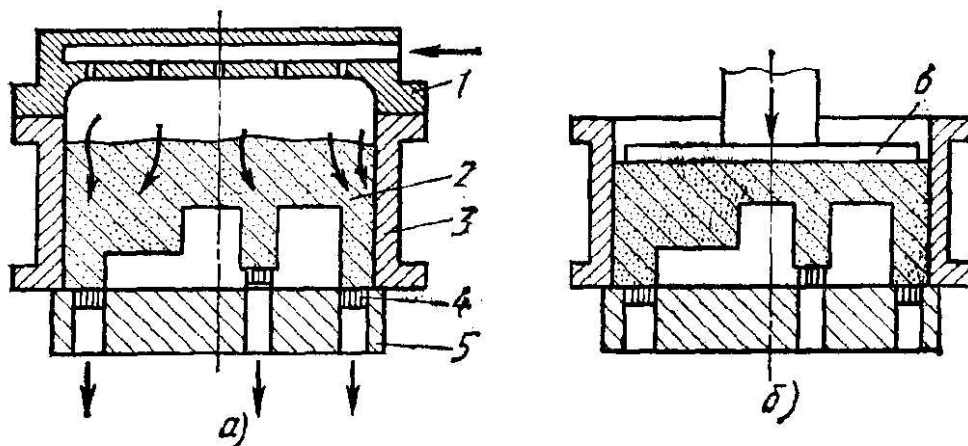


Рис. 4.11. Импульсное уплотнение формовочной смеси с последующей подпрессовкой.

Вакуумные машины. Изготовление форм основано на формообразовании и придании им определенной прочности за счет разности давлений с внешней стороны формы (атмосферного) и внутри, между частицами песка. Модель 4 (рис. 4.12) и модельную плиту 5, соединенную вентями 3 с камерой 6, покрывают термопластичной пленкой 2, предварительно подогретой до температуры размягчения с помощью электрических нагревателей 1 (рис. 4.12, а). После накрытия модели пленкой в камере 6 создается вакуум, глубина которого зависит от размера форм. Под действием вакуума пленка прилипает к модели и модельной плите (рис. 4.12, б), на которую устанавливают опоку 7 (рис. 4.12, в) специальной конструкции с полыми стенками и засыпают кварцевый песок или другой огнеупорный материал (рис. 4.12, г). Песок уплотняется вибрацией. После уплотнения верхняя поверхность опоки перекрывается пленкой (рис. 4.12, д) и в опоке образуется вакуум. Затем при сохранении вакуума в изготовленной полуформе в камере 6 создается небольшое давление, и модель извлекается (рис. 4.12, е). Аналогично изготавливают вторую полуформу. При установке стержней, сборке формы, заливке ее металлом и в период затвердевания отливки в полуформах сохраняется вакуум (рис. 4.12, ж). В процессе заливки пленка, оформляющая рабочую полость формы, сгорает, а верхняя пленка остается. После охлаждения отливки до заданной температуры вакуум снимается, и отливка свободно удаляется из опок (рис. 4.12, з). Песок используют многократно.

Метод вакуумной формовки имеет следующие преимущества: отпадает необходимость в связующих материалах и выбивных устройствах, увеличивается срок службы моделей, так как наличие пленки устраняет контакт песка с моделью, резко снижается брак по газовым раковинам, повышается геометрическая точность отливок, обеспечивается высокое качество поверхности, улучшаются санитарно-гигиенические условия труда. В настоящее время метод начинают применять в промышленности.

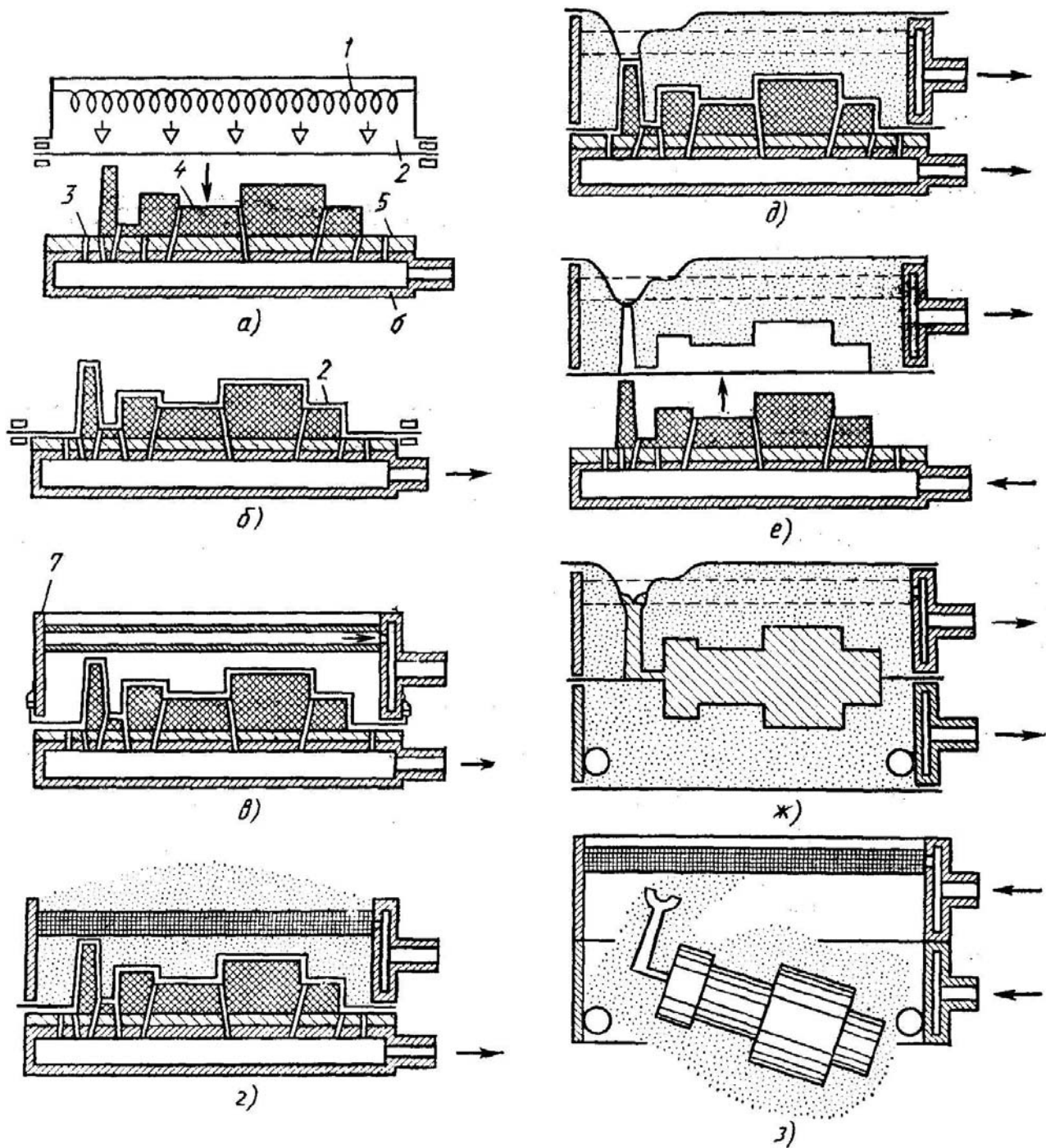


Рис. 4.12. Схема вакуумной формовки:

а - нагрев термопластичной пленки и нанесение ее на модель; б - модель, покрытая пленкой; в - установка опоки; г - заполнение опоки песком; д - накрывание полуформы пленкой и создание разрежения в полости формы; е - создание давления под моделью и извлечение модели из формы; ж - залитая металлом форма и затвердевание отливки; з - удаление отливки из формы.

Специальные машины. Примерами таких машин могут служить машины для формовки труб, уплотняющие смесь в опоках механическими трамбовками,

или машины, уплотняющие смесь шнеками. Такие машины применяют сравнительно редко.

По методу извлечения модели из формы машины подразделяют на следующие типы:

- со штифтовым подъемом опок;
- с протяжкой модели;
- с поворотной плитой;
- с перекидным столом.

4.1.2. Техничко-экономические показатели

Для литья в сырые песчано-глинистые формы классы размерной точности согласно ГОСТ 26645 – 85 (табл. 4.1) устанавливают в зависимости от габаритного размера, сплава отливки, влажности, прочности и степени уплотнения формовочной смеси в литейной форме.

Степени точности поверхностей отливки согласно ГОСТ 26645 – 85 даны в табл. 4.2.

Шероховатость поверхностей отливок (табл. 4.3) ГОСТ 26645 – 85 устанавливает в зависимости от степени точности поверхностей отливок.

Классы точности массы отливок (табл. 4.4) ГОСТ 26645 – 85 устанавливает в зависимости от типа сплава отливок, от влажности, прочности и степени уплотнения формовочной смеси в песчано-глинистой форме.

Припуски на обработку (на сторону) назначают дифференциального на каждую обрабатываемую поверхность детали согласно требований чертежа по шероховатости в соответствии с ГОСТ 26645- 85. Методика назначения припусков рассмотрена в разделе 3 настоящего пособия.

В учебной практике допускается устанавливать упрощенные способы (табл. 4.5) назначения припусков на обработку.

При крупносерийном и массовом производстве отливок получают литые отверстия диаметром свыше 20 мм, при серийном – свыше 30 мм и мелкосерийном и единичном – свыше 50 мм.

Обрабатываемые отверстия некруглого профиля выполняют литьем, если диаметры вписанных окружностей соответствуют приведенным выше нормам.

Выступы и выемки шириной более 25 мм и глубиной свыше 6 мм на мелких и средних отливках выполняют литьем.

Формовочно-литейные уклоны принимают равными от $0^{\circ} 45'$ до 2° . Значения уклона зависят от высоты части модели, а также от материала модели используемой для изготовления литейной формы.

При этом меньшие значения уклона вертикальных поверхностей отливок относятся к высоким и металлическим моделям, большие – к низким и деревянным моделям.

Таблица 4.1.

Классы размерной точности отливок.

Технологический процесс литья	Наибольший габаритный размер отливки, мм	Тип сплава			
		Цветные легкие не-термообработ. сплавы	Нетермообработ. черные и цвет. тугоплавк. сплавы и термообработ. цветн. легк. сплавы	Термообработ. чугунные и цветные тугоплавкие сплавы	Термообработ. стальные сплавы
Класс размерной точности					
Литье в песчано-глинистые сырые формы из низковлажных (до 2,8%) высокопрочных (более 160 кПА или 1,6 кг/см ²) смесей, с высоким однородным уплотнением до твердости не ниже 90 единиц.	До 100 Св 100 >> 250 >> 250>>- 630 >> 630 >>1600	5 – 7 6 – 11 _т 7 _т – 11 7 - 12	6 – 11 _т 7 _т – 11 7 – 12	7 _т – 11 7 – 12 8 – 13 _т 9 _т - 13	7 – 12 8 – 13 _т 9 _т – 13 9 - 13
Литье в песчано-глинистые сырые формы из смесей влажностью от 2,8 до 3,5% и прочностью от 120 до 160 кПА (от 1,2 до 1,6 кг/см ²), со средним уровнем уплотнения до твердости не ниже 80 единиц.	До 100 Св 100 >> 250 >> 250>>- 630 >> 630 >>1600	6 – 11 _т 7 _т – 11 7 – 12 8 – 13 _т	7 _т – 11 7 – 12 8 – 13 _т 9 _т - 13	7 – 12 8 – 13 _т 9 _т – 13 9 - 13	8 – 13 _т 9 _т – 13 9 – 13 10 - 14
Литье в песчано-глинистые сырые формы от 3,5 до 4,5% и прочностью от 60 до 120 кПА (от 0,6 до 1,2кг/см ²) с уровнем уплотнения до твердости не ниже 70 единиц.	До 100 Св 100 >> 250 >> 250>>- 630 >> 630 >>1600	7 _т – 11 7 – 12 8 – 13 _т 9 _т - 13	7 – 12 8 – 13 _т 9 _т – 13 9 - 13	8 – 13 _т 9 _т – 13 9 – 13 10 - 14	9 _т – 13 9 – 13 10 – 14 11 _т - 14

Примечания:

1. В таблице указаны диапазоны классов размерной точности отливок обеспечиваемых различными технологическими процессами литья. Меньшие их значения относятся к простым отливкам и условиям массового автоматизированного производства, большие – к сложным отливкам единичного и мелкосерийного производства, средние – к отливкам средней сложности и условиям механизированного серийного производства.

2. В табл. 4.1. к цветным легкоплавким сплавам отнесены сплавы с температурой плавления ниже 700°C (973 K), к цветным тугоплавким сплавам с температурой плавления выше 700°C (973 K).

3. В табл. 4.1. к легким отнесены сплавы с плотностью до 3 г/см^3 , к тяжелым – сплавы с плотностью свыше 3 г/см^3 .

4. Степень коробления элементов отливок (см. табл. 3.13) определяется в зависимости от типа сплава и отношения наименьшего размера элемента отливки к наибольшему (толщины или высоты к длине элемента отливки).

Таблица 4.2.

Степени точности поверхностей отливок.

Технологический процесс литья	Наибольший габаритный размер отливки, мм	Тип сплава			
		Цветные легкие не-термообработ. сплавы	Нетермообработ. черные и цвет. тугоплавк. сплавы и термообработ. цветн. легк. сплавы	Термообработ. чугуны и цветные тугоплавкие сплавы	Термообработ. стальные сплавы
	Степень точности поверхностей				
1	2	3	4	5	6
Литье в песчано-глинистые сырые формы из низковлажных (до 2,8%) высокопрочных (более 160 КПа или 1,6 кг/см²) смесей, с высоким однородным уплотнением до твердости не ниже 90 единиц. Литье в песчаные отвержденные, сухие или подсушенные формы, окрашенные покрытиями на водной основе, нанесенными пульверизацией или окунанием	До 100 Св 100 >> 250 >> 250 >> 630 >> 630 >> 1600	7 – 14 8 – 15 9 – 16 10 – 17	8 – 15 9 – 16 10 – 17 11 – 18	9 – 16 10 – 17 11 – 18 12 – 19	10 – 17 11 – 18 12 – 19 13 – 19

Продолжение табл. 4.2.

1	2	3	4	5	6
Литье в песчано-глинистые сырые формы из смесей влажностью от 2,8 до 3,5% и прочностью от 120 до 160 КПа (от 1,2 до 1,6 кг/см²), со средним уровнем уплотнения до твердости не ниже 80 единиц. Литье в песчаные отвержденные, сухие или подсушенные формы, окрашенные покрытиями на водной основе, нанесенными кистью или самовысыхающими покрытиями, нанесенными пульверизацией или окутанием.	До 100 Св 100 >> 250 >> 250>>- 630 >> 630 >>1600	8 – 15 9 – 16 10 – 17 11 – 18	9 – 16 10 – 17 11 – 18 12 – 19	10 – 17 11 – 18 12 – 19 13 – 19	11 – 18 12 – 19 13 – 19 14 – 20
Литье в песчано-глинистые сырые формы с влажностью от 3,5 до 4,5% и прочностью от 60 до 120 КПа (от 0,6 до 1,2 кг/см²) с уровнем уплотнения до твердости не ниже 70 единиц. Литье в песчаные отвержденные сухие или подсушенные формы, окрашенные самовысыхающими покрытиями, или самоотвердевающими покрытиями, нанесенными кистью.	До 100 Св 100 >> 250 >> 250>>- 630	9 – 10 10 – 17 11 – 18	10 – 17 10 – 17 12 – 19	11 – 18 11 – 18 13 – 19	12 – 19 12 – 19 14 – 20

Продолжение табл. 4.2.

1	2	3	4	5	6
Литье в песчано-глинистые сырые формы из высоковлажных (выше 4,5%) и низкопрочных (до 60 КПа или 0,6 кг/см²) смесей с низким уровнем уплотнения до твердости ниже 70 единиц. Литье в песчаные отверждаемые, сухие или подсушенные неокрашенные формы. Литье в формы из жидких самотвердеющих смесей.	До 100 Св 100 - 250 250 - 630 630 -1600	10 – 17 11 – 18 12 – 19 13 - 19	11 – 18 12 – 19 13 – 19 14 - 20	12 – 19 13 – 19 14 – 20 15 - 20	13 – 19 14 – 20 15 – 20 16 - 21
Примечание: В таблице указаны диапазоны степеней точности поверхности отливок, обеспечиваемых различными технологическими процессами литья. Меньшие из значений относятся к простым отливкам и условиям массового автоматизированного производства, большие – к сложным отливкам единичного и мелкосерийного производства, средние – к отливкам средней сложности к условиям механизированного серийного производства.					

Таблица 4.3.

Шероховатость поверхностей отливок.

Шероховатость поверхности	Значение шероховатости для степеней точности поверхности отливок												
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Среднее арифметическое отклонение профиля R_a , мкм, не более	10,0	12,5	16,0	20,0	25,0	32,0	40,0	50,0	63,0	80,0	100	--	--
Высота неровностей профиля R_z , мкм, не более	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	500	630

Таблица 4.4.

Классы точности массы отливок

Технологический процесс литья	Номинальная масса отливки, кг	Тип сплава			
		Цветные легкие не-термообрабатываемые сплавы	Нетермообрабатываемые черные и цвет. тугоплавкие сплавы и термообработ. цветн. легкие сплавы	Термообрабатываемые чугуны и цветные тугоплавкие сплавы	Термообрабатываемые стальные сплавы
1	2	3	4	5	6
Класс точности массы отливки					
Литье в песчано-глинистые сырые формы из низковлажных (до 2,8%), высокопрочных (более 160 кПа или 1,61,6кг/см ²) смесей с высоким однородным уплотнением до твердости не ниже 90 единиц.	До 1,0 Св. 1,0 >> 10 >> 10 >> 100 >> 100 >> 1000	4 – 11 5т – 12 5 – 13т 6 - 13	5т – 12 5 – 13т 6 – 13 7т - 14	5 – 13т 6 – 13 7т – 14 7 - 15	6 – 13 7т – 14 7 – 15 8 - 15

Продолжение табл. 4.4.

1	2	3	4	5	6
Литье в песчано-глинистые формы из смесей с влажностью от 2,8 до 3,5%, прочностью от 120 до 160 КПа (от 1,2 – 1,6 кг/см ²), со средним уровнем уплотнения до твердости не ниже 80 единиц.	До 1,0 Св. 1,0 >> 10 >> 10 >> 100 >> 100 >> 1000	5т – 12 6 – 13т 6 – 13 7т – 14	5 – 13т 6 – 13 7т – 14 7 – 15	6 – 13 7т – 14 7 – 15 8 – 15	7т – 14 7 – 15 8 – 15 9т – 15
Литье в песчано-глинистые сырые формы из смесей с влажностью от 3,5 до 4,5% и прочностью от 60 до 120 КПа (от 0,6 до 1,2 кгс/см ²) с уровнем уплотнения до твердости не ниже 70 единиц. Литье в песчано-глинистые подсушенные и сухие формы. Литье в формы из жидких самотвердеющих смесей.	До 1,0 Св. 1,0 >> 10 >> 10 >> 100 >> 100 >> 1000	5 – 13т 6 – 13 7т – 14 7 – 15	6 – 13 7т – 14 7 – 15 8 – 15	7т – 14 7 – 15 8 – 15 9т – 16	7 – 15 8 – 15 9т – 16 9 – 16
Литье в песчано-глинистые сырые формы из высоковлажных (более 4,5%) низкопрочных (до 60 КПа или 0,6 кгс/см ²) смесей с низким уровнем уплотнения до твердости не ниже 70 единиц.	До 1,0 Св. 1,0 >> 10 >> 10 >> 100	6 – 13 7т – 14 7 – 15	7т – 14 7 – 15 8 – 15	7 – 15 8 – 15 9т – 16	8 – 15 9т – 16 9 – 16
Примечание: В таблице указаны диапазоны классов точности массы отливок, обеспечиваемых различными технологическими процессами литья. Меньшие их значение относятся к простым компактным отливкам и условиям массового автоматизированного производства, большие – к сложным крупногабаритным отливкам единичного и мелкосерийного производства, средние – к отливкам средней сложности и условиям механизированного серийного производства.					

Таблица 4.5.

Общий припуск мм, на сторону обрабатываемой поверхности.

Сплав	Наибольш. Габарит- ный раз- мер, мм	Припуски при номинальном размере отливки, мм				
		До 50	50-120	120-250	250-500	500-800
Чугун	До 120	2,0-4,0	2,5-4,5	-	-	-
	120-260	2,5-4,5	3,0-5	3,0-5,5	-	-
	260-500	3,5-5,0	3,5-5,5	4,0-6,0	4,5-6,5	-
	500-800	4-6,5	4,5-7,0	4,5-6,5	5,0-7,0	5,5-8,5
Сталь	До 120	3,0-4,5	4-5,0	-	-	-
	120-260	3,5-5,0	4,5-5,5	5,0-5,5	-	-
	260-500	3,5-5,5	4,5-6,0	6,0-6,5	6,5-7,0	-
	500-800	4,0-5,0	4,5-6,5	6,5-7,5	7,0-8,5	7,0-9,5
Цветные	До 120	2,0-4,0	-	-	-	-
	120-260	2,5-3,5	2,5-4,0	-	-	-
	260-500	3,0-4,0	3,0-4,0	4,0-5,0	-	-
	500-800	3,0-4,5	3,5-5,0	4,0-5,5	4,5-6,0	-
Примечание: наименьшее значение припуска выбирают при массовом и крупносерийном производстве и при изготовлении отливок повышенной точности. Для нижних и боковых поверхностей отливки при ее заливке значение припуска должно быть меньшим по сравнению с верхним поверхностям отливки.						

При проектировании литых деталей, изготавливаемых литьем в песчано-глинистые формы, переходы с одной поверхности конструкции на другую оформляются в виде галтелей с минимальными радиусами скруглений от 2 до 5 мм. Если отношение толщин стенок конструкции превышает 1 : 2, то переходы оформляют клинообразным сечением стенок.

Оптовые цены на отливки принимаются по данным базового предприятия, где студент проходит практику. При отсутствии данных, можно воспользоваться ценами (табл. 3.20) ориентировочной стоимости литья изготавливаемого литьем в песчано-глинистых формах.

Контрольные вопросы

1. Из каких элементов состоит разовая песчано-глинистая форма?
2. Как осуществляется ручная формовка в песчано-глинистые формы?
3. Какие типы формовочных машин применяются при машинной формовке, в чем их преимущества, недостатки и область применения?
4. Каковы технико-экономические показатели литья в разовые песчано-глинистые формы?
5. Для получения каких отливок применяется литье в разовые песчано-глинистые формы?

4. 2. Литье в оболочковые формы

4. 2. 1. Сущность и особенность процесса

Доктор технических наук Н. Н. Рубцов неоднократно высказывал мысль о том, что обычная песчано-глинистая форма состоит из двух частей: внутреннего облицовочного слоя, как бы оболочки, и внешнего наполнительного слоя, фиксирующего положение этой оболочки в форме.

Современная технология изготовления оболочковых форм позволяет во многих случаях освободиться от наполнительного слоя, что достигается использованием песчано-смоляных смесей, которые обеспечивают предел прочности оболочек на разрыв не менее 0,8...1,0 МПа в горячем состоянии и не менее 3,0 МПа в холодном состоянии, отвержденных при 543 К (270°C) в течение трех минут.

Изготовленные из песчано-смоляной термотвердеющей формовочной смеси относительно тонкостенные (оболочковые) формы заливают металлом в горизонтальном либо вертикальном положениях, в свободном или заформованном состоянии (заливка без опорного слоя и с опорным слоем соответственно).

Оболочковую форму собирают, как правило, из двух скрепленных полуформ, полученных отверждением сыпучей смеси в контакте с нагретой оснасткой, при использовании гравитационного или пескодувного методов формообразования.

Первый заключается в том, что на предварительно нагретую и горизонтально расположенную модельную плиту 1 (рис. 4.3) с моделями 5, опрокидыванием бункера 3 наносят относительно толстый слой смеси 4, выдерживают смесь в контакте с оснасткой в течение времени, необходимого для прогрева слоя смеси и формообразования оболочки 2 заданной толщины, сбрасывают поворотом бункера (позиция б) излишек неотвердевшей смеси, доотверждают оболочку и, наконец, снимают оболочку с оснастки (позиция в), с помощью плиты толкателей 6 и толкателей 7.

Второй заключается в том, что во внутреннюю полость предварительно нагретой оснастки вдувают смесь и затем выполняют операции, аналогичные гравитационному формообразованию.

При необходимости в процессе литья в оболочковые формы используют стержни, изготавливаемые теми же методами, что и оболочковые формы.

Технологический процесс литья в оболочковые формы показан [22] на принципиальной схеме, (рис. 4.4). Необходимость выполнения отдельных технологических операций определяется конкретными требованиями к отливке и условиям производства (операции изготовления стержней, формовки в опорном слое, термической обработки отливок и другие).

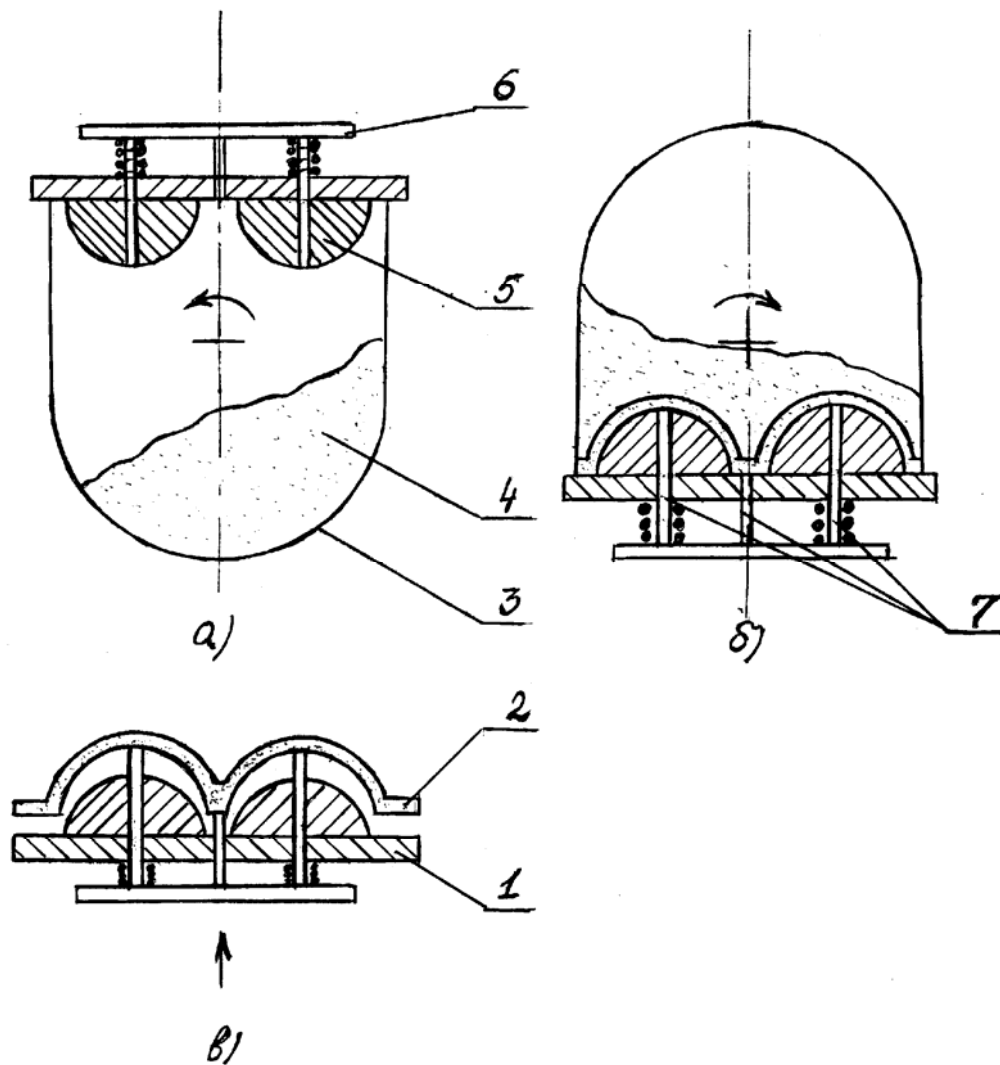


Рис. 4.3. Схема изготовления оболочковых полуформ.

1 - подмодельная плита, 2 - оболочка, 3 - бункер, 4 - песчано-смоляная смесь, 5 - модель, 6 - плита толкателей, 7 - толкатели.

При литье в оболочковую форму применяют все марки литейных сплавов, их механические свойства и химический состав должны удовлетворять требованиям соответствующих стандартов.

Металл для заливки оболочковых форм изготавливают в плавильных агрегатах общего назначения.

Температура металла при заливке оболочковой формы может быть снижена на 20...40°C по сравнению с температурой заливки песчано-глинистой литейной формы.

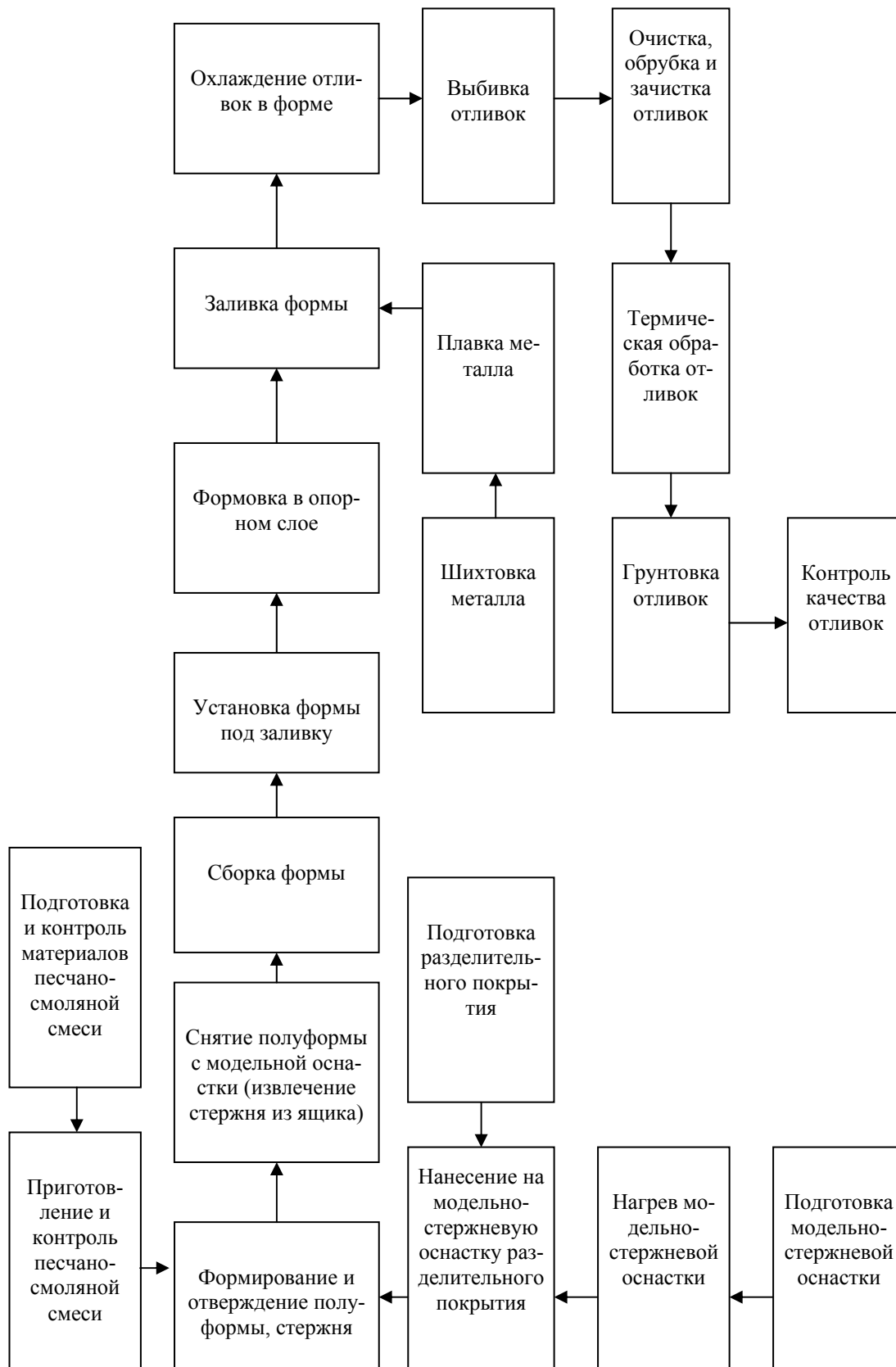


Рис. 4.4. Принципиальная схема процесса литья в оболочковые формы.

В оболочковой форме получают отливки из черных и цветных сплавов массой 0,1...50 кг, а в отдельных случаях массой 150...200 кг и более. Отливки имеют плотный металл с повышенными механическими свойствами по сравнению с литьем в песчано-глинистые формы.

Литье в оболочковую форму используют обычно в условиях серийного и массового производства отливок ответственного исполнения, которые не удается получать качественными в сырых объемных формах. Благодаря хорошим свойствам оболочковых форм и стержней, при их четком выполнении брак отливок снижается в среднем в 1,5...2 раза.

Целесообразность применения литья в оболочковую форму определяется сравнением себестоимости получения отливки при данном способе с ее себестоимостью при использовании других технологических процессов. При массовом производстве стоимость отливок равна, а в некоторых случаях и меньше стоимости отливок, получаемых в песчано-глинистых формах (табл. 3.20).

Экономически оправданный размер партии отливок определяют в зависимости от освоенности процесса. При освоенном производстве наименьший размер партии обычно составляет 400...500 отливок. Наиболее рационально переводить на литье в оболочковые формы отливки массового и крупносерийного производства при максимальной механизации и автоматизации, что значительно удешевляет процесс.

4. 2. 2. Техничко-экономические показатели процесса

Повышенная точность и низкая шероховатость отливок одно из основных преимуществ литья в оболочковые формы.

Классы точности размеров, масс и ряды припусков на механическую обработку отливок, получаемых в оболочковых формах, принимаются по ГОСТ 26645-85 и должны соответствовать приведенным в табл. 4.6.

Шероховатость поверхности отливки определяется параметром:

$R_a=20,0\div5,0$ мкм при габаритных размерах да 100 мм и толщине стенки до 20 мм;

при габаритных размерах более 100 мм и толщине стенки более 20 мм $R_a=40,0\div20,0$ мкм.

Степень коробления элементов отливки (смотри табл. 3.13) согласно ГОСТ 26645-85 определяется в зависимости от типа сплава и отношения наименьшего размера элемента отливки к наибольшему (толщины или высоты к длине).

Степень точности поверхностей отливок согласно ГОСТ 26645-85 даны в табл. 3.7.

Высокие показатели точности и низкая шероховатость поверхностей отливок позволяют назначать небольшие припуски на механическую обработку, вплоть до 0,25...0,15 мм, т. е. возможно в ряде случаев применение шлифования.

Таблица 4.6.

Классы точности размеров, масс и ряды припусков на механическую обработку.

Наибольший габаритный размер, мм	Типы сплава		
	Цветной с температурой плавления ниже 700°C	Цветной с температурой плавления выше 700°C, серый чугун	Ковкий высокопрочный легированный чугун, сталь
До 100	$\frac{4-9}{1-2}$	$\frac{5T-10}{1-3}$	$\frac{5-11T}{1-3}$
100-630	$\frac{5T-10}{1-3}$	$\frac{5-11T}{1-3}$	$\frac{6-11}{2-4}$
Св. 630	$\frac{5-11T}{1-3}$	$\frac{6-11}{2-4}$	$\frac{7T-12}{2-5}$
Примечание: В числителе указаны классы точности размеров и масс, в знаменателе - ряды припусков. Меньшие значения относятся к простым отливкам и условиям массового автоматизированного производства; большие - к сложным мелкосерийного и индивидуального производства; средние - к отливкам средней сложности и условиям механизированного серийного производства.			

Припуски назначают на каждую обрабатываемую поверхность детали в соответствии с ГОСТ 26645-85. Ориентировочные значения припуска даны в таблице 4.8.

При конструировании наименьшую толщину стенки отливки принимают в соответствии с табл. 2.4. Поверхность отливки, перпендикулярная к плоскости разъема формы, должна иметь уклон, обеспечивающий съем оболочки с модели. Минимальные уклоны на внутренних и наружных поверхностях отливок, которые не подвергаются механической обработке, принимают равными $0^\circ 18'$, оптимальные - $0^\circ 30'$. Радиусы галтелей r между сопрягаемыми стенками выполняют не менее 1...2 мм. Переход между стенками различной толщины осуществляют плавно: длина переходной зоны L в отливках из чугуна и цветного сплава, а также стали, должна удовлетворять условиям $L \geq 4(a-b)$ и $L \geq 5(a-b)$ соответственно, где a, b - толщины сопрягаемых стенок.

Угловое сопряжение стенок оформляют так, как показано на рис. 2.7. Сопряжения нескольких стенок выполняют с разгрузкой теплового узла, например так, как показано на рис. 2.2. раздела 2 настоящего пособия.

Таблица 4.7.

Степени точности поверхностей отливок.

Технологический процесс литья	Наибольший габаритный размер отливки, мм	Тип сплава			
		Цветные легкие не-термообрабатываемые сплавы	Нетермообрабатываемые черные и цветные тугоплавкие сплавы и термообрабатываемые цветные и легкие сплавы	Термообрабатываемые чугуны и цветные тугоплавкие сплавы	Термообрабатываемые стальные сплавы
		Степень точности поверхностей			
Литье в оболочковые формы из термореактивных смесей	До 100	6-12	7-13	8-14	9-15
	Св. 100-250	7-13	8-14	9-15	10-16
	Св. 250-630	8-14	9-15	10-16	11-17
Примечание: Меньшие значения степеней точности поверхностей отливок относятся к простым отливкам и условиям массового автоматизированного производства, большие - к сложным отливкам единичного и мелкосерийного производства, средние - к отливкам средней сложности и условиям механизированного серийного производства.					

Таблица 4.8.

Ориентировочные значения припуска, мм на механическую обработку.

Наибольший габаритный размер отливки, мм	Припуск при номинальном размере, мм			
	До 40 мм	Свыше 40 до 100	Свыше 100 до 250	Свыше 250 до 500
До 120	0,3	0,75-1,0	-	-
Св. 20 до 260	0,5	1,2-1,5	1,5-1,75	-
Св. 260 до 500	0,5-0,7	1,5-2,0	2,0-2,2	2,2-2,5
Примечание: наибольшие значения припусков для поверхностей, расположенных при заливке сверху; наименьшие - для боковых и нижних поверхностей.				

Минимальный диаметр d отверстия, получаемого с помощью стержня, равен 6...10 мм при длине несквозного отверстия до $5d$ и сквозного отверстия до $10d$. Стержень, длина которого более чем в два раза больше диаметра, целесообразно крепить в форме двусторонними знаками.

При разработке технологического процесса на чертеже отливки указывают: поверхность разъема формы, припуски на механическую обработку, технологические приливы и напуски, формовочные уклоны; в технических требованиях чертежа отливки должны быть указаны нормы точности отливки согласно ГОСТ 26645-85. Их приводят в следующем порядке: класс размерной точности, степень коробления, степень точности поверхностей, класс точности массы и допуск смещения отливки. В комплект технологической оснастки для литья в

оболочковые формы входят: модельные плиты, модели отливок, модели литниково-питающей системы, модели вспомогательных элементов (выступов и впадин для нанесения клея, вентиляционных каналов, фиксаторов и другие.); толкатели, фиксаторы, окантовочные рамки, разделительные ножи (при одновременном изготовлении на одной модельной плите нескольких оболочек); стержневые ящики, специальные мерительный инструмент и приспособления. Для упрощения операции засыпки оболочки опорным материалом целесообразно при заливке металлом располагать ее вертикально. Заливка оболочки при горизонтальном ее расположении требует применения стояка относительно большого диаметра (50...80 мм), либо установки литниковой чаши. Конструкцию и размеры литниковой системы для литья чугуна в условиях серийного и массового производства выбирают по МН 2422-62 и МН 2448-61 "Системы литниковые для чугуна в оболочковые формы". При конструировании литниково-питающей системы для отливок других сплавов руководствуются теми же принципами, что и при литье в песчано-глинистую форму. Разработка технологической документации ведется согласно ГОСТ 3.1119-83, ГОСТ 1401-85 и ОСТ 2 1102-17-88.

При конструировании оснастки:

Предельные отклонения от плоскости модельной плиты назначаются по десятой степени точности (ГОСТ 24643-81).

Шероховатость рабочей поверхности модельной плиты должна соответствовать $R_a=2,5\div0,63$ мкм по ГОСТ 2789-73.

При выборе и расчете толщины стенки модельной плиты учитывают необходимость равномерной передачи теплоты всем элементам модели, минимальная толщина модельной плиты – 25 мм.

Шероховатость поверхности модели должна соответствовать $R_a=1,25\div0,63$ мкм по ГОСТ 2789-73.

Точность изготовления моделей – 8-11 квалитет по ОСТ 2Н31-76.

Уклоны на знаковых частях моделей назначаются от 3 до 5°.

При проектировании моделей должен предусматриваться дополнительный припуск на доводку размеров (после обмера опытной партии отливок) в ходе освоения технологии.

Рекомендуемые расстояния между моделями и элементами оснастки приведены в табл. 4.9.

Таблица 4.9.

Расстояния между моделями и элементами оснастки.

Масса отливки, кг	Расстояние между элементами модельной оснастки, мм			
	Расстояние между моделями		Между моделью и стояком	
	При горизонтальной заливке	При вертикальной заливке	При горизонтальной заливке	При вертикальной заливке
До 0,5	10-15	15-25	20-30	25-35
Свыше 0,5 до 1,5	15-35	25-40		
Свыше 1,5 до 5,0	35-40	40-50		
Свыше 5,0	50	50		

Модели сложной конфигурации рекомендуется расчленять на отдельные элементы для упрощения изготовления.

Модели, рабочая поверхность которых находится ниже плоскости разъема, могут быть врезаны в модельную плиту.

Модели крепятся к модельной плите при помощи болтов, винтов и заклепок. Модели фиксируются штифтами.

Количество толкателей модельной плиты рассчитывается по формуле:

$$N = K \frac{F}{100} \quad (4.1)$$

где K - коэффициент (для моделей простой конфигурации $K=1\div 1,5$; для моделей сложной конфигурации с глубокими карманами $K=1,5\div 2,0$);

F - площадь поверхности полуформы, см^2 .

Расстояние между толкателями, расположенными на плоских поверхностях: 50...120 мм.

Диаметр толкателя не должен быть менее 10 мм; зазор между отверстием в модельной плите и толкателем принимают равным 0,3...0,4 мм.

Не рекомендуется устанавливать толкатели на базовых поверхностях отливок.

Точность изготовления стержневых ящиков: 8-11, качество по ОСТ 21-131-2-76.

Шероховатость оформляющих поверхностей ящика должна быть не выше $R_a=0,2\div 0,8$ мкм по ГОСТ 2789-73. Прочие поверхности ящиков обрабатывают согласно данным, приведенным в табл. 3.10.

Таблица 4.10.

Шероховатость поверхностей стержневых ящиков.

Поверхность	R_a , мкм
Разъем ящика и соединений отъемных частей	1,6
Установочные	3,2
Рабочие: фиксирующих штырей и втулок толкателей	0,8
замков, эксцентриков и других элементов	1,6
	1,6

Толщину стенок стержневого ящика S выбирают в зависимости от среднего габаритного размера стержневого ящика (табл. 4.11).

$$S = \frac{L + B}{2}, \quad (4.2.)$$

где L - длина ящика, мм; B - ширина ящика, мм.

Половины стержневого ящика фиксируются нерегулируемыми штырями (ГОСТ 19 402-74).

Таблица 4.11.

Оптимальная толщина стенки стержневого ящика, мм.

Средний габаритный размер ящика	Оптимальная толщина стенки
До 300	12-15
Свыше 300 до 500	15-20
Свыше 500	20-30

При пескодувном способе изготовления стержней в стержневых ящиках должны быть предусмотрены вдувные отверстия и средства для вентиляции. Диаметр вдувных отверстий принимают равным от 8 до 12 мм, учитывая, что увеличение диаметра отверстий способствует равномерному распределению стержневой смеси по горизонтальной плоскости ящика и не снижает ее уплотнение. При изготовлении стержней особо малых поперечных сечений диаметр вдувных отверстий может быть уменьшен до 6 мм.

При пескодувном способе изготовления стержней в верхних закрытых частях стержневых ящиков следует предусматривать вентиляционные каналы. Расчет суммарного сечения вентиляционных каналов производят по выражению:

$$\frac{\sum F_1}{\sum F_2} = 0,2 \div 0,4, \quad (4.3)$$

где $\sum F_1$ - суммарная площадь сечений вентиляционных отверстий, мм;

$\sum F_2$ - суммарная площадь сечения вдувных отверстий, мм².

Толкатели стержневых ящиков, конструкция которых аналогична конструкции толкателей, применяемых для модельных плит, располагают в узких и глубоких полостях.

Материалы, рекомендуемые для изготовления технологической оснастки, приведены в табл. 4.12.

Контрольные вопросы

1. Как осуществляется литье в оболочковые формы?
2. Каковы технико-экономические показатели литья в оболочковые формы?
3. Для получения каких отливок применяется литье в оболочковые формы?

4.3. Литье по выплавляемым моделям

4.3.1. Сущность и особенности процесса

При литье по выплавляемым моделям форма представляет собой неразъемную керамическую огнеупорную оболочку, которая формируется из жидких формовочных смесей вокруг разовых неразъемных моделей. Затем модели

удаляют из формы: выплавляют, растворяют или выжигают. Удаление остатков модельного состава и упрочнение оболочки достигается прокаливанием формы при высокой температуре. Заполнению тонких и сложных по конфигурации полостей формы способствует ее нагрев перед заливкой.

Таблица 4.12.

Материалы для изготовления оснастки.

Элемент оснастки	Материал	Область применения
Модели и стержневые ящики	Сч 15, Сч 18, Сч 20 (ГОСТ 1412-85). Специальный чугуны: 3,2-3,4%С; 2,2-2,6%Si; 0,77-0,88%Mn; 0,40-0,47%P; 0,01-0,02%S; 2,5-3,5%Ni; 0,5-0,6%Cr.	Крупносерийное и массовое производство отливок
	Ст 3(ГОСТ 380-71) Ст 15Л-25Л (ГОСТ 977-88)	Небольшие модели, отдельные вставки в модели
	Сталь 5ХНМ(ГОСТ 977-88), Сталь 40Х(ГОСТ 977-88), бронза(ГОСТ 613-79), бериллиевая медь: 2-2,5%Be, 0,25-0,5%Ni, 0,1%Fe, остальное – Cu.	Крупносерийное и массовое производство отливок особо сложной конструкции
	АЛ 24, АЛ 26, АЛ 27, АЛ 28(ГОСТ 2685-81), специальный алюминиевый сплав: 3,5-4,5%Cu, 0,75%Si, 1,2-1,8%Mg, 1,7-2,3%Ni, 1,3%Fe, 0,1%Mn, остальное – Al.	Мелкосерийное и опытное производство отливок, к которым не предъявляются повышенные по точности размеров и по шероховатости поверхности.
Модельные плиты	Сч 15, Сч 18, Сч 20(ГОСТ 1412-85), специальный чугуны (смотри выше).	Модельные плиты небольших размеров.
	Ст 3(ГОСТ 380-71), Сталь 45(ГОСТ 1050-74).	Модельные плиты небольших размеров.
Толкатели	Сталь 30ХГС (ГОСТ 45-43-71), Сталь 40Х(ГОСТ 45-43-71), Сталь У8А (ГОСТ 1435-74),	Модельные и стержневые комплекты в различных условиях производства.
Прочие элементы	Сталь 60С2ХФА (ГОСТ 14 959-79), Сталь 45(ГОСТ 1050-74).	

Модели получают из легко расплавляющихся, сгорающих или растворяющихся материалов. Наиболее часто применяют модельные составы на основе парафина и стеарина, а также церезина, воска и других компонентов, которые относительно легкоплавки ($t_{пл}=50\ldots 100^{\circ}\text{C}$). В то же время, температура их размягчения превышает температуру помещений. Растворяемые модели получают из составов на основе карбамида, азотокислых и других водорастворимых солей, выжигаемые - из полистирола, а испаряемые – из сухого льда и других материалов.

Выплавляемую модель (рис. 4.5, а) отливки 1 получают [23] путем заполнения металлической пресс-формы 2 жидким или пастообразным модельным составом. В первом случае пресс-форму заполняют свободной заливкой или

под давлением, во втором – запрессовкой твердожидкого состава, смешанного с 8...20% воздуха, в пресс-формах модельный состав затвердевает и остывает. Затем модели отливок извлекают и соединяют с отдельно изготовленными выплавляемыми моделями литниково-питающей системы 4 в блок (рис. 4.5, б). Модели, полученные в пресс-формах, припаивают паяльником 5. В многоместных пресс-формах получают звенья из нескольких моделей, которые связаны друг с другом общей втулкой. При сборе модель литниковой воронки и звенья моделей насаживают на металлический каркас. В блоке моделей втулки, надетые на каркас, образуют стояк. Модели литниковой воронки изготавливают в отдельной пресс-форме. Литниковая система при литье по выплавляемым моделям служит не только для заполнения полости формы расплавом, но и для питания затвердевающей отливки. Металл подводят в наиболее массивные части отливок.

Для получения оболочковой формы модельный блок окунают в огнеупорную суспензию (рис. 4.5, в) и обсыпают песком в псевдооживленном слое (рис. 4.5, г) или пескосыпе. Полученное огнеупорное покрытие отвердевают путем сушки на воздухе (рис. 4.5, д) или в парах аммиака. Затем на блок наносят таким же образом второй и последующий слой. Первый слой обсыпают песком, размер частиц которого 0,2...0,315 мм; последующие слои – крупнозернистым песком.

Обычно оболочковую форму получают четырех – шестикратным нанесением огнеупорного покрытия. При изготовлении крупных отливок на модельном блоке формируют более 12 слоев. После сушки последнего модель выплавляют в горячей воде или расплаве модельной массы (рис. 4.5, е). Затем оболочковую форму подсушивают на воздухе (рис. 4.5, ж). Перед заливкой жидким металлом оболочку засыпают в опоке (рис. 4.5, з) опорным наполнителем (обычно кварцевым песком) и обжигают в печи при 800...1100⁰С (рис. 4.5, и) для удаления остатков модельной массы, влаги, продуктов неполного гидролиза, а также для упрочнения оболочки спеканием. В массовом производстве оболочки заформовывают горячим опорным наполнителем после их предварительного обжига. Толстостенные оболочковые формы заливают без опорного наполнителя.

Жидкий металл заливают в горячую или охлажденную оболочковую форму (рис. 4.5, к). Ее температура при заливке стали и чугуна составляет 800...900⁰С, сплавов на основе никеля – 900...1000⁰С, меди – 600...700⁰С, алюминия и магния – 200...250⁰С.

После охлаждения отливок их выбивают из формы на решетках. Опорный наполнитель просыпается через решетку, а блок отливок (рис. 4.5, л) после дальнейшего охлаждения подвергают предварительной очистке на вибрационных установках.

При изготовлении мелких отливок операция предварительной очистки совмещается с операцией отделения литниковых систем. Под действием вибрации отливки отделяются от стояка по наиболее тонкому сечению – месту пережима питателя. Литниковые системы крупных отливок отделяют на металло-режущих станках и прессах, газопламенной и анодно-механической резкой.

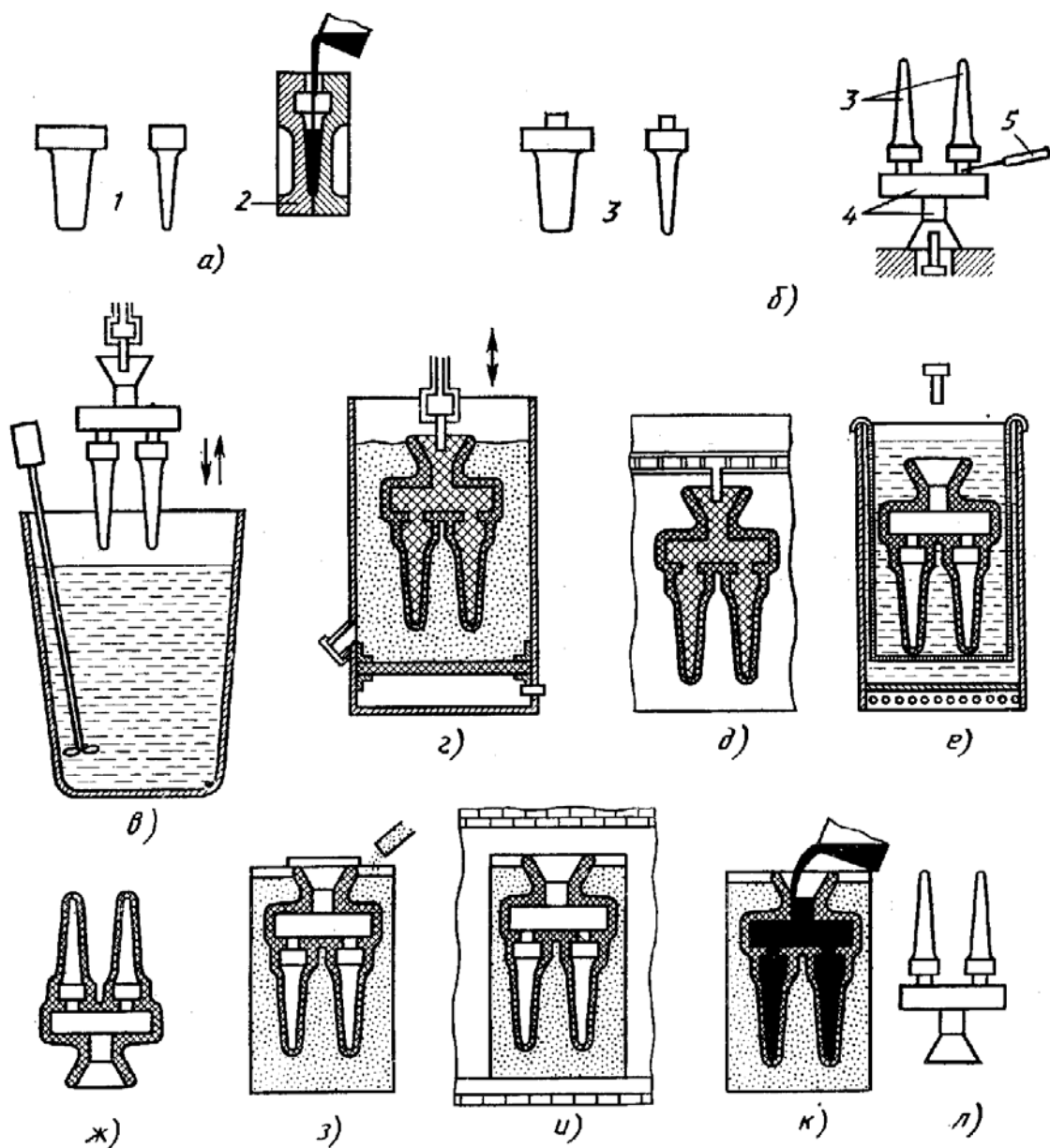


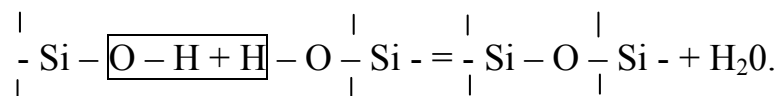
Рис. 4.5. Схема процесса изготовления отливок по выплавляемым моделям.

При предварительной очистке и отделении отливок оболочка удаляется с наружных поверхностей отливок, но она прочно удерживается в отверстиях и поднутрениях. Остатки керамической оболочки, составляющей до 10% от первоначального количества, удаляют при окончательной очистке. Для этого применяют обычные механические методы, а также химическую очистку в щелочной среде. Стальные и чугунные отливки выщелачивают в 45...55% - ных водных растворах $NaOH$ или KOH , нагретых до $150^{\circ}C$, или в расплавах щелочей при $500^{\circ}C$. Керамическая оболочка разрушается за счет взаимодействия SiO_2 со щелочью, образуя силикаты натрия или калия. Для интенсификации процесса выщелачивание совмещают с механической очисткой во вращающихся галтовочных барабанах. После выщелачивания отливки промывают в горячей воде,

затем пассивируют в водном растворе соды и сушат. При необходимости очищенные отливки подвергают термической обработке в печах с защитной атмосферой. Дальнейшую финишную обработку отливок осуществляют методами механической обработки.

Основными компонентами огнеупорной суспензии являются жидкий связующий раствор и тугоплавкий наполнитель. В качестве связующего используют гидролизированный раствор этилсиликата (ЭТС). Последний представляет собой смесь эфиров кремниевых кислот, которые описываются общей формулой $(C_2H_5O)_{2n+2}Si_nO_{n+1}$, где $n = 1, 2, 3, \dots$. ЭТС и вода не растворяются, друг в друге, поэтому реакция гидролиза протекает на границе их раздела. Для ускорения гидролиза ЭТС и воду смешивают в быстроходных мешалках с целью диспергирования ЭТС на мельчайшие капли и увеличения поверхности его раздела с водой, на которой протекает реакция гидролиза. При использовании спирта или ацетона, в которых растворяются и ЭТС и вода, реакция гидролиза идет по всему объему, поэтому допустимо менее интенсивное перемешивание. Для ускорения гидролиза вводят катализатор HCl .

При гидролизе этоксильные группы C_2H_5O частично замещаются гидроксильными. Этот процесс сопровождается поликонденсацией – укреплением молекул. Сшивка более простых молекул в сложные с образованием линейных и сетчатых структур происходит через гидроксильные группы:



При гидролизе малым количеством воды связывающий раствор имеет свойства кремнийорганического полимера. Он отверждается в атмосфере влажного аммиака; при этом завершается реакция гидролиза, этоксильные группы полностью замещаются гидроксильными с образованием поликремневых кислот $n SiO_2(n+1) H_2O$. Рост этих молекул приводит к увеличению вязкости раствора и образованию силикозоли. При высушивании и обжиге она сначала превращается в гель, а затем в твердый кремнезем SiO_2 . Выход SiO_2 из исходного ЭТС марки 40 составляет 40%, а из связывающего раствора должно быть ниже 12 – 16%. Поэтому требуемую концентрацию SiO_2 получают при разбавлении связующего раствора в процессе гидролиза или после него органическими растворителями (спиртом, ацетоном) или водой.

С увеличением расхода воды на гидролиз возрастает доля этоксильных групп, замещенных гидроксильными на этапе приготовления связывающего раствора, поэтому при большом расходе воды сразу образуются золи кремниевых кислот. Такое связующее отличается малой живучестью, оно быстро отверждается на воздухе при незначительной влажности.

Огнеупорную суспензию готовят двумя способами. По первому (раздельному) способу вначале получают связывающий раствор, а затем в него добавляют тугоплавкий наполнитель и перемешивают в течение 40...60 мин. По второму (совмещенному) способу связывающий раствор и суспензию готовят одновременно в одном реакторе. В качестве тугоплавкого наполнителя использу-

ют пылевидный кварц или электрокорунд. Их расход составляет соответственно 2,4...2,7 и 2,6...3 кг на 1 кг связывающего раствора.

4.3.2. Техничко-экономические показатели процесса ЛВМ

Применение способа литья по выплавляемым моделям (ЛВМ) обеспечивает возможность изготовления из любых литейных сплавов фасонных отливок, в том числе сложных по конфигурации и тонкостенных, с шероховатостью поверхности от $R_z=20$ мкм до $R_a=1,25$ мкм (ГОСТ 2789-73) и повышенной точностью размеров (до 8-10-го квалитетов по ГОСТ 25347-82 или до 3 – 5 –го классов точности по ГОСТ 26645-85).

С помощью ЛВМ получают отливки, максимально приближенные по форме и размерам к готовой детали, а в ряде случаев не нуждающиеся в обработке резанием. В результате значительно снижающихся трудоемкости и стоимости изготовления изделий, сокращается расход металла и инструмента, потребность в производственных площадях, станочном оборудовании и приспособлениях, уменьшаются энергоемкость производства, а также потребность в рабочих-станочниках высокой квалификации.

Применение ЛВМ позволяет проектировать сложные тонкостенные детали (с толщиной стенки 1 мм и меньше), объединять отдельные детали в компактные цельнолитые узлы, уменьшая массу и габаритные размеры изделий, создавать конструкции (например, охлаждаемые лопатки ГТД со сложными лабиринтными полостями газового тракта), невыполнимыми какими-либо другими методами обработки.

Применение высокоогнеупорных и термостойких материалов для изготовления оболочек форм, пригодных для нагрева до температуры, превышающей температуру плавления литейного сплава, и быстрого охлаждения без деформации и разрушения, позволяет эффективно использовать методы направленной кристаллизации, получать высоко герметичные отливки массой до 300 кг, формировать транскристаллическую структуру и получать монокристаллические изделия.

ЛВМ используют в различных отраслях машиностроения и приборостроения, особенно в таких, как производство летательных аппаратов, автомобилей, сельскохозяйственных машин, электронных приборов, гидромашин, различных видов военной техники. Это определяется гибкостью технологии ЛВМ, многочисленностью вариантов. Каждый из этих вариантов наиболее эффективен в определенных условиях производства, при разных его масштабах и требованиях к качеству отливок.

Основным требованием к технологии ЛВМ является получение отливок с минимальными затратами на их изготовление, включая последующую обработку резанием. Поэтому при принятии решения об изготовлении той или иной детали литьем по выплавляемым моделям или при переводе на этот вид литья деталей, ранее изготавливающихся из поковок, штамповок или проката, необходимо оценить технологичность отливки, т.е. возможность при минимальных за-

тратах изготовить отливку с высокими (заданными) показателями по точности, шероховатости и структурно-механическим свойствам.

Точность размеров отливок оценивают обычно по отклонению действительного размера от номинального, т.е. по полным полям рассеяния размеров, зависящим от допусков на размеры полости пресс-форм, колебания усадки модельной композиции и расплава металла, свойств оболочки формы.

Погрешности подразделяют на систематические и случайные. К первым относятся погрешности изготовления пресс-форм (допуски на размеры их рабочих полостей должны соответствовать 8-10-му квалитетам по ГОСТ 25347-82), ко вторым погрешности, вызванные колебаниями усадки модельных композиций и металла отливки, объемными изменениями покрытия модели и оболочки формы в процессе их изготовления и эксплуатации. Суммируя систематические и случайные погрешности, вычисляют полные поля рассеивания [24].

В соответствии с ГОСТ 26645-85 для ЛВМ допуск соответствует 3-8-му классам точности (табл. 4.13).

Шероховатость поверхности отливок, изготавливаемых ЛВМ, зависит от шероховатости поверхности оснастки и моделей, размеров частиц формообразующих материалов, особенно используемых для изготовления первого (лицевого) слоя формы, способности жидкообразных формообразующих материалов смачивать огнеупорные частицы и поверхность моделей, смачиваемости расплавленным материалом материала формы против воздействия с раствором и его оксидами. Шероховатость согласно ГОСТ 26645-85 соответствует значениям табл. 4.14.

Степень коробления элементов отливок согласно ГОСТ 26645-85 даны в табл. 3.13. Степень точности поверхностей отливок согласно ГОСТ 26645-85 определяют по табл. 4.15.

Классы точности массы согласно ГОСТ 26645-85 определяют по табл. 4.16.

При ЛВМ механические свойства частей отливок с достаточным питанием и направленным затвердеванием соответствуют данным, приведенным в ГОСТе; для более тонких частей отливок, затвердевание которых не происходит направленно, стандартные значения механических свойств необходимо уменьшить: σ_B на 10...20%; δ на 15...25%; ψ на 20...30%.

Отверстия диаметром до 6 мм можно получить без применения стержней лишь при их глубине до 12 мм.

Припуски на обработку резанием приведены в табл. 4.17.

Основными недостатками литья по выплавляемым моделям является низкая производительность, высокая стоимость исходных материалов и сложность процесса, особенно при изготовлении крупных отливок.

Стоимость 1 т. отливок (табл. 4.18) ЛВМ в 5 раз выше, чем при литье в песчано-глинистых формах.

Таблица 4.13.

Классы размерной точности отливок.

Технологич. процесс	Наибол. габарит. размер отливки, мм	Тип сплава			Термооб. стальн. сплавы
		Цветные легкие не-термооб-раб. сплавы	Нетермообрабатываемые черные и цветные тугоплавкие сплавы и термообрабатываемые цветные легкие сплавы	Термообрабатываемые чугуны и цветные тугоплавкие сплавы	
Литье по выжигаем. моделям с примен. кварцевых огнеупорн. материалов	До 100	3-7	4-8	5т-9т	5-9
	Св ₁₀₀ >>250	4-8	5т-9т	5-9	6-10
	>>250>>630	5т-9т	5-9	6-10	7т-11т
Литье по выплавл. моделям с примен. кварцевых огнеупорн. материалов	До 100	4-8	5т-9т	5-9	6-10
	Св.100>>250	5т-9т	5-9	6-10	7т-11т
	>>250>>630	5-9	6-10	7т-11т	7-11

Примечания:

1. В таблице указаны диапазоны классов размерной точности отливок, обеспечиваемых различными технологическими процессами литья. Меньшие их значения относятся к простым отливкам и условиям массового автоматизированного производства, большие – к сложным отливкам единичного и мелкосерийного производства, средние – к отливкам средней сложности и условиям механизированного серийного производства.

2. В табл. 4.13 к цветным легкоплавким сплавам отнесены сплавы с температурой плавления ниже 7000С (973К), к цветным тугоплавким – сплавы с температурой плавления выше 7000С (973К).

В табл. 4.13 к легким отнесены сплавы с плотностью до 3,0 г/см³, к тяжелым – сплавы с плотностью свыше 3,0 г/см³.

Таблица 4.14.

Шероховатость поверхностей отливок.

Значение шероховатости для степеней точности поверхностей													
Шероховатость поверхности	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
R_a , мкм, не более	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,3	8,0	10,0	12,5	16,0	20,0	25,0	32,0

Таблица 4.15.

Степень точности поверхностей отливок.

Технологический процесс литья	Наибольший габаритный размер отливки, мм	Тип сплава			
		Цветные легкие не-термообрабатываемые сплавы	Нетермообрабатываемые черные и цветные тугоплавкие сплавы и термообрабатываемые цветные легкие сплавы	Термообрабатываемые чугуны и цветные тугоплавкие сплавы	Термообрабатываемые стальные сплавы
Литье по выжигаемым и выплавляемым моделям	Степень точности поверхности				
	До 100	3-8	4-9	5-10	6-11
	Св.100>>250	4-9	5-10	6-11	7-12
	>>250>>630	5-10	6-11	7-12	8-13

Таблица 4.16.

Классы точности массы отливок.

Технологический процесс литья	Номинальная масса отливки, кг	Тип сплава			
		Цветные легкие не-термообрабатываемые сплавы	Нетермообрабатываемые черные и цветные тугоплавкие сплавы и термообрабатываемые цветные легкие сплавы	Термообрабатываемые чугуны и цветные тугоплавк. сплавы	Термообрабатываемые стальные сплавы
Литье по выжигаемым моделям с применением кварцевых огнеупорных материалов	Класс точности массы отливки				
	До 1,0	2-9т	3т-9	3-10	4-11т
	Св.1,0>>10	3т-9	3-10	4-11т	5т-11
	>>10>>100	3-10	4-11т	5т-11	5-12
Литье по выплавляемым моделям с применением кварцевых огнеупорных материалов	До 1,0	3т-9	3-10	4-11т	5т-11
	Св.1,0>>10	3-10	4-11т	5т-11	5-12
	>>10>>100	4-11т	5т-11	5-12	6-13т

Примечание: меньшие значения классов точности к простым компактным отливкам и условиям массового автоматизированного производства, большие – к сложным крупногабаритным отливкам единичного и мелкосерийного производства, средние – к отливкам средней сложности и условиям механизированного серийного производства.

Таблица 4.17.

Припуски на обработку резанием, мм.

Габаритные размеры (свыше - до)	Номинальные размеры отливок до базы (свыше – до), мм						
	До 30	30-80	80-120	120-250	250-400	400-500	500-800
До 30	0,7	-	-	-	-	-	-
30-80	0,8	0,9	-	-	-	-	-
80-120	0,9	1,2	1,3	-	-	-	-
120-250	1,1	1,3	1,4	1,5	-	-	-
250-400	1,3	1,4	1,6	1,8	2,0	-	-
400-500	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	-
500-800	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,5
Примечание: 1. Для отливок, выполняемых с повышенной точностью, припуски на механическую обработку назначаются на 10...15 % больше указанных. 2. В соответствии с ГОСТ26645-85 припуски на обработку резанием назначают дифференциально для каждого элемента отливки, в зависимости от допусков на размеры.							

Таблица 4.18.

Ориентировочная стоимость 1т. отливок ЛВМ.

Марка сплава	Масса одной отливки, кг	Стоимость 1т. литья по группам сложности, руб.				
		1	2	3	4	5
Углеродистая и инструментальная сталь: 10Л, 15Л, 20Л, 25Л, 30Л, 35Л, 40Л, 45Л, 50Л, 55Л, У7, У8, У9, У10, У12	0,2-0,5	10000	10900	12000	13500	15060
	0,5-1,0	9400	10200	11200	12650	14100
	1-2	8150	8950	9850	11050	12400
	2-5	6550	7200	6000	9100	10350
	5-10	5900	6400	7050	7950	9050
	10 и более	5000	5400	5950	6700	7700
Конструкционная низколегированная сталь: 27ХГСНЛ, 10ХС2Л и др.	0,2-0,5	11450	12550	15900	15600	17800
	0,5-1,0	10800	11800	13200	14700	17000
	1-2	9400	10300	11500	12800	14800
	2-5	7800	8550	9450	10450	12150
	5-10	7050	7650	8450	9350	10850
	10 и более	6100	6600	7300	8100	9400
Медные сплавы	0,2-0,5	21700	23200	25100	27700	30600
	0,5-1,0	20200	21700	23600	26200	29000
	1-2	19600	21000	22700	25200	28000
	2-5	18500	19900	21600	24100	26400
	5-10	17900	19200	20800	23200	25950
	10 и более	16000	17300	18900	21300	24050

Преимущества литья по выплавляемым моделям могут быть реализованы только в том случае, если отливки сконструированы с учетом особенностей

этого способа. Обычно на ЛВМ переводят детали, изготавливаемые из проката, поковок и штампованных заготовок сложной механической обработкой. Эти детали имеют массивные элементы, большие плоские поверхности, резкие переходы от одного сечения к другому. При переводе деталей на ЛВМ необходимо обеспечить:

- возможность направленного затвердевания металла от тонких частей к толстым (прибыли), чтобы получить отливки без усадочных раковин;
- уменьшение массы детали за счет устранения утолщений (бобышек, приливов и других элементов);
- плавные сопряжения тонких и толстых сечений;
- жесткость конструкции, исключающую коробление отливки при ее длительном охлаждении. С этой целью на параллельных плоскостях необходимо оформлять наружные установочные бурты или ребра.

Контрольные вопросы

1. Как осуществляется литье по выплавляемым моделям?
2. Каковы технико-экономические показатели литья по выплавляемым моделям?
3. Для получения каких отливок применяется литье по выплавляемым моделям?

4.4. Литье по газифицируемым моделям

4.4.1. Сущность и особенности процесса

Модель из пенопласта (рис. 4.6, а), обладает малой объемной массой, формируется в любой формовочной смеси так, что образуется неразъемная форма (рис. 4.6, б).

Формовочные смеси должны обладать высокой газопроницаемостью и высокой пластичностью.

Перед заливкой формы модель не извлекается, а металл через литниковую систему заливается непосредственно на модель (рис. 4.6, в), которая под действием его теплоты газифицируется, освобождая полость формы. Полученная таким образом по однократно используемой модели отливка точно соответствует конфигурации модели.

Главная особенность этого технологического процесса – применение неизвлекаемой перед заливкой металла модели – определяет основные его достоинства [28]: повышается точность отливок, что позволяет уменьшить припуски на механическую обработку; можно изготовить отливки сложной конфигурации без применения стержней, так как формовка осуществляется по чистой модели, при этом упрощается процесс изготовления литейной формы; снижается трудоемкость обрубки и очистки отливок; расширяются возможности автоматизации и механизации процессов изготовления отливок.

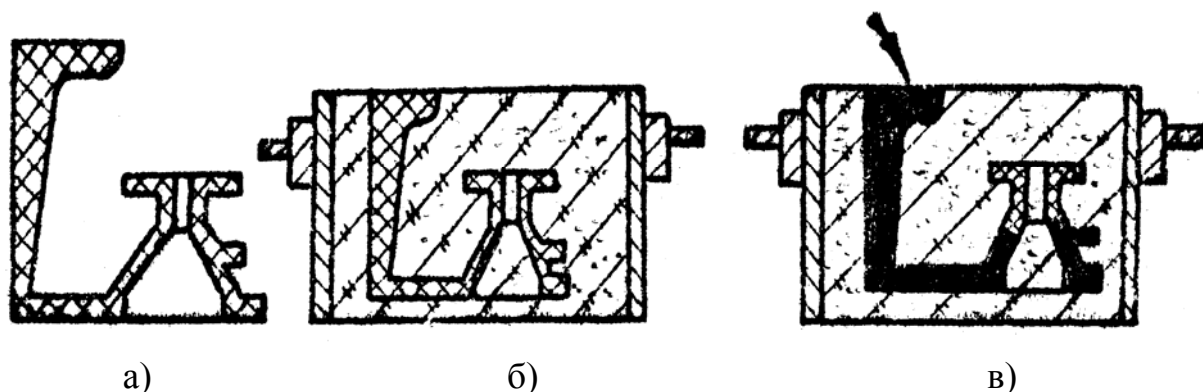


Рис. 4.6. Технология получения отливок по газифицируемым моделям.

В сочетании с хорошей обрабатываемостью применяемого для изготовления моделей пенополистирола эти достоинства позволяют резко сократить цикл подготовки производства, снизить трудоемкость изготовления отливки; в результате способ литья по газифицируемым моделям начал быстро внедряться в производство отливок для машиностроения.

Внедрение процесса на Нижегородском автозаводе для литья штампоинструментальной оснастки позволило снизить трудоемкость изготовления моделей на 30%; формовочно-сборочных работ – на 20...25%, обрубных и очистных работ – на 20...30% и массы отливок – на 5...6% [29].

Существенное снижение трудоемкости формовки, повышение качества отливок позволило достичь высокий экономический эффект и полностью исключить брак по усадочным раковинам. Аналогичные результаты достигнуты и в зарубежной промышленности [30].

Однократность использования модели предопределила на начальной стадии развития способа наиболее выгодную область его применения – изготовление крупных единичных отливок из чугуна и стали, главным образом деталей технологической оснастки, ремонтного литья.

При увеличении количества отливок затраты на изготовление моделей возрастают и снижается экономическая эффективность. Практика показывает, что в зависимости от группы сложности количество отливок, которое целесообразно изготавливать по моделям, полученным механической обработкой из плит и блоков полистирола, обычно не превышает 5 - 6 шт. Однако совершенствование технологии изготовления моделей с использованием станков с программным управлением для обработки пенополистирола снижает затраты на изготовление моделей и позволяет увеличить серийность до 10 шт. при достаточно высоком экономическом эффекте.

В серийном и массовом производстве процесс нашел меньшее применение и используется в основном для изготовления отливок из стали и чугуна массой от 0,3 до 25 кг при создании специализированных участков и линий благодаря возможности автоматизации изготовления моделей в пресс-формах. Прогрес-

сивным способом формовки является способ в сыпучие ферромагнитные материалы (дробь стальная, чугунная) с упрочнением формы в магнитном поле.

При достигнутом уровне технологии точность мелких отливок по газифицируемым моделям в формах из сухого песка без связующих и ферромагнитных материалов практически соответствует точности отливок по выплавляемым моделям (см. табл. 4.15).

Процессы сорбции продуктов разложения модели металлом сказываются на эксплуатационные характеристики металла отливок по газифицируемым моделям. Повышение содержания углерода в отливках в процессе заполнения формы металлом приводит к возрастанию прочностных характеристик металла отливок из углеродистой стали и некоторому снижению пластических свойств. Стоимость этих отливок на 30% ниже получаемых в обычных условиях песчаных формах (см. табл. 3.20).

4.4.2. Техничко-экономические показатели процесса

Размерная точность отливок согласно ГОСТ 26645-85 оценивается по табл. 4.19.

Степень коробления элементов отливок определяют по табл. 3.13. Степень точности поверхностей отливок согласно ГОСТ 26645-85 определяют по табл. 4.20.

Значения припусков на механическую обработку на 1 – 2 ряда больше припусков литья в оболочковые формы.

Стоимость литья сравнима с литьем в песчано-глинистые формы (табл. 3.20).

Соответствие между шероховатостью и степенью точности поверхностей отливок представлено в табл. 4.21.

Контрольные вопросы

1. Как осуществляется литье по газифицируемым моделям?
2. Каковы технико-экономические показатели литья по газифицируемым моделям?
3. Для получения каких отливок применяется литье по газифицируемым моделям?

4.5. Литье в керамические формы по постоянным моделям

4.5.1. Сущность и особенности процесса

Стремление получить отливки, равнозначные по качеству поверхностей с отливками, получаемыми по выплавляемым моделям но по более короткому циклу, привело к предложению изготавливать разъемные керамические формы по постоянным моделям. Такие формы получают различными способами. Наиболее экономичным и перспективным способом является способ изготовления двухслойных керамических форм с тонкостенной облицовкой. При этом формовку осуществляют по двум моделям или по одной, но с накладным телом.

Таблица 4.19.

Классы размерной точности отливок.

Технологический процесс	Наибольший габаритный размер отливки, мм	Тип сплава			
		Цветные легкие термообработываемые сплавы	Нетермообрабатываемые черные и цветные тугоплавкие и термообработываемые цветные легкие сплавы	Термообработываемые чугуны и цветные тугоплавкие сплавы	Термообработываемые стальные сплавы
		Класс размерной точности			
Литье по газифицируемым моделям	До 100	5 – 10	6 – 11т	7т – 11	7 – 12
	»100»250	6 – 11т	7т – 11	7 – 12	8 – 13т
	»250»630	7т – 11	7 – 12	8 – 13т	9т – 13
	»630»1600	7 – 12	8 – 13т	9т – 13	9 – 13
Примечание: меньшие значения классов относятся к простым отливкам и условиям массового автоматизированного производства, большие – к сложным отливкам единичного и мелкосерийного производства, средние – к отливкам средней сложности и условиям механизированного серийного производства.					

Таблица 4.20.

Степени точности поверхностей отливок.

Технологический процесс	Наибольший габаритный размер отливки, мм	Тип сплава			
		Цветные легкие термообрабатываемые сплавы	Нетермообрабатываемые черные и цветные тугоплавкие и термообрабатываемые цветные легкие сплавы	Термообрабатываемые чугуны и цветные тугоплавкие сплавы	Термообрабатываемые стальные сплавы
		Степень точности поверхностей			
Литье по газифицируемым моделям	До 100	6 – 12	7 – 13	8 – 14	9 – 15
	»100»250	7 – 13	8 – 14	9 – 15	10 – 16
	»250»630	8 – 14	9 – 15	10 – 16	11 – 17

Шероховатость поверхностей отливок.

Шерохова- тость по- верхности	Значение шероховатости для степеней точности поверхностей отливок										
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Среднее арифметиче- ское отклоне- ния профиля Ra , мкм, не более	6.3	8.0	10.0	12.5	16.0	20.0	25.0	32.0	40.0	50.0	63.0

При формовке по двум моделям, одна вспомогательная увеличенная модель 1 (рис. 4.7, а) служит для формовки, например, песчаножидкостекольного опорного слоя формы 2, размеры полости которой отличаются от размеров основной модели 4, формирующей керамическую облицовку 6, на 0,01...0,02 м и более. Изготовленная песчаножидкостекольная форма накладывается на основную модель 4 (рис. 4.7, б) и в образовавшийся зазор 5 через литник 6 заливается огеливаемая суспензия облицовочного слоя (рис. 4.7, в), после затвердевания огеливаемой облицовочной керамики 6 и извлечения модели 1 полуформу прокаливают при температуре 700...1000°C, в зависимости от заливаемого металла (для стали 950...1000°C, для чугуна 800...900°C, для алюминия 700...750°C), собирают и заливают жидким сплавом.

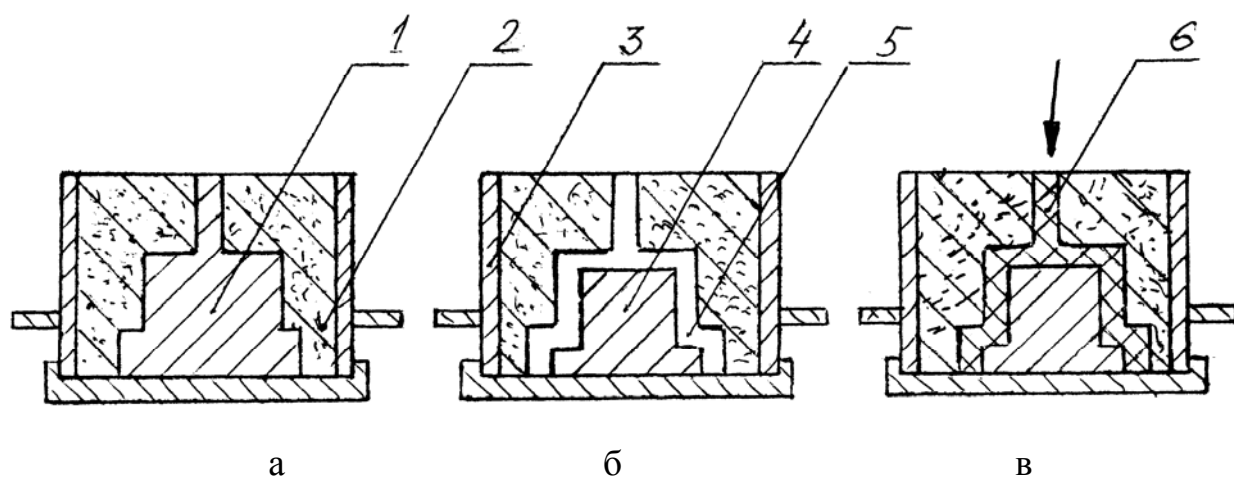


Рис. 4.7. Изготовление керамической формы.

Подготовка форм под заливку, заливка и очистка отливок аналогичны используемым при получении форм другими способами. При изготовлении форм из огеливаемых суспензий наибольшее применение имеют суспензии, состоящие из гидролизованного этилсиликата 32 или 40, маршалита и кварцевого песка марки 2к0315 или 2к025, прокаленных при 800...900°C, и 15%-ного раствора едких натрия или калия. Гидролиз этилсиликата осуществляется так же, как и

для форм, получаемых по выплавляемым моделям (с органическим и без органических растворителей [25]).

Двухслойные керамические формы используют как за рубежом, так и в Российской Федерации. Например, в Японии этим методом отливают штампы из чугуна для штамповки кузова автомобиля [26]. Размерная точность отливок при этом соответствует 13 качеству, а параметр шероховатости поверхности достигает $R_a = 2,5 \dots 1,25$ мкм.

Преимущества литья в керамические формы: широкая номенклатура отливок; использование простой оснастки; как правило, отсутствие при изготовлении форм специальных средств уплотнения, ставят процесс в ряд прогрессивных способов литья.

Литье в керамические формы используется в автомобильной, инструментальной, приборостроительной, авиационной и станкостроительной промышленности, в сельскохозяйственном машиностроении.

Некоторые отливки невозможно получить без применения керамических форм и стержней (например, лопатки турбин с тонкими каналами большой протяженности, элементы волноводов, колеса турбин и т.д.). Этот метод оправдал себя при изготовлении металлооснастки в инструментальном производстве (ковочные и обрезные штампы, пуансоны для штамповки металла, пластмасс и резины, пресс-формы для металла, стекла и пластмасс, модельные плиты для оболочкового литья, элементы кокилей, стержневой и модельной оснастки).

4.5.2. Техничко - экономические показатели производства отливок.

По данным российских [27] и зарубежных исследователей поля допусков на размеры отливок укладываются в пределы 5 – 9 классов по ГОСТ 26645 – 85 (табл. 4.22).

Степень коробления определяется по ГОСТ 26645 – 85 и соответствует значениям табл. 3.13.

Степень точности поверхностей и классы точности массы отливок соответствуют значения табл. 4.15; табл. 4.16.

Соответствие между шероховатостью и степенями точности поверхностей отливок представлено в табл. 4.23.

Для литья в керамические формы при изготовлении облицовочного слоя используют такие же материалы, что и для литья по выплавляемым моделям: этилсиликат и огнеупорные материалы. Однако расход их значительно выше, чем в оболочковых формах по разовым выплавляемым моделям. Повышенный расход дорогостоящих материалов является причиной высокой стоимости 1 т годного литья. Ориентировочная стоимость отливок массой 75...150 кг из серого чугуна 6000...7000 руб., из стали 7000...7500 руб. за тонну.

Высокая стоимость данного вида литья требует критического подхода к выбору номенклатуры деталей. Литье в керамические формы следует применять в случаях, когда требуется: значительно сократить механическую обработку данной детали; получить точную крупногабаритную отливку с качественной поверхностью значительной массы, изготовление которой литьем по выплав-

ляемым моделям затруднительно; получить незначительную серию отливок, для которых экономически не выгодно изготавливать дорогостоящую модельную оснастку; выполнить срочный заказ на изготовление детали.

Таблица 4.22.

Классы размерной точности, допуски и припуски.

Интервал номинальных размеров, мм	Отливки точности						Припуски на обра- ботку, мм
	повышенный		нормальный		пониженный		
	Класс точно- сти	Допуск разме- ра от- ливки, мм	Класс точно- сти	Допуск разме- ра от- ливки, мм	Класс точно- сти	Допуск разме- ра от- ливки, мм	
30 – 50	5	0,34	7	0,62	8	1,00	0,8 – 1,4
50 – 80	5	0,40	7	0,74	8	1,20	1,0 – 1,6
80 – 120	5	0,46	7	0,87	8	1,40	1,2 – 1,7
120 – 180	5	0,53	7	1,00	8	1,60	1,3 – 1,8
180 – 260	5	0,60	7	1,15	8	1,90	1,5 – 2,0
260 – 360	7	1,35	8	2,20	8	2,30	2,2 – 3,2
360 – 500	7	1,56	8	2,50	9	2,80	2,5 – 3,5
Примечание: меньшее значение припуска назначается для отли- вок, выполненных по наименьшему классу точности, большее – соответ- ствует наибольшему классу точности.							

Таблица 4.23.

Шероховатость поверхностей отливок.

Шероховатость поверхности	Значение шероховатости для степеней точности поверхности отливок										
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Среднее арифметическое отклонение профиля Ra , мкм, не более	3,2	4,0	5,0	6,3	8,0	10,0	12,5	16,0	20,0	25,0	32,0

Контрольные вопросы

1. Как осуществляется литье в керамические формы по постоянным моделям?
2. Каковы технико-экономические показатели литья в керамические формы по постоянным моделям?
3. Для получения каких отливок применяется литье в керамические формы по постоянным моделям?

4.6. Литье в кокиль

4.6.1. Сущность и особенности процесса

Кокилем называют литейную форму (рис. 4.8) из чугуна, стали или алюминия. Перед заливкой кокили подогревают, рабочую поверхность их окрашивают. Заливают расплав. Кокиль в 3...5 раз быстрее песчано-глинистой формы отводит теплоту перегрева и затвердевания сплава. Интенсивность затвердевания отливки, а также ее отдельных частей регулируют главным образом температурой нагрева кокиля и толщиной теплоизолирующей краски. Из кокиля отливку удаляют горячей при температуре составляющей 0,6...0,8 температуры солидуса сплава. Далее она охлаждается на воздухе или в специальной камере. Кокиль охлаждают или подогревают до определенной температуры (200...300°C). Цикл повторяется.

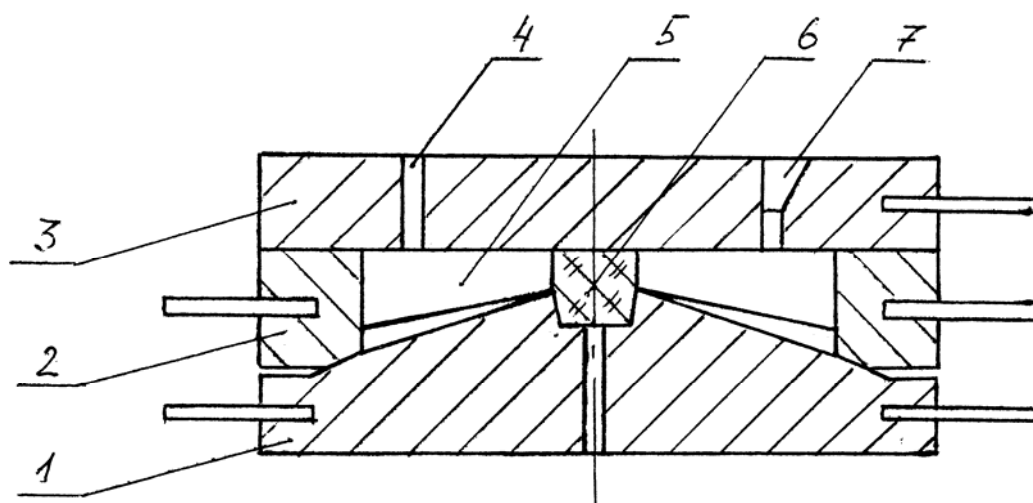


Рис.4.8. Кокиль разъемный с песчаным стержнем:

- 1 – нижняя часть; 2 – средняя часть; 3 – верхняя часть кокиля;
4 - выпор; 5 – рабочая полость; 6 – стержень; 7 – литник.

Таким образом, время от заливки кокиля до удаления отливки и продолжительность охлаждения или подогрева кокиля определяют темп его работы. Как правило, оптимальную температуру кокиля поддерживают темпом работы.

В кокиле можно получать простые отливки без полостей (например, слитки, валки) и фасонные отливки со сложными полостями. Кокили используются при литье многократно (для цветных сплавов до сотен тысяч, при литье чугуна – 3000...5000 заливок).

Полости в отливках оформляются песчаными, оболочковыми или металлическими стержнями. Кокили могут быть неразъемные (вытяжные) и разъемные. Последние делают с вертикальной, горизонтальной или наклонной плоскостями разъема. Кокили с песчаными стержнями применяют преимущественно для получения чугунных и стальных отливок, с металлическими стержнями – для отливок цветных легких сплавов (алюминиевых, магниевых).

Для удаления во время заливки воздуха из полости кокиля предусматривают выпоры, вентиляционные риски по плоскости разъема или специальные отверстия, называемые вентами.

Литниковые системы и прибыли по назначению и принципам расчета не отличаются от применяемых при литье в разовые формы.

К числу основных особенностей процесса относятся:

1. Повышенная плотность мелкозернистой структуры металла отливок, которая вызвана интенсивным теплообменом между отливкой и кокилем, что существенно повышает свойства магниевых и алюминиевых сплавов (табл. 4.24).

Таблица 4.24.

Механические свойства алюминиевых сплавов.

Сплав	Состояние	σ_B , МПа		$\delta\%$	
		В песчаные формы	В кокиль	В песчаные формы	В кокиль
АЛ 2	Литой	150	200	4,0	8,0
АЛ 4	Закаленный и состаренный	180	230	2,0	4,0
АЛ 5	Закаленный и состаренный	200	240	1,0	1,5

2. Чугунные отливки, как правило, получают с отбеленным поверхностным слоем и остаточными внутренними напряжениями, поэтому их необходимо отжигать;

3. В кокилях трудно готовить фасонные стальные отливки, так как с повышением интенсивности теплообмена между отливкой и кокилем увеличивается вероятность образования трещин в стали, а также вследствие низкой стойкости кокилей (не более 200...300 заливок);

4. Трудоемкость изготовления отливок в кокилях меньше, чем при литье в разовые формы; качество поверхности и точность размеров отливок выше, меньше припуски на обработку, лучше условия труда;

5. Высока стоимость кокиля. Поэтому литье применяют, если снижаются затраты на изготовление готовой детали с учетом стоимости кокиля, расхода металла в стружку и снижение затрат на механическую обработку. Этот способ литья целесообразно применять в массовом и крупносерийном производстве, когда партия составляет не менее 300...500 отливок. Во многих случаях, особенно при литье стали и чугуна, решающее значение имеет метод изготовления кокиля, который определяет его стоимость. Наиболее точные кокили изготавливают механической обработкой в инструментальных цехах. Их применяют для литья цветных сплавов. Такие кокили дороги. Для литья чугуна и стали

применяют, как правило, литые, более экономичные, хотя и менее точные, чугуны без последующей механической обработки.

Кокиль применяют также для изготовления отливок, к которым предъявляют определенные технические требования, например, получить чугуны прокатный валок с отбеленным твердым износостойким поверхностным слоем можно только в кокиле; плотные без усадочной рыхлости с повышенными свойствами отливки из алюминиевых сплавов с широким интервалом температур затвердевания.

4.6.2. Техничко–экономические показатели процесса

Литье в кокили – один из прогрессивных способов изготовления отливок в серийном и массовом производстве отливок из цветных и черных сплавов. При литье в металлические формы достигается повышенная точность и малая шероховатость поверхностей отливок. Этим объясняется меньшие припуски на обработку и допуски на размеры отливок (табл. 4.25 - 4.29).

Таблица 4.25.

Классы размерной точности отливок.

Классы размерной точности отливок.					
Технологический процесс литья	Наибольший габаритный размер отливки, мм	Тип сплава			
		Цветные легкие термообрабатываемые сплавы	Нетермообрабатываемые черные и цветные тугоплавкие и термообрабатываемые цветные сплавы	Термообрабатываемые чугунные и цветные тугоплавкие сплавы	Термообрабатываемые стальные сплавы
Литье в кокиль без песчаных стержней	До 100 »100»250 »250»630	5т – 9т	5 – 9	6 – 10	7т – 11
		5 – 9	6 – 10	7т – 11т	7 – 11
		6 – 10	7т – 11т	7 – 11	8 – 12
Литье в кокиль с песчаными стержнями Литье в облицованный кокиль	До 100 »100»250 »250»630	5 – 10	6 – 11т	7т – 11	7 – 12
		6 – 11	7т – 11	7 – 12	8 – 13т
		7т – 11	7 – 12	8 – 13т	9т – 13

Степень коробления отливок определяют по табл. 3.13.

Таблица 4.26.

Шероховатость поверхностей отливок.

Шерохова- тость по- верхности	Значение шероховатости для степеней точности поверхностей отливок												
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<i>Ra</i> , мкм, не более	5,0	6,3	8,0	10,0	12,5	16,0	20,0	25,0	32,0	40,0	50,0	63,0	80,0

Таблица 4.27.

Степени точности поверхностей отливок.

Техноло- гический процесс литья	Наиболь- ший габаритный размер от- ливки, мм	Тип сплава			
		Цветные легкие термооб- рабаты- ваемые сплавы	Нетермо- обрабаты- ваемые черные и цветные тугоплав- кие и тер- мообраба- тываемые цветные легкие сплавы	Термооб- рабаты- ваемые чу- гунные и цветные тугоплав- кие сплавы	Термооб- рабаты- ваемые стальные сплавы
		Степень точности поверхностей			
Литье в кокиль без пес- чаных стержней	До 100	4 – 9	5 – 10	7 – 11	7 – 12
	100 – 250	5 – 10	6 – 11	7 – 12	8 – 13
	250 – 630	6 – 11	7 – 12	8 – 13	9 – 14
Литье в кокиль с песчаны- ми стержня- ми Литье в облицо- ванный кокиль	До 100	7 – 14	8 – 15	9 – 16	10 – 17
	100 – 250	8 – 15	9 – 19	10 – 17	11 – 18
	250 – 630	9 – 16	10 – 17	11 – 18	12 – 19

Таблица 4.28.

Припуски и допуски на размеры чугунных отливок, мм.

Номинальный размер элемента отливки	Припуск на сторону поверхности			Общий допуск отливок залитых в форму с рабочими поверхностями кокиля	
	Нижние или наружные боковые	Внутренние	Верхние	Механически обработанные	Литыми не обработанными
До 20	1,0	1,2	2,0	0,2	1,2
21 – 100	1,5	1,8	2,6	0,5	1,4
100 – 200	2,0	2,4	3,0	0,7	1,7
200 – 300	2,3	2,6	3,2	0,8	2,0
300 – 400	2,4	2,7	3,4	0,8	2,0
400 – 600	2,6	3,0	3,6	0,9	2,2

Таблица 4.29.

Припуски и допуски на размеры отливок из легких сплавов, мм.

Номинальный размер элемента отливки	Припуск на сторону		Литье с металлическим стержнем		Допуски на размеры, образуемые песчаными стержнями
	Алюминиевые сплавы	Магниевого сплавы	Допуски на размеры, образуемые неподвижными частями кокиля	Допуски на размеры, образуемые подвижными частями кокиля	
До 40	0,3 – 1,0	1,0 – 2,0	До 0,3	0,5	0,6
40 – 100	0,5 – 1,5	1,5 – 2,0	» 0,4	0,5	0,7
100 – 250	0,7 – 2,0	1,5 – 2,0	» 0,5	0,7	0,8
250 – 400	1,0 – 2,0	2,0 – 3,0	» 0,8	1,0	1,2

Разновидностью кокильного литья является литье в облицованные кокили. Облицованные кокили применяют для повышения стойкости кокилей при изготовлении стальных и чугунных отливок. В этом случае рабочую полость кокиля облицовывают песчано-смоляной смесью по принципу изготовления оболочковых форм.

При переводе заготовок на литье в кокиль необходимо выполнять следующие требования обеспечения технологичности конструкции отливок: для облегчения удаления отливки из кокиля необходимо предусмотреть литейные уклоны стенок, направленные в сторону разъема кокиля (табл. 4.30); не допускать в отливках резких переходов от толстых сечений к тонким; избегать выступающих частей и углублений, затрудняющих усадку металла.

Следует избегать в отливках глубоких литых отверстий небольшого диаметра. Допустимые размеры литых отверстий приведены в табл. 4.30.

Элементы конструкции отливок.

Сплавы	Размер отверстия, мм			Уклон стенок от высоты, %		Миним. толщи- на стен- ки
	Миним. диаметр	Максим. глубина		На- ружн.	Внутр.	
		Непрох.	Проход.			
Цинковые	1,0	6	12	0,5	0,2 – 2,0	2,5 – 3
Магниевые	2,5	6	10	0,5 – 1,0	1 – 3	2,5 – 4
Алюминиев	2,5	3	5	0,5 – 1,0	1 – 3	2,5 – 6
Медные	3,0	3	4	0,5 – 1,0	1 – 3	3,0 – 12
Чугунные	6,0	3	4	0,4	2 – 6	3,5 – 15
Стальные	8,0	3	4	0,4	2 – 6	6,0 – 25

Для повышения жесткости отливок и устранения возможного их коробления при извлечении из формы, а также при термической обработке, предусматривают ребра жесткости. Однако следует учитывать то, что большое число ребер жесткости затрудняет усадку отливок и может привести к образованию трещин. Толщина ребер жесткости должна составлять 0,6...0,8 толщины сопрягаемых стенок отливки.

Для облегчения механической обработки или повышения эксплуатационных свойств их отдельных частей иногда целесообразно армировать отливки вкладышами. Вкладыши можно применять для получения фасонных биметаллических деталей из легких сплавов в комбинации со сталью.

Стоимость кокильного литья при среднесерийном и массовом производстве в условиях механизированного изготовления отливок аналогична литью в песчано-глинистые формы (см. табл. 3.20).

Контрольные вопросы

1. Как осуществляется литье в кокиль?
2. Каковы технико-экономические показатели литья в кокиль?
3. Для получения каких отливок применяется литье в кокиль?

4.7. Литье под давлением

4.7.1. Сущность и особенности процесса

При литье под давлением металлическая форма, называемая пресс-формой, заполняется расплавом под действием внешней силы, превосходящей силу тяжести, а затвердевание в ней отливки происходит под избыточным давлением. Последнее создают с помощью поршня в камере прессования, которая соединена с полостью пресс-формы.

Технология литья под давлением отличается коротким циклом, включает мало операций, но реализация их возможна только с применением специальных машин. По устройству узла прессования их классифицируют на три типа: с хо-

лодной горизонтальной, с холодной вертикальной и с горячей вертикальной камерой прессования.

На машинах с вертикальной холодной камерой прессования, камера отделена от печи с расплавленным металлом (рис. 4.10, а). Сплав 2 заливают мерной ложкой в камеру сжатия 3 (I положение). Верхний поршень 1, опускаясь, оказывает давление на сплав, а нижний поршень 10, перемещаясь, открывает литниковый канал. Сплав заполняет полость формы, состоящей из двух половин 4 и 5 (II положение). После затвердевания металла подвижная полуформа 4 отходит в сторону, и отливка 7, вместе с литником 8, выталкивается толкателями 6, а излишек металла 9 – поршнем 10 (III положение).

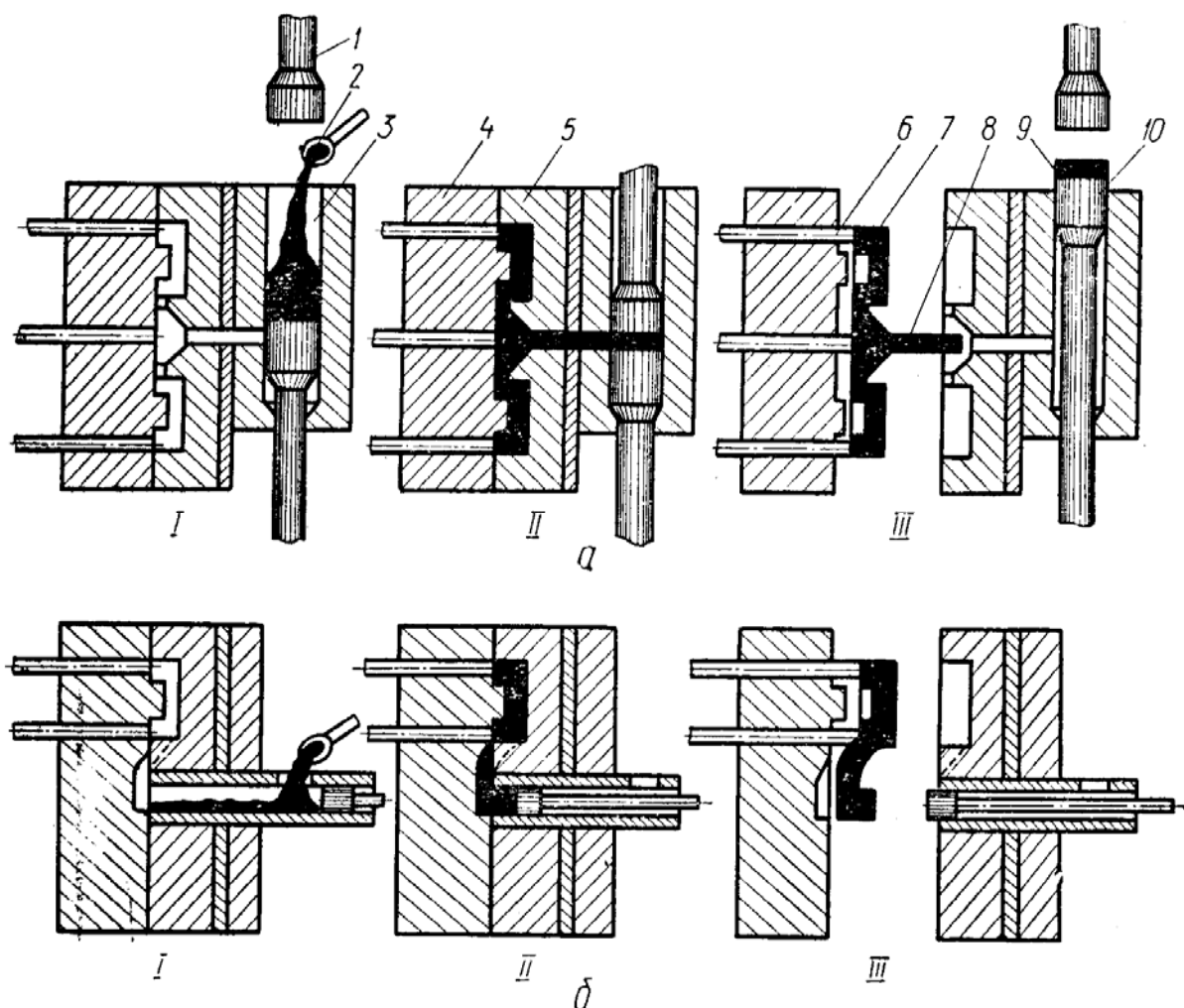


Рис. 4.10. Поршневые машины для литья под давлением с холодной камерой сжатия.

Процесс литья под давлением на машине с горизонтальной холодной камерой сжатия (рис. 4.10, б) протекает в той же последовательности.

В машинах с горячей камерой сжатия камера размещается непосредственно в ванне с жидким металлом и подвержена его воздействию. На рис. 4.11. изображена схема работы такой машины. Чугунный тигель 1 для поддержания постоянной температуры жидкого сплава снизу подогревается. При верхнем

положении поршня 4 через отверстие 2 сплав заполняет цилиндр 3 и канал 5. Перед заливкой форма 7 закрывается и конец мундштука 6 заходит в канал 5. При опускании поршень вытесняет сплав из цилиндра и канала в полость формы. После затвердевания отливки поршень поднимается, форма раскрывается, и отливка выталкивается из формы толкателями 8.

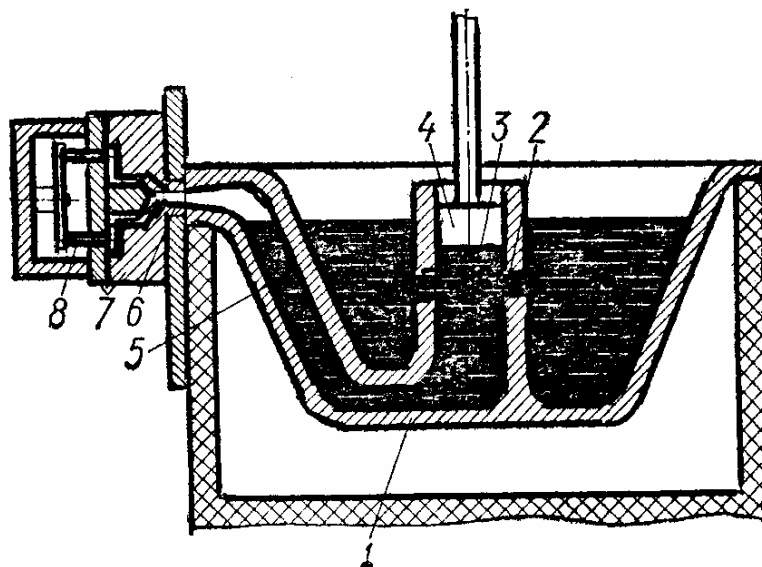


Рис. 4.11. Поршневая машина с горячей камерой сжатия.

К преимуществам машин с горячей камерой сжатия относится возможность большей автоматизации, большая производительность, меньшие потери металла и улучшение условий труда. Однако на них нельзя получать отливки из сплавов с температурой плавления выше 723°K и, кроме того, поршень, находящийся в расплаве, быстро изнашивается. Поэтому машины с горячей камерой сжатия применяют только для изготовления отливок из цинковых и других легкоплавких сплавов. Машины с холодной камерой прессования применяют для получения отливок из алюминиевых, магниевых и медных сплавов.

Особенности способа и области его применения обусловлены условиями заполнения пресс-форм и питания отливок. Сплав заполняет пресс-форму за доли секунды (0,01...0,6 с) при скорости 120 м/с. При такой скорости поступления металла в форму он сильно фонтанирует, ударяется о стенки формы и в течение 0,003...0,004 с закупоривает вентиляционные каналы. Только часть (10...30%) газа — воздух и пар от смазывающего материала — удаляются из полости формы, образуется воздушно-металлическая эмульсия, которая затем затвердевает. Вследствие этого полученные отливки имеют специфический дефект — газовую пористость, низкие плотность, механические и особенно пластические свойства. Их нельзя подвергать термической обработке, так как при нагреве поверхность вспучивается вследствие расширения газа в порах.

В момент окончания заполнения полости формы движущийся с большой скоростью сплав мгновенно останавливается. Энергия движения потока преобразуется в энергию давления, которое мгновенно повышается. Происходит гидравлический удар, действующий в течение весьма короткого времени. Мгновен-

но повышающееся давление прижимает металл к рабочей поверхности пресс-формы и способствует четкому оформлению конфигурации отливки, чеканит ее. Отливка точно воспроизводит конфигурацию полости пресс-формы. Получаются точные с гладкой поверхностью тонкостенные (0,8...6 мм) отливки. Кроме того, благодаря тесному контакту между пресс-формой и отливкой увеличивается интенсивность теплообмена, уменьшается время затвердевания последней. Вследствие гидравлического удара поверхностный слой (0,02...0,2 мм) отливок получается плотным, без газовой пористости, пузырьки газа остаются во внутренних сечениях отливки.

Однако, под действием гидравлического удара подвижная часть пресс-формы всегда немного отходит от неподвижной. Между полуформами образуется зазор, через который может происходить разбрызгивание металла. Отливки имеют заливы по разьему пресс-форм, которые необходимо удалять. Снижается точность отливок в направлении, перпендикулярном разьему пресс-формы. Во избежание разбрызгивания в машинах предусматривают мощные запирающие устройства. Величина запирающего усилия является главной характеристикой машин литья под давлением. В малых машинах она не превышает 2 МН, в средних составляет 2...6 МН, в больших достигает 30 МН.

Совершенствование этого исключительно прогрессивного по точности и производительности способа литья направлено на предупреждение образования газовой и усадочной пористости. Известны следующие направления:

- вакуумирование полости пресс-формы, а также сплава, поскольку воздушная пористость является главным дефектом отливок;
- применение толстых питателей вместо тонких щелевых, чтобы они затвердевали позднее отливки и питание ее осуществлялось под давлением прес-сующего плунжера;
- совместное использование первого и второго направлений;
- заполнение полости формы кислородом, после вытеснения воздуха, перед самым началом заливки (способ А.А. Рыжикова).

Весь кислород расходуется на окисление расплава с образованием очень малого по объему количества оксидов, исчезает источник образования газовой пористости – азот. При этом применяют негасящие смазывающие материалы для пресс-форм и камеры прессования. Последнее направление используют при производстве алюминиевого литья.

4.7.2. Техничко-экономические показатели процесса

Литьем под давлением получают сложные тонкостенные отливки из сплавов цветных металлов массой от нескольких граммов до десятков килограммов с высокой точностью размеров, с гладкой и чистой поверхностью. Переход на литье под давлением снижает трудоемкость изготовления отливок в литейных цехах в 10...12 раз, в механических – в 5...8 раз.

Этот способ стал главным способом получения отливок из алюминиевых, магниевых и цинковых сплавов в массовом производстве, например деталей карбюраторов, алюминиевых блоков автомобильных цилиндров, латунных де-

талей сантехнической арматуры и др. В этих областях литье под давлением вытесняет литье в кокиль. В настоящее время осваивают литье сталей и чугуна под давлением.

Стоимость пресс-формы в 3...5 раза выше стоимости кокиля, что необходимо учитывать при выборе экономически выгодного в данных условиях способа.

Классы размерной точности отливок по ГОСТ 26645-85 соответствуют значениям табл. 4.31.

Таблица 4.31.

Классы размерной точности отливок.

Наибольший габаритный размер отливки, мм	Тип сплава			
	Цветные легкие нетермообрабатываемые сплавы	Нетермообработ. черные и цветные тугоплавкие сплавы и термообработ. цветные легкие сплавы	Термообрабатываемые чугуны и цветные тугоплавкие сплавы	Термообрабатываемые стальные сплавы
	Класс размерной точности отливки			
До 100	3т-6	3-7т	4-7	5т-8
Св.100 до 250	3-7т	4-7	5т-8	5-9т
Св.250 до 630	4-7	5т-8	5-9т	6-9

Степень коробления элементов отливок, степень точности поверхностей отливок и классы точности массы отливок определяют по табл. 3.13; табл. 4.32; табл. 4.33.

Шероховатость поверхностей отливок согласно ГОСТ 26645-85 соответствует значениям табл. 4.34.

Общий припуск на обработку (на сторону) назначают дифференциально на каждую обрабатываемую поверхность отливки в соответствии с ГОСТ 26645-85. Средние значения припусков даны в табл. 4.35.

Таблица 4.32.

Степени точности поверхностей отливок.

Наибольший габаритный размер отливки, мм	Тип сплава			
	Цветные легкие нетермообрабатываемые сплавы	Нетермообработ. черные и цветные тугоплавкие сплавы и термообработ. цветные легкие сплавы	Термообрабатываемые чугуны и цветные тугоплавкие сплавы	Термообрабатываемые стальные сплавы
	Степень точности поверхностей			
До 100	2-6	3-7	4-8	5-9
Св.100 до 250	3-7	4-8	5-9	6-10
Св.250 до 630	4-8	5-9	6-10	7-11

Таблица 4.33.

Классы точности массы отливок.

Номинальная масса отливки, кг	Тип сплава			
	Цветные легкие нетермообрабатываемые сплавы	Нетермообработ. черные и цветные тугоплавкие сплавы и термообработ. цветные легкие сплавы	Термообрабатываемые чугуны и цветные тугоплавкие сплавы	Термообрабатываемые стальные сплавы
	Класс точности массы отливки			
До 1,0	1-7	2-8	3т-9т	3-9
Св. 1,0 до 10	2-8	3т-9т	3-9	4-10
Св.10 до 100	3т-9т	3-9	4-10	5т-11т

Таблица 4.34.

Шероховатость поверхностей отливок.

Шероховатость поверхности	Значение шероховатости для степеней точности поверхности отливки									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Среднее арифметическое отклонение профиля R_a , мкм, не более	2,5	3,2	4,0	5,0	6,3	8,0	10,0	12,5	16,0	20,0

Таблица 4.35.

Припуски на обработку.

Наибольший габаритный размер, мм	Номинальный размер элемента отливки, мм			
	До 50	50-120	120-260	260-500
До 50	0,3	-	-	-
Св.50 до 120	0,4	0,5	-	-
Св.120 до 260	0,5	0,7	0,8	-
Св.250 до 500	0,7	0,8	1,0	1,0

Отливки, полученные литьем под давлением, обрабатываются резанием только в тех случаях, когда из-за износа формы не обеспечиваются требуемая точность и шероховатость поверхности, когда не удастся получить отдельные "классные" размеры с заданной точностью, когда необходимо калибрование резьбы [31, 32].

Стоимость литья под давлением принимают по данным базовых предприятий. Ориентировочные цены на единицу литья из цветных сплавов даны в табл. 4.36.

Таблица 4.36.

Оптовые цены на единицу цветного литья, руб. за тонну.

Марка сплава	Масса одной отливки, кг	Группа сложности			
		1	2	3	4
АЛ-2, АЛ-4, АЛ-9	0,1-0,2	19450	15950	17050	18300
	0,2-0,5	13200	14100	15150	16250
	0,5-1,0	11750	12650	13650	14750
	1,0-2,0	10850	11650	12550	13400
	2,0-5,0	9900	10600	11400	12200
	5,0-10,0	9250	9900	10600	11350
Медные сплавы (ГОСТы 613 – 79, 493 – 79, 17711 - 93)	0,1-0,2	14950	15650	16550	17700
	0,2-0,5	13250	13900	14700	15700
	0,5-1,0	12200	12700	13350	14300
	1,0-2,0	11500	11900	12450	13300
	2,0-5,0	10850	11200	11700	12500
	5,0-10,0	10400	10650	11050	11800
Цинковые сплавы (ГОСТ 7117-79)	0,1-0,2	12600	13400	14400	15100
	0,2-0,5	11450	12200	13100	14000
	0,5-1,0	10100	11000	11800	12600
	1,0-2,0	9650	10200	10900	11650
	2,0-5,0	9000	9500	10100	10800
	5,0-10,0	8100	8500	9000	9650

4.7.3. Особенности конструирования литых деталей

При конструировании деталей, предназначенных для литья под давлением, необходимо выполнить следующие требования технологии.

1. Литейные размеры детали и ее масса должны соответствовать размерам и мощности существующих машин для литья под давлением.

2. В конструкции детали должно быть предусмотрено беспрепятственное удаление отливки из формы (отсутствие поднутрений, наличие уклонов, простейший разъем формы и т.д.).

3. Стенки отливки должны быть оптимальными по толщине и равномерными по сечению, сопрягаемые плавными переходами.

Толщина стенок не должна превышать 6...8 мм. Оптимальная толщина стенок определяется условиями работы детали и требованиями к ее механическим свойствам. Следует учитывать, что уменьшение толщины стенки приводит к повышению прочностных свойств при некотором уменьшении пластичности. Минимально допустимая толщина стенок зависит от площади поверхности отливки и применяемого сплава (табл. 4.37).

Таблица 4.37.

Элементы конструкции отливок.

Элементы отливки	Единица измерения	Сплав			
		цинковый	алюминиевый	магниевый	медный
Минимальный литейный уклон: наружный	% от длины, мин	0,3 15'	1,0 30'	1,0 30'	0,8 30'
внутренний	% от длины, мин	0,5 3'	1,5 45'	1,0 45'	1,0 60'
Минимальный диаметр литых отверстий	мм	1,5	2,5	2,5	5,0
Максимальная длина отверстий в диаметрах: сквозных	мм	12	4	4	4
глухих	мм	6	3	3	3
Минимальный шаг литой резьбы	мм	1,0	1,5	1,5	2,0
Минимальный диаметр резьбы: внутренней	мм	10	20	15	20
наружной	мм	5	10	6	16
Толщина стенок оптимальная	мм	1,5	2,5	2,5	3,5

4. Возможность изготовления отливок с готовыми отверстиями и готовой резьбой. Отверстия малого диаметра (до 2,5 мм) необходимо выполнять сверлением, так как стержни в пресс-формах малого диаметра быстро разрушаются. Отверстия диаметром более 2,5 мм (проходные и глухие) следует выполнять литьем, за исключением тех случаев, когда значительно усложняется форма или не обеспечивается допуск на размеры и расположение отверстий из-за теплового расширения форм. Зависимость глубины литых отверстий от диаметра в отливках из алюминиевых и магниевых сплавов приведена в табл. 4.37.

Наружную резьбу рекомендуется получать литьем, так как при этом исключается механическая обработка, а оформление литой резьбы не вызывает затруднений и повышает ее эксплуатационные свойства.

Внутреннюю резьбу в отливках получают с помощью резьбовых вставок, которые вывинчиваются из отливки после ее удаления из формы. Вывинчивание резьбовых вставок – трудоемкая операция, поэтому минимальный допустимый диаметр внутренних литых резьб значительно больше, чем наружных (табл. 4.37.).

5. Широко использовать армирование из цветных сплавов втулками, вкладышами и подобными деталями из других материалов. Армирование значительно расширяет возможности получения сложных комбинированных деталей со специальными физико-технологическими свойствами: магнитными, электрическими, тепловыми, прочностными и т.д. Арматура препятствует свободной усадке отливок и способствует образованию трещин, поэтому конструкция ее не должна иметь острых углов, выступов и других источников концентраций напряжений в отливках. Минимально допустимое расстояние от торца отливки до поверхности арматуры должно быть для алюминиевых сплавов – 1...2 мм, для магниевых сплавов – 1...4 мм.

5. Обеспечить жесткость с целью исключения коробления отливки. Жесткость и прочность увеличивается за счет ребер жесткости, толщина которых составляет $(0,8...1,0)b$ (наружные ребра) или $(0,6...0,8)b$ (внутренние ребра), где " b " – толщина сопрягаемых стенок.

Контрольные вопросы

1. Как осуществляется литье под давлением?
2. Каковы технико-экономические показатели литья под давлением?
3. Для получения каких отливок применяется литье под давлением?
4. В чем состоят особенности проектирования конструкции отливок, получаемых литьем под давлением?

4.8. Литье под низким давлением

4.8.1. Сущность и особенности процесса

Схема литейной установки показана на рис. 4.12 [32]. Металлическая или полуметаллическая литейная форма 1 устанавливается на крышку 2 герметичного тигля 3, находящегося в футерованном кожухе 4, снабженном электронагревателями 5. Для лучшего обогрева плиты кокиля за счет теплоизлучения сплава, находящегося в тигле, в крышке 2 сделано отверстие, а герметичность плиты и крышки обеспечивается прокладкой 8. В плите кокиля закреплен металлопровод 6, немного не достигающий до дна тигля. Рабочий сплав можно заливать в тигель через металлопровод с помощью воронки.

Для получения отливки в тигель, заполненный сплавом, по трубке 7 подается сжатый воздух или инертный газ, который оказывает давление на зеркало сплава, вытесняет сплав по металлопроводу вверх в литниковый коллектор, а затем в полость формы. Воздух из формы удаляется через вентиляционные каналы 10. Под действием увеличивающегося избыточного давления (до $0,01...0,08 \text{ МН/м}^2$) сплав кристаллизуется в форме.

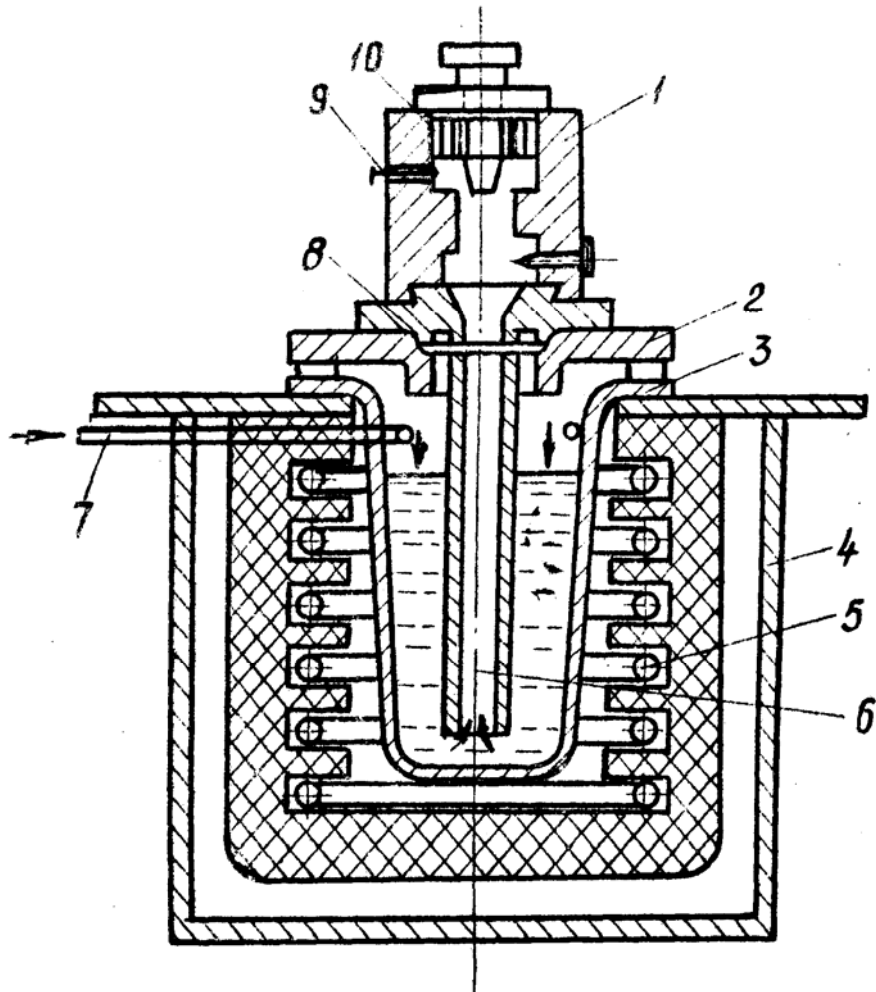


Рис. 4.12. Принципиальная схема установки литья под низким давлением.

В отличие от большинства известных способов литья, жидкий металл, находящийся в тигле, металлопроводе и полости литейной формы, в течение всего процесса формирования отливки составляет единую гидравлическую, тепловую и силовую замкнутую систему.

Способ имеет следующие преимущества:

- улучшены условия длительного термостатирования сплава, так как тигель расположен в закрытой теплоизолированной и обогреваемой камере агрегата заливки;
- полностью решена проблема дозирования жидкого металла и его транспортирования в полость литейной формы;
- снижена окисленность жидкого металла и исключена возможность захвата шлака и флюса с зеркала металла;
- имеется возможность управления гидродинамическими параметрами процесса заполнения полости форм расплавом в результате изменения по заданной программе скорости нарастания перепада давлений, что позволяет пре-

дельно упростить конструкцию литниково-питающих систем при одновременном улучшении качества заполнения форм жидким металлом;

- повышена плотность литого металла в результате устранения газовой пористости и усадочных дефектов;

- в контактной зоне на 20-30% увеличена скорость затвердевания, благодаря интенсификации теплообмена под действием перепада давлений, что способствует измельчению структуры металла отливки;

- в 1,5-2 раза увеличена производительность благодаря сокращению продолжительности затвердевания отливки и отсутствию затвердевающих прибылей;

- повышение плотности отливки и измельчение структуры литого металла сопровождается ростом его прочностных (на 15...25%), пластических (1,5...2 раза) и эксплуатационных свойств;

- повышена точность размеров и массы отливок на 1...2 класса по сравнению с кокильным литьем, уменьшены в 1,5...2 раза припуски на обработку резанием;

- шероховатость поверхности отливок может быть уменьшена по сравнению с кокильным литьем с $R_z = 160...80$ до $R_z = 40...20$ мкм;

- обеспечивается получение отливок с толщиной стенок 1,5...2,0 мм, т.е. толщина стенок отливок в 1,5...2,5 раза меньше, чем при литье в кокиль;

- заполняемость литейных форм возрастает в 1,3...1,5 раза, что обеспечивает возможность получения крупногабаритных отливок при средних толщинах стенки 3...6 мм;

- возможна полная механизация и автоматизация всего технологического цикла;

- тяжелый труд заливщика заменен функциями оператора и наладчика машин;

- снижение на 30...50% потребности в выплавляемом металле улучшает условия труда рабочих и экологическую обстановку в целом.

4.8.2. Техничко-экономические показатели процесса

Классы размерной точности, степень коробления элементов, степени точности поверхностей и классы точности массы отливок согласно ГОСТ 26645-85 даны соответственно в табл. 4.38, 3.13, 4.39.

Ряды припусков на обработку и значения шероховатости поверхностей отливок даны в табл. 4.40.

Значения припусков на обработку резанием занимают промежуточное положение между литьем в кокиль и литьем под давлением.

Стоимость литья выбирают по данным базовых предприятий. При отсутствии данных можно воспользоваться промежуточными значениями стоимости кокильного литья и литья под давлением.

Таблица 4.38.

Классы размерной точности и степени точности поверхностей отливок.

Наибольший габаритный размер отливки, мм	Тип сплава			
	Цветные легкие нетермообрабатываемые сплавы	Нетермообрабатываемые черные и цветные тугоплавкие сплавы и термообрабатываемые цветные легкие сплавы	Термообрабатываемые чугуны и цветные тугоплавкие сплавы	Термообрабатываемые стальные сплавы
	класс размерной точности и степень точности поверхностей отливок			
До 100	5Т-9Т/4-9	5-9/5-10	6-10/7-11	7Т-11Т/7-12
Св. 100 до 250	5-9/5-10	6-10/6-11	7Т-11Т/7-12	7-11/8-13
Св. 250 до 630	6-10/6-11	7Т-11Т/7-12	7-11/8-13	8-12/9-14
Св. 630 до 1600	7Т-11Т/7-12	7-11/8-13	8-12/9-14	9Т-13Т/10-15
Примечание: В числителе указаны значения классов размерной точности, в знаменателе степени точности поверхностей отливок.				

Таблица 4.39.

Классы точности массы отливок

Номинальная масса отливки, кг	Тип сплава			
	Цветные легкие нетермообрабатываемые сплавы	Нетермообрабатываемые черные и цветные тугоплавкие сплавы и термообрабатываемые цветные легкие сплавы	Термообрабатываемые чугуны и цветные тугоплавкие сплавы	Термообрабатываемые стальные сплавы
До 1,0	3-10	4-11Т	5Т-11	5-12
Св. 1,0 до 10	4-11Т	5Т-11	5-12	6-13Т
Св.10 до 100	5Т-11	5-12	6-13Т	7Т-13Т
Св. 100 до 1000	5-12	6-13Т	7Т-13	7-14

Таблица 4.40.

Ряды припусков на обработку и шероховатость поверхностей отливок.

Степени точности поверхности	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12	13-14	15
Ряды припусков, мм и шероховатость R_a , мкм	$\frac{1-3}{3,2-4,0}$	$\frac{1-4}{5,0-6,3}$	$\frac{2-5}{8,0-10,0}$	$\frac{3-6}{12,5-16,0}$	$\frac{4-7}{20-25}$	$\frac{5-8}{32-40}$	$\frac{6-9}{50}$

Примечания:

1. В числителе даны значения рядов припусков, в знаменателе шероховатость поверхности (R_a , мкм).

2. Меньшие значения рядов припусков следует принимать для термообрабатываемых отливок из цветных легкоплавких сплавов, большие значения – для отливок из ковкого чугуна, средние – для отливок из серого и высокопрочного чугуна, термообрабатываемых отливок из стальных и цветных тугоплавких материалов.

Контрольные вопросы

1. Как осуществляется литье под низким давлением?
2. Каковы технико-экономические показатели литья под низким давлением?
3. Для получения каких отливок применяется литье под низким давлением?

4.9. Литье с кристаллизацией под давлением

4.9.1. Сущность и особенности процесса

Литьем с кристаллизацией под давлением (ЛКД) (ГОСТ 18169-86) получают плотные заготовки с уменьшенными припусками на обработку резанием и высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами. Выход точных изделий по жидкому металлу до 95% [33,34].

Отливки изготавливают в формах (пресс-формах, штампах), состоящих из пуансона (прессующего узла), матрицы, толкателей и съемников. Верхнюю плиту с закрепленными на ней деталями прессующего узла монтируют на ползуне пресса. Нижнюю плиту с размещенными на ней матрицей и механизмом выталкивания отливки - на столе пресса.

Процесс ЛКД заключается в том, что расплав под действием собственной силы тяжести заливают в матрицу, затем пуансоном осуществляют окончательное оформление контуров отливки и последующее ее уплотнение (выдержку под давлением) до окончательного затвердевания. После извлечения из пресс-формы (ПФ) отливку можно подвергать различным видам последующей обработки.

Способом ЛКД изготавливают простые и сложные по конфигурации заготовки из чистых металлов и сплавов на основе алюминия, железа, магния, меди и цинка, используя для этой цели как специализированные, так и неспециализированные гидравлические прессы и машины.

Применяют несколько схем процесса. На рис. 4.13 представлены схемы поршневого прессования (а, б) и пуансонного прессования (в, г).

При поршневом прессовании давление кристаллизующемуся расплаву передается через пуансон 1, перекрывающий открытую полость матрицы 2 и действующий на верхний торец формирующейся отливки в течение времени, необходимого для ее затвердевания.

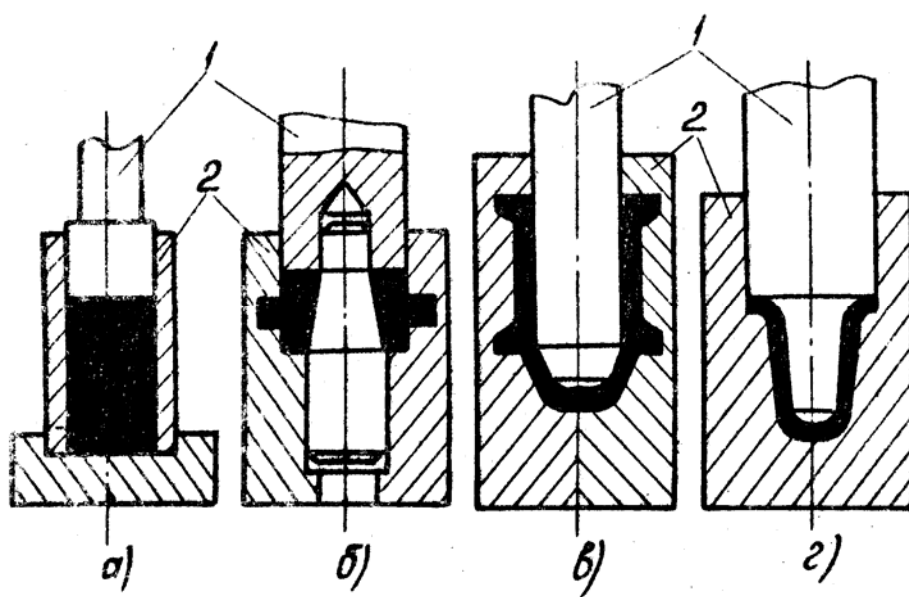


Рис. 4.13. Кристаллизация под поршневым и пуансонным прессованием.

При пуансонном прессовании (рис. 4.13, в, г) под действием выступающей рабочей части пуансона 1 незатвердевший сплав выдавливается вверх до полного заполнения рабочей полости ПФ 2.

ЛКД изготавливают отливки с толщиной стенки 2...100 мм, а также слитки диаметром 30...600 мм. Для ЛКД предпочтительны такие отливки, для которых могут быть использованы ПФ с неразъемной матрицей. Желательно, чтобы на наружных боковых поверхностях заготовок не было больших выступов и поднутрений. Вместе с тем на верхней полости детали, оформляемой пуансоном, и на нижнем торце, соприкасающемся с дном матрицы, возможны различные выступы и углубления, для выполнения которых в обычных условиях необходимо большое число операций фрезерования.

В результате воздействия давления на кристаллизующийся металл или сплав в отливках происходят структурные изменения (измельчение структуры), изменение состава и характера распределения фаз, повышение однородности в результате уменьшения степени развития ликвационных процессов, равномерное распределение неметаллических включений и, как следствие, изменение внутреннего строения отливок и повышение физико-механических свойств.

Отливки, полученные ЛКД, как правило, имеют литую структуру. В зависимости от состава сплава, давления, температурных режимов и других параметров эта структура может быть транскристаллической (с зоной столбчатых кристаллов по всему сечению), равновесной или смешанной.

С повышением давления прессования (при прочих равных условиях) структура отливок измельчается, особенно в области давлений 0,1...150 МПа, что обусловлено тепловыми и механическими факторами, а также условиями кристаллизации. При последующем повышении давления измельчение структуры продолжается, но в меньшей степени, чем в первой области давлений.

Измельчение структуры и устранение газоусадочной пористости приводят к повышению физико-механических свойств. В табл. 4.41. приведены свойства сплава АЛ25 при литье в кокиль и ЛКД.

Таблица 4.41.

Механические свойства сплава АЛ25.

Свойства сплава	Литье в кокиль	ЛКД при P_n , МПа	
		100	200
σ_s , МПа	200	215	245
δ , %	0,5	1,3	1,5
Жаропрочность δ_{100}^{300} , МПа	50	65	80
Износостойкость (убыль массы за 1 ч), %	0,7	0,59	0,49

Освоено ЛКД композиционных сплавов. В качестве металлической основы используют главным образом алюминиевые сплавы, а в качестве неметаллических наполнителей – графит, карбид кремния и др.

4.9.2. Техничко-экономические показатели процесса.

Припуски на обработку зависят от габаритных размеров и конфигурации отливок и составляют 0,5...5 мм. При литье заготовок для деталей, к которым предъявляют требования по герметичности, допускается увеличение припуска со стороны дна отливки, но не более чем в 2...3 раза.

Поверхности втулок имеют малую шероховатость и поэтому величина припусков незначительная (табл. 4.42).

Таблица 4.42.

Припуски (мм) на диаметры втулок на обработку резанием.

Элемент отливки	Сплавы отливок	
	Алюминиевые и цинковые	медные
Диаметр: наружный	0,6-0,8	1,0-1,5
внутренний	0,5-0,6	0,8-1,0
высота	0,6-1,0	1,0-1,2

Эти припуски назначают на размеры в том случае, если на рабочих поверхностях ПФ отсутствуют следы трещин разгара. При образовании трещин припуски увеличивают на 0,5 мм.

Уклоны назначают сверх припуска. Кроме того, по высоте отливок предусматривают допуск $+2,0 \div -0,5$ мм для компенсации неточности дозирования расплава.

В табл. 4.43 приведены припуски на обработку резанием в зависимости от точности размеров отливок, изготовленных ЛКД.

Таблица 4.43.

Припуски на сторону (мм) на обработку резанием.

Наибольший габаритный размер отлив- ки, мм	Сплавы отливок					
	Алюминиевые и цинковые			медные		
	Класс точности отливок					
	3	4	5	3	4	5
До 100	0,5	0,8	1,0	0,8	1,0	1,2
100-150	0,8	1,0	1,2	1,0	1,2	1,5
150-250	1,2	1,5	2,0	1,5	2,0	2,0
250-400	1,5	2,0	2,5	2,0	2,0	2,5
400-650	2,0	2,5	3,0	-	-	-

На наружных поверхностях отливок предусматривают уклоны в направлении движения при извлечении из ПФ. Уклоны назначают в зависимости от габаритных размеров, которые колеблются от 0° до $0,5^\circ$.

Литейные уклоны по внутреннему контуру полостей отливок зависят от глубины полости, табл. 4.44.

Таблица 4.44.

Уклоны на внутренних поверхностях отливки.

Глубина внутренней полости отливки, мм	Уклон ($^\circ$) внутренней поверхности отливки при использовании пуансона	
	без съёмника	со съёмником
До 30	2,5	0,50
31-50	3,5	0,75
51-80	4,0	1,50
81-110	5,0	1,75
Св.110	5,0	2,0

Преобладающая толщина стенок отливок из алюминиевых сплавов должна быть не менее 2 мм, из медных – не менее 3 мм, а у отливок типа втулок из алюминиевых и медных сплавов – не менее, соответственно, 3 и 5 мм.

ЛКД рекомендуется использовать для изготовления следующих отливок: с повышенными требованиями по плотности и герметичности; поршней двигателей внутреннего сгорания, гидро- и пневмоцилиндров; из композиционных материалов и сплавов, малотехнологичных в обычных условиях литья и т.п.

При ЛКД (в сравнении с другими способами литья) достигается повышение прочностных свойств сплавов на 15...30% и пластичности в 2...4 раза.

Внедрение ЛКД требует определенных капитальных затрат на приобретение прессового оборудования, текущих расходов на его обслуживание и ремонт. Возрастают в большинстве случаев затраты на технологическую оснастку. Изменение тех или иных затрат в общем случае индивидуально и зависит от материала отливки, ее конфигурации и уровня предъявляемых требований.

Рассмотрение технико-экономических показателей 300 деталей из алюминиевых и медных сплавов, изготовление отливок для которых было переведено на ЛКД вместо одного из ранее применяемых способов (литья в кокиль, центробежного литья,ковки, горячей объемной штамповки), позволило определить экономию и дополнительные затраты по отдельным статьям.

Так, получена экономия, %: 17 на материалах, топливе и электроэнергии; 1 на изготовлении отливки; 1,3 на обработке резанием; 3 на снижении брака отливок; 1 на транспортных и прочих расходах. Дополнительные затраты на амортизацию и текущий ремонт оборудования составили 4,6 %; на изготовление технологической оснастки 0,4% [34].

Производительность способа ЛКД при изготовлении поршней – 400 отливок в смену на одном прессе.

При переходе с литья в кокиль на ЛКД в несколько раз увеличился коэффициент использования металла, примерно в 2 раза снизилась стоимость отливки, на 10...15% уменьшился объем обработки резанием.

Контрольные вопросы

1. Как осуществляется литье с кристаллизацией под давлением?
2. Каковы технико-экономические показатели литья с кристаллизацией под давлением?
3. Для получения каких отливок применяется литье с кристаллизацией под давлением?

4.10. Центробежное литье

4.10.1. Сущность и особенности процесса

При центробежном литье сплав заливают во вращающиеся формы; формирование отливки осуществляется под действием центробежных сил, что обеспечивает высокую плотность и механические свойства отливок.

Центробежным литьем отливки изготавливают в металлических, песчаных, оболочковых формах и в формах для литья по выплавляемым моделям на центробежных машинах с горизонтальной или вертикальной осью вращения.

Металлические формы изготавливают из чугуна и стали. Толщина формы обычно в 1,5...2 раза больше толщины отливки. В процессе литья формы снаружи охлаждают водой или воздухом. На рабочую поверхность формы наносят теплозащитные покрытия для увеличения срока их службы. Перед работой формы подогревают до температуры 200°C.

Применяют три схемы центробежного литья (рис. 4.14)

Первая схема наиболее распространена. По этой схеме получают полые цилиндрические отливки без стержней. Машины с горизонтальной осью вращения применяют для длинных тел вращения: при $\frac{l}{d} > 3$; свободная поверхность отливки представляет собой цилиндр. На машинах с вертикальной осью получают короткие тела вращения из-за разностенности по высоте отливки. Свободная поверхность – параболоид. Разностенность тем больше, чем выше отливка. В формах с горизонтальной осью вращения получают: чугунные водопроводные (напорные) трубы диаметром до 300 мм, чугунные канализационные (сливные) трубы диаметром до 1800 мм, гильзы автомобильных и тракторных двигателей из легированного чугуна, стальные заготовки для подшипников качения и др.

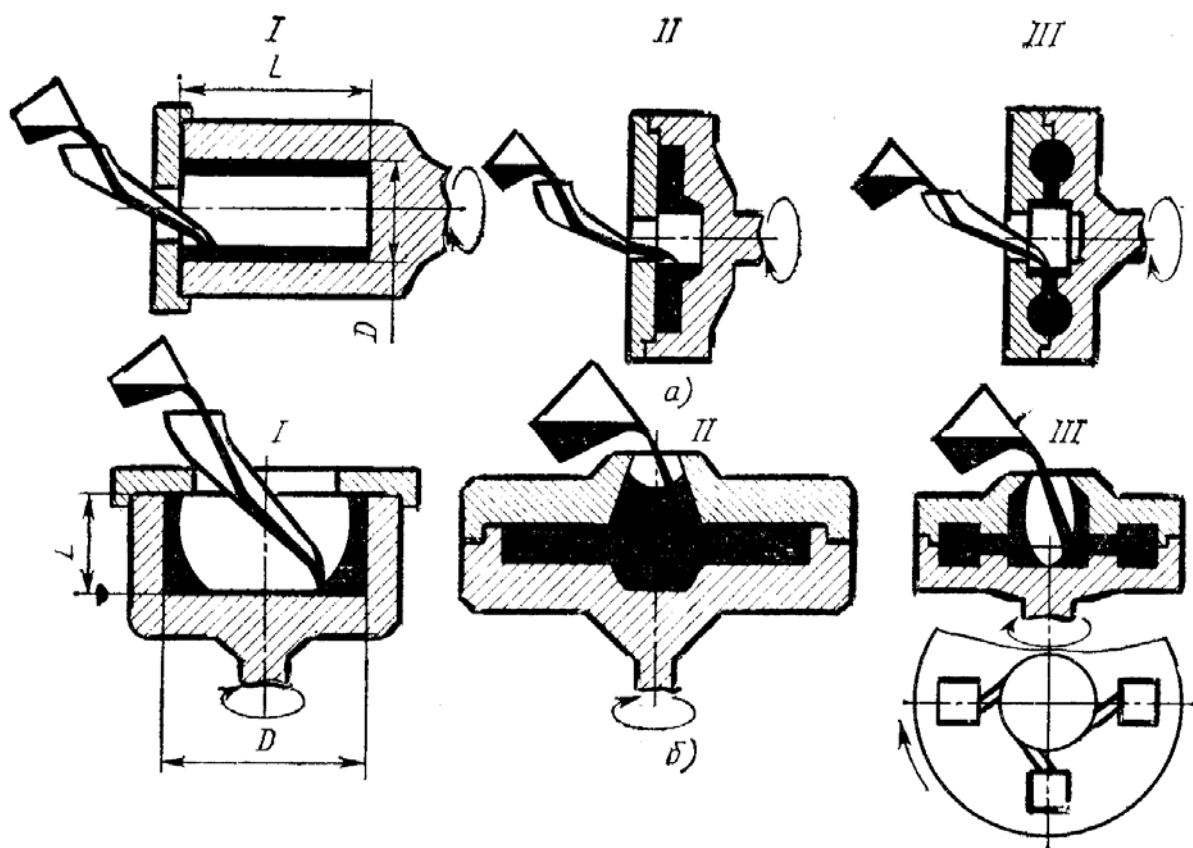


Рис. 4.14. Схемы центробежного литья.

Схемы II и III на рис. 4.14 применяют при необходимости существенного повышения плотности отливок или изготовления тонкостенных отливок из сплавов с низкой жидкотекучестью. Таким образом получают гребные винты, отливки из жаропрочных и титановых сплавов.

4.10.2. Техничко-экономические показатели процесса

Центробежное литье по сравнению с литьем в неподвижные формы имеет следующие преимущества: 1. Отливки имеют плотную структуру. 2. Центро-

бежные отливки в меньшей степени загрязнены неметаллическими включениями (в изломе отливки редко встречаются шлаковый или песчаный засор и газовые раковины). 3. Для образования отверстий в цилиндрических отливках не требуется стержень. 4. Отсутствие во многих случаях литниковой системы увеличивает выход годного до 90...95% [35]. 5. Возможность получения тонкостенных отливок. 6. Производительность труда выше, а условия лучше, чем при литье в разовые формы. 7. Центробежным литьем можно получить двухслойные (биметаллические) отливки.

Центробежное литье имеет и недостатки. Один из них - сложность получения точного размера отверстия в отливке, образованного свободной поверхностью. Это объясняется тем, что диаметр отверстия зависит от количества заливаемого в форму металла. Вторым недостатком является четко выраженная ликвационная неоднородность сплава по сечению отливки. При заливке, например, свинцовой бронзы, расплав которой представляет эмульсию, во вращающейся форме свинец центробежными силами отбрасывается к периферии, а медь, как более легкая, вытесняется к свободной поверхности. Ликвация может таким образом проявиться настолько сильно, что внутренняя часть отливки окажется медной.

Точность отливок и шероховатость поверхности отливок, а, следовательно, и припуски на обработку резанием зависят от того, в какие формы (нефутерованные или футерованные) производится заливка, и соответствует литью в кокиль либо литью в песчаные формы.

По стоимости центробежные отливки приближаются к кокильному литью и литью в песчаные формы.

Контрольные вопросы

1. Как осуществляется центробежное литье?
2. Каковы технико-экономические показатели центробежного литья?
3. Для получения каких отливок применяется центробежное литье?

4.11. Непрерывное литье

4.11.1. Сущность и особенности процесса

Непрерывным литьем называют [36, 37] такой способ литья, в процессе которого из кристаллизатора (формообразователя) извлекается частично затвердевшая заготовка, длина которой больше длины кристаллизатора. По характеру силового взаимодействия затвердевающей отливки с кристаллизатором способы непрерывного литья подразделяют на несколько классов и схем. Для получения заготовок, используемых в машиностроении, нашли широкое применение способы литья в кристаллизаторы скольжения с горизонтальной и с вертикальной технологической осью с вытяжкой отливки вниз.

При непрерывном горизонтальном литье расплав 1 (рис. 4.15) заливают в металлоприемник 2, из которого он попадает в полость охлаждаемого кристал-

лизатора 3 и затвердевает, образуя отливку 4. Эту отливку циклически (движение-остановка) извлекают из кристаллизатора вытягивающим устройством 5.

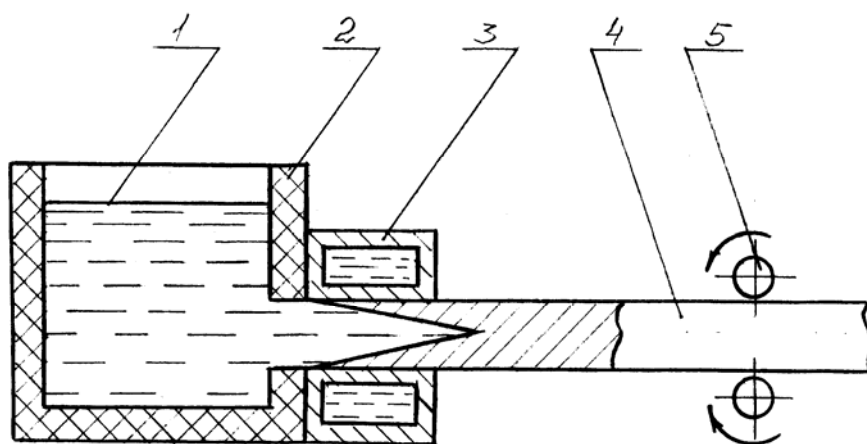


Рис. 4.15. Схема процесса горизонтального непрерывного литья.

Горизонтальным непрерывным литьем получают сплошные круглые и прямоугольные заготовки, под последующую обработку давлением из алюминия, магния, меди и их сплавов, конструкционных сталей; полые цилиндрические заготовки из сплавов на основе меди под обработку резанием; заготовок из чугуна для использования в машиностроении (получение сплошных профилей простой и сложной конфигурации, а также полых цилиндрических). Чугунные заготовки используют в станко-, судо-, автомобиле- и тракторостроении, химической, авиационной и стекольной промышленности. Детали из этих заготовок устанавливают на металлорежущие станки, автоматы, полуавтоматы, деревообрабатывающие, литейное, кузнечно-прессовое и текстильное оборудование. Толщина стенок таких заготовок должна быть не менее 8...10 мм. Заготовки из медных сплавов диаметром 0,04...0,2 м используют для изготовления подшипников скольжения, валов, осей, элементов гидроаппаратуры. Заготовки диаметром 0,012 м подвергают волочению на проволоку, из которой изготавливают сетки бумагоделательных машин. Из конструкционной стали получают профили круглого, прямоугольного сечений, уголок, швеллер, арматурный профиль.

Кристаллизатор имеет внутреннюю полость, профиль которой соответствует поперечному сечению отливки. Рабочую часть кристаллизатора, контактирующую с металлом, выполняют из меди, твердых алюминиевых сплавов, стали или графита. Обычно ее охлаждают водой. Выбор материала и протяженности кристаллизатора зависит от теплопроводности, заливаемого сплава, склонности его к образованию трещин и размеров поперечного сечения отливки. Высокотеплопроводные алюминиевые и медные сплавы льют в короткие (не более 300 мм), а стали и чугуны в длинные (1000...1500 мм) кристаллизаторы. Для получения отливок с внутренними полостями в кристаллизатор устанавливают стержень соответствующего сечения.

При вертикальном литье машиностроительных заготовок в полость водоохлаждаемого кристаллизатора 1 (рис. 4.16) вводят затравку 2 с установленным на ней стержнем 4. Через заливочное устройство 3 в пространство, образован-

ное рабочей поверхностью кристаллизатора и стержнем, подают жидкий металл.

После затвердевания металла в захватывающих элементах затравки и образования со стороны кристаллизатора прочной корки начинают вытягивание затвердевающей заготовки.

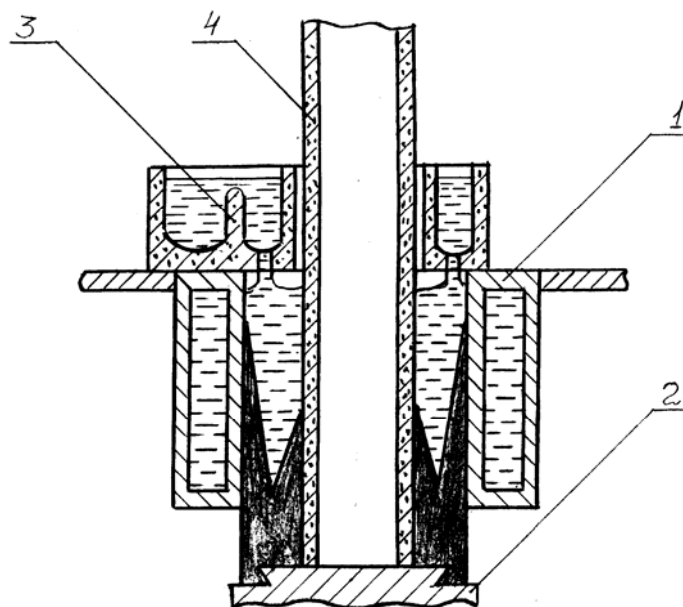


Рис. 4.16. Схема процесса вертикального непрерывного литья.

Этот способ литья наиболее эффективен для получения полых заготовок.

При непрерывном литье в кристаллизаторе ограниченной протяженности получают литые заготовки неограниченной длины. В полости кристаллизатора, в его различных частях одновременно происходит охлаждение расплава, затвердевание и охлаждение отливки, причем все ее части последовательно проходят одни и те же зоны кристаллизатора и формируются в одинаковых условиях. Это обеспечивает однородность свойств отливки по длине. Высокий градиент температур по сечению отливки внутри кристаллизатора и постоянное пополнение расплава в его полости создают предпосылки для направленного затвердевания и непрерывного питания отливки, поэтому отливки получаются плотными.

Особенностью этого способа является также извлечение из формы (вытягивание из кристаллизатора) отливки до ее полного затвердевания. Оно заканчивается вне кристаллизатора в условиях естественного или искусственного охлаждения, например, водой, что позволяет повышать производительность труда.

4.11.2. Техничко-экономические показатели процесса

Непрерывное литье обладает рядом достоинств, присущих практически всем способам. Высокая интенсивность охлаждения расплава способствует направленной его кристаллизации, уменьшению ликвационной неоднородности,

неметаллических и газовых включений. Непрерывная подача расплава к фронту затвердевания обеспечивает постоянное питание растущих кристаллов, устраняет усадочные дефекты (раковины, рыхлости, пористость). Непрерывно-литые заготовки имеют плотное, без дефектов строение, чистую поверхность, достаточно высокую точность размеров.

Шероховатость поверхностей, точность литых заготовок и припуски на обработку резанием приближаются к данным литья в кокиль.

Реализация процессов непрерывного литья позволяет повысить выход годного в результате уменьшения расхода металла на литники и прибыли, уменьшить припуски на обработку резанием, исключить трудоемкие операции смешивания, приготовления, изготовления и выбивки литейных форм, очистки отливок, существенно улучшить условия труда и уменьшить загрязнение окружающей среды.

Некоторые технико-экономические показатели приведены в табл. 4.45 – 4.47.

Таблица 4.45.

Сравнительные технико-экономические показатели различных способов литья бронзы.

Показатель	Литье		
	в ко- киль	вакуум- ным вса- сыванием	непрерывное горизонталь- ное
Масса полученной продукции с 1 м ² производственной площади цеха, кг/сут.	40	40	60
Производительность одного рабочего литейного цеха, кг/сут.	900	900	1030
Выход годного литья, %	75	85	99
Размеры отливаемых заготовок, м: длина диаметр	до 0,4 0,04- 0,2	до 1,0 0,04-0,1	неограничен- ная 0,012-0,3
Себестоимость, руб./т.	10720	10700	10470

Недостатками непрерывного (полунепрерывного) литья являются невозможность изготовления отливок сложной конфигурации, ограниченная номенклатура отливок. Непрерывное литье может быть эффективно востребовано только в условиях крупносерийного и массового производства.

Таблица 4.46.

Сравнительные технико-экономические показатели литья чугуна.

Показатель	Литье	
	В разовые песчано-глинистые формы	непрерывное горизонтальное
Производительность труда, (производство заготовок на одного работника лит. цеха), т/год	42-50	180-200
Себестоимость, руб./Т	2900-3150	1600-2000
Брак, %	5-8	2
Выход годных изделий по отношению к металлозавалке, %	67-70	90-92
Экономия металла в результате снижения припусков на механическую обработку, %	-	25-50
Процессы смесеприготовления, формообразования, выбивки, очистки и обрубки литья	необходимы	отсутствуют
Механизация технологического процесса	есть возможность частичной механизации	есть возможность полной механизации и автоматизации

Таблица 4.47.

Основные технико-экономические показатели полунепрерывного литья труб.

Показатель	Диаметр трубы, мм							
	100	150	200	250	300	400	500	600
Расходный коэффициент металла, кг/т	1208	1198	1188	1180	1170	1125	1105	1090
Себестоимость руб./т	1140,65	1100,72	1070,46	1050,6	1020,77	940,04	930,12	900,08
Удельные кап. вложения, руб./т	220,88	250,7	230,1	210,75	190,63	180,22	160,96	140,5
Трудоемкость изготовления 1 т, чел./ч.	19,3	18,9	17,6	15,4	15,3	14,9	13,5	11,5

Контрольные вопросы

1. Как осуществляется непрерывное литье?
2. Каковы технико-экономические показатели непрерывного литья?
3. Для получения каких отливок применяется непрерывное литье?

5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК

Технологическая подготовка литейного производства предусматривает конструкторско-технологическое обеспечение изготовления отливок, которое включает: разработку чертежа отливки, разработку технологического процесса литья, проектирование технологической оснастки.

5.1. Разработка чертежа литой заготовки

Исходными документами при разработке чертежа отливки являются чертеж детали, ГОСТ 3.1125-88 «Правила графического выполнения элементов литейных форм и отливок» и ГОСТ 26645-85 «Отливки из металлов и сплавов. Допуски, размеры, массы и припуски на механическую обработку».

При проектировании чертежа отливки необходимо: установить припуски на механическую обработку каждой из обрабатываемых поверхностей детали, определить форму, размеры отливки и установить допуски на неточность их изготовления, назначить уклоны и технические требования на выполнение отливки.

Величина припусков, напусков, уклонов; форма отливки, точность ее размеров и шероховатость поверхности зависят от способа ее изготовления. Поэтому, чтобы приступить к разработке чертежа и технологии изготовления отливки необходимо выбрать способ ее изготовления. Методика выбора способа изготовления отливки изложена в разделе 3 настоящего пособия.

Ниже приводятся основные рекомендации в осуществлении разработки чертежа отливки для заданной детали.

При разработке чертежа отливки следует придерживаться следующей последовательности действий:

1. Определить направление плоскости разъема литейной формы для изготовления данной отливки и положение отливки в форме при заливке.
2. Определить технические возможности выбранного способа литья для выполнения заданной чертежом конфигурации детали и при необходимости назначить напуски.
3. Установить припуски на механическую обработку.
4. Назначить литейные уклоны.
5. Определить размеры отливки и установить допуски на неточность их изготовления.
6. Назначить технические требования на выполнение отливки.
7. Указать измерительные базы и базы первоначальной обработки.

5.1.1. Определение плоскости разъема литейной формы и положение отливки при заливке

Плоскость разъема формы определяет расположение литейных уклонов, которые необходимо придать поверхностям отливки для беспрепятственного удаления модели и отливки из формы, что в свою очередь влияет на назначение

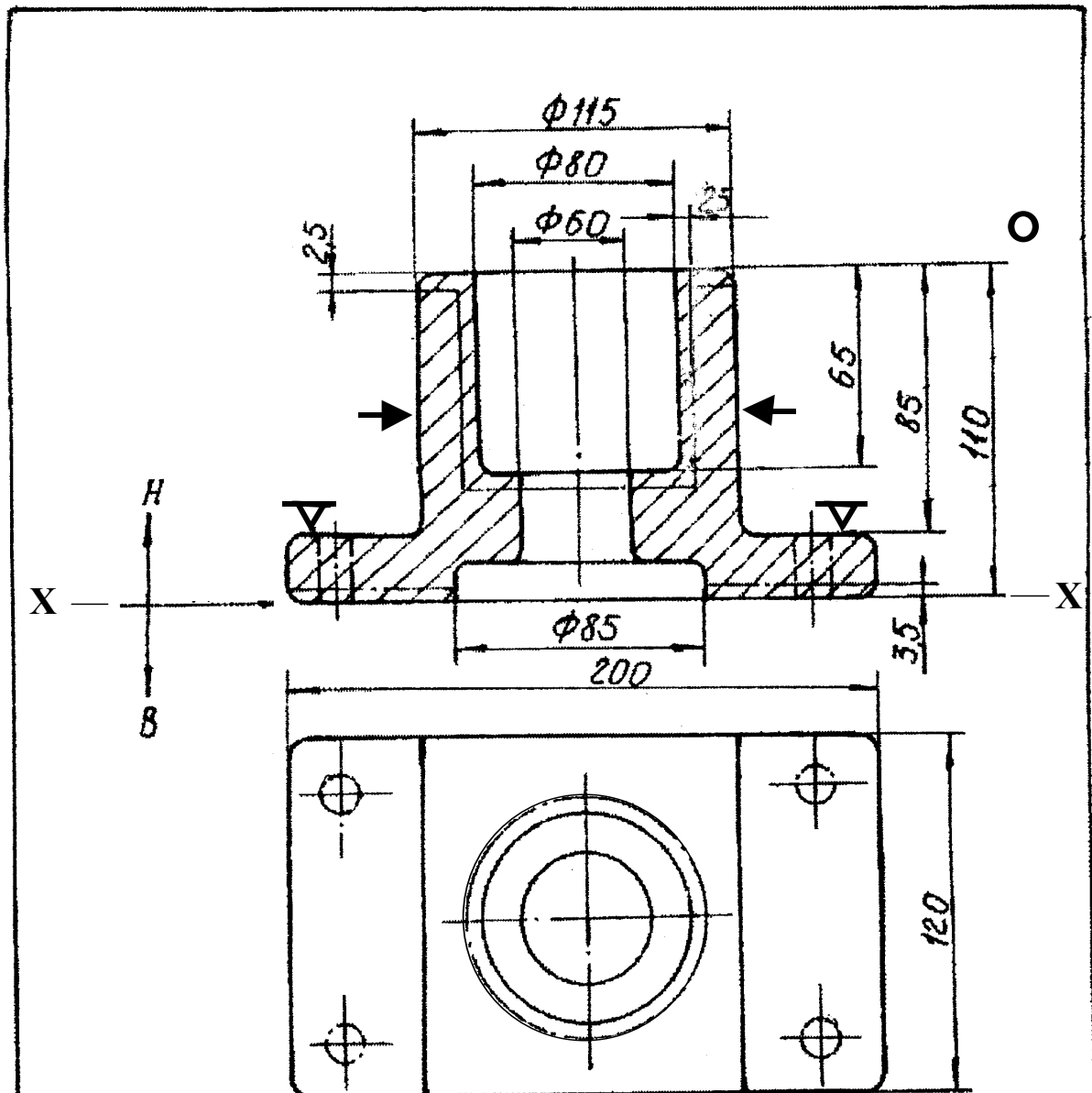
технологических баз отливки при механической обработке. Плоскость разъема обычно выбирают так, чтобы она совпадала по направлению с двумя наибольшими размерами отливки. Плоскость разъема должна обеспечить свободное удаление модели и отливки из литейной формы. При этом, если это позволяет конфигурация детали, следует всю отливку или ее основную часть размещать в одной полуформе, желательно в нижней, что позволит повысить точность и качество отливки. Плоскость разъема не должна пересекать конструкторскую (измерительную) базу, которая, как правило, совпадает с технологической базой (базой первоначальной обработки поверхностей отливки). В противном случае, возможно появление "перекоса" отливки (смещение одной части отливки, расположенной в одной полуформе по отношению к другой части отливки, расположенной в другой полуформе), что также снизит точность обработки. При определении плоскости разъема формы следует избегать сложных криволинейных линий и плоскостей, так как это усложняет технологию изготовления оснастки, формы и отрицательно сказывается на себестоимости и качестве отливки.

Расположение отливки в форме при заливке металлом отражается на качестве отдельных частей и поверхностей детали. При выборе положения отливки в форме следует руководствоваться следующими соображениями:

- Верхние части и поверхности отливки при заливке сплавом будут в большей степени поражены газовыми, песчаными и шлаковыми включениями.
- Рабочие поверхности, плоские поверхности большой протяженности, места, подлежащие механической обработке, и те части, которые при эксплуатации подвергаются наибольшей нагрузке, надо, по возможности, располагать внизу формы. Если это не возможно располагать вертикально или наклонно.
- Отливки из сплавов, дающих большую усадку (сталь, цветные сплавы) размещают так, чтобы обеспечить направленное затвердевание (тонкие части отливки – внизу, массивные – вверху, над которыми предусматривать установку прибылей).
- Для предотвращения "недоливов" тонких стенок отливки, эти стенки следует располагать внизу, а при отсутствии такой возможности – вертикально или наклонно.
- Выбранное положение отливки в форме должно быть удобным для формовки, сборки форм, расположения прибылей.

На чертеже отливки разъем модели и формы показывают отрезком или ломаной штрихпунктирной линией, заканчивающейся знаком $X - - - X$, над которой указывается буквенное обозначение разъема – МФ.

Направление разъема показывают сплошной основной линией, ограниченной стрелками и перпендикулярной к линии разъема. При применении неразъемных моделей указывают только разъем формы Ф (рис. 5.1).



1. Точность отливки 12-Б-15-9 ГОСТ 26645-85.
2. Неуказанные литейные радиусы 3-5 мм.
3. Литейные уклоны $0^\circ 45' \dots 1^\circ$.
4. Отливку очистить от пригара и других наслоений.
5. Термообработка - нормализация, HB 220...260.

Изм. Разраб. Пров.	Лист № докум. Подп. Дата	Основание (отливка)			Лит.	Масса	Масштаб
						9 кг	1:2
		Сталь 45Л ГОСТ 977-88			Лист Листов		

Рис. 5.1. Деталь «Основание».

5.1.2. Определение технических возможностей выбранного способа литья для получения заданной чертежом конфигурации детали. Назначение напусков

В процессе литья не всегда удастся изготовить отливку, соответствующую по конфигурации чертежу детали. Так, например, отверстия малого диаметра, небольшие впадины, выступы, выточки, фаски, мелкозубчатые шестерен, резьбу и т.п. можно получить только применяя обработку резанием. В этом случае подобного рода элементы чертежа в отливке оформляют в виде напусков. Напуски представляют собой технологические припуски, которые устанавливают на номинальные размеры отливки, для упрощения конфигурации отливки, или сглаживающие местные углубления, поднутрения, переходы и уступы. На чертеже отливки контур напуска изображают сплошной основной линией.

К напускам также относятся технологические приливы для крепления отливки при термообработке, транспортировке, а также для проб при механических испытаниях или металлографических исследованиях. При этом, в соответствии с ГОСТ 3.1125-88 для проб, вырезаемых из тела отливки указывают размеры, определяющие место их вырезки (рис. 5.2, б). Назначение пробы указывают на полке линии-выноски (рис. 5.2, а, б).

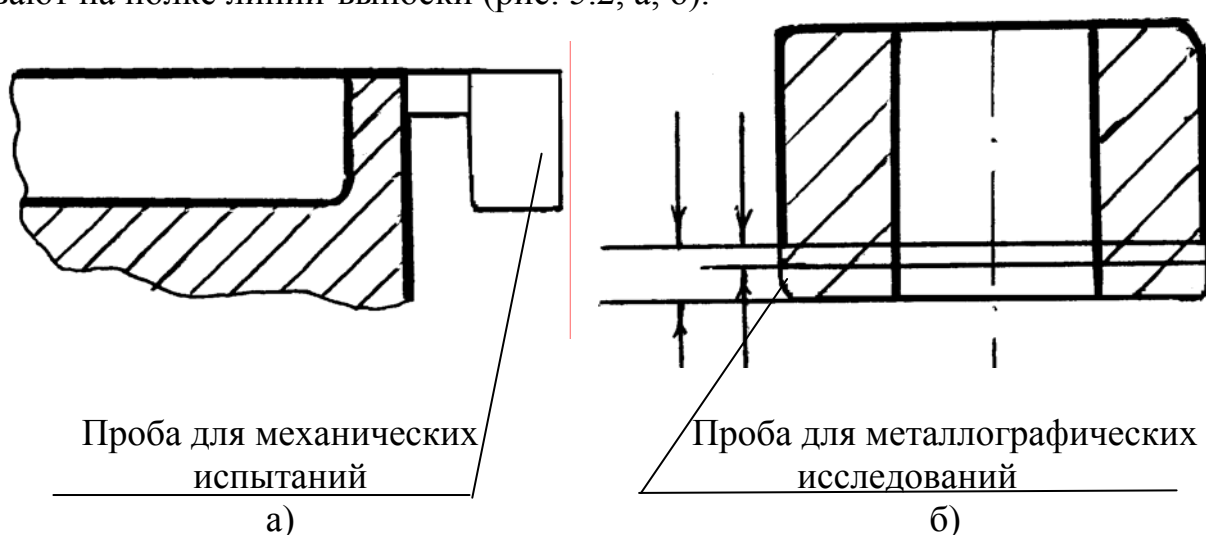


Рис.5.2. Графическое изображение напусков для технологических проб.

К напускам относят остатки питателей, выпоров, промывников, стяжек и прибылей, если их не удаляют полностью в литейном цехе, которые выполняют на изображении отливки сплошной основной линией. При этом линия отрезки должна соответствовать способу отрезки: при отрезке резцом, дисковой фрезой, пилой и т.д. ее выполняют сплошной прямой тонкой линией, при огневой резке или обламывании – сплошной волнистой линией.

К напускам относят радиусы закруглений галтелей при переходе от одной поверхности к другой. С помощью галтелей избегают появления трещин, песчаных раковин, так как в острых углах отливок концентрируются внутренние напряжения, а острые углы литейной песчаной формы смываются жидким металлом, что приводит к появлению песчаных раковин и засоров. Радиусы за-

круглений зависят от габаритов конфигурации детали и равны не менее 3...5 мм.

В конечном итоге величина и форма напусков зависят от характера производства, способа литья, габаритов, конфигурации, условий изготовления отливки, детали, и поэтому назначаются технологом в каждом конкретном случае самостоятельно.

5.1.3. Установление припусков на механическую обработку

Припуск на обработку – толщина слоя металла, удаляемая с поверхности отливки при ее обработке в целях обеспечения заданных размеров формы и шероховатости детали.

Величина припуска зависит от способа литья, характера производства, материала, габаритов отливки, положения обрабатываемой поверхности отливки при заливке и регламентируется ГОСТ 26645-85.

В разделе 3.4 настоящего пособия, на примере изготовления отливки "Планшайба" рассмотрена методика установления припусков на механическую обработку, которую можно использовать при проектировании чертежа заданной отливки. Усредненные значения припусков для каждого способа литья даны в разделе 4 настоящего пособия.

При вычерчивании отливки следует учитывать все припуски, установленные на обрабатываемые поверхности отливки, с указанием их величины. При этом внутренний контур обрабатываемых поверхностей, а также отверстий, впадин, выточек и т.п., выполненных в отливке в виде напуска, изображают сплошной тонкой линией. Наружный контур отливки с учетом припуска изображают основной линией. Если дан разрез отливки, то в сечениях частота и направление штриховки припуска должны совпадать со штриховкой тела отливки.

Пример оформления припусков смотри на рис. 5.1.

5.1.4. Назначение литейных уклонов на отливку

Поверхность отливки, перпендикулярная к плоскости разъема формы, должна иметь уклон, обеспечивающий съем формы с модели, стержня из стержневого ящика, отливки из металлической формы. Величина уклонов регламентируется ГОСТом 3212-92. Литейные уклоны относятся к технологическим напускам, т.к. они вызваны особенностью технологии. На обрабатываемых поверхностях формовочные уклоны выполняются сверх припуска на механическую обработку. На необрабатываемых поверхностях – за счет одновременного увеличения размеров верхней и уменьшения размеров нижней части отливки расположенных относительно линии разъема формы. Если отливка не ответственная, то уклоны образуются за счет уменьшения ее размеров. В табл. 5.1 и 5.2 приведены значения уклонов при литье в песчано-глинистых формах и для кокильных отливок.

При литье в оболочковые формы, в соответствии с РД 2 Н83-33-89, минимальные уклоны на внутренних и наружных поверхностях отливок, которые не

подвергаются механической обработке, принимают равными $0^{\circ}18'$, для обрабатываемых поверхностей – $0^{\circ}30'$. Для каждого способа литья величина уклонов дана в разделе 4 пособия.

Таблица 5.1.

Литейные уклоны при литье в песчано-глинистые формы.

Высота поверхности модели от разъема формы, мм	Металлические модели				Деревянные модели			
	Внутренние поверхности		Внешние поверхности		Внутренние поверхности		Внешние поверхности	
	мм	градусы	мм	градусы	мм	градусы	мм	градусы
До 20	1	3	0,5	$1^{\circ}30'$	1	3	1	3
20-50	1,2	2	0,8	1	2	$2^{\circ}30'$	1	$1^{\circ}30'$
50-100	1,5	1	1	$0^{\circ}45'$	2,5	$1^{\circ}30'$	1,5	1
100-200	1,5	1	1,5	$0^{\circ}30'$	3	1	2	$0^{\circ}45'$
200-300	3	$0^{\circ}45'$	2	$0^{\circ}30'$	4	$0^{\circ}45'$	2,5	$0^{\circ}30'$
300-500	4	$0^{\circ}30'$	2,5	$0^{\circ}20'$	5	$0^{\circ}45'$	4	$0^{\circ}30'$

Таблица 5.2.

Уклоны для кокильных отливок.

Материал отливки	Уклон поверхности отливки, % ^х			
	Наружной	Внутренней (со стороны металлического стержня) при высоте стенки, мм		
		До 50	Св.50	100-500
Чугун	1-7	4-7	2-5	1-3
Сталь	5	-	-	-
Алюминиевый сплав	1-1,5	5	2-2,5 ^{xx}	-
Магн. сплав	2,5	3	2-3	-
Медный сплав	1,5	7	3-3,5 ^{xx}	-
Цинковый сплав	0,5	2	1	-
х – от высоты отливки xx – для тонкостенных отливок.				

Значение литейных уклонов на чертеже отливки выносят в один из пунктов технических требований (рис. 5.1).

5.1.5. Определение размеров отливки и установление допустимых отклонений на неточность их изготовления

Согласно ГОСТ 26645-85 номинальный размер отливки следует принимать равным номинальному размеру детали для необрабатываемых поверхностей и сумме среднего размера детали и общего припуска на обработку – для обрабатываемых поверхностей. При определении номинальных размеров отливок учитывают технологические напуски. При этом за номинальный размер детали принимают размер, указанный на чертеже детали, за средний размер детали – размер детали, соответствующий середине поля его допуска, за общий припуск – припуск на все переходы обработки, соответствующий серединам полей допусков детали и отливки. Допуски линейных размеров отливок, изменяемых и неизменяемых обработкой, должны соответствовать указанным в ГОСТ 26645-85 (см. табл. 3.9). Допуски размеров, установленные в табл. 3.9 не учитывают допуски формы и расположения поверхностей отливок.

Допуски размеров элементов отливки, образованных двумя полуформами или полуформой и стержнем, устанавливаются соответствующими классу размерной точности отливки. Допуски размеров, образованных одной частью литейной формы или одним стержнем, устанавливают на 1,2 класса точнее. Допуски размеров, образованных тремя и более частями литейной формы, несколькими стержнями или подвижными элементами формы, а также допуски толщины стенок, образованных двумя или более частями формы или формой и стержнем, устанавливают на 1,2 класса грубее. Допуски угловых размеров в пересчете на линейные не должны превышать значений, установленных в табл. 3.9 для линейных размеров соответствующих классов точности. Допуски круглости, соосности, симметричности, пересечения осей, позиционные допуски в диаметральном выражении не должны превышать допусков на размеры, установленных в табл. 3.9. Допуск смещения отливки по плоскости разъема в диаметральном выражении устанавливают по табл. 3.9 на уровне класса размерной точности отливки по номинальному размеру наиболее тонкой из стенок отливки, выходящих на разъем или пересекающих его. Для обрабатываемых поверхностей отливок установлено симметричное расположение полей допусков, для необрабатываемых поверхностей допускается симметричное и несимметричное (частично или полностью) расположение полей допусков размеров.

Предельные отклонения линейных размеров на чертеже отливки указывают непосредственно после помещаемых размеров. Вместе с тем, ЕСКД допускает не указывать допуски непосредственно после размеров для элементов деталей, обработанных резанием с относительно низкой точностью. Такие рекомендации распространяются и на другие виды обработки и формообразования (например, для обработки давлением, литья, сварки и т.д.), а также для деталей из неметаллических материалов. В этом случае требования относительно предельных отклонений размеров с неуказанными допусками являются составной частью технических требований к изделию и определяют уровень точности изготовления. Пример оформления допустимых отклонений точности изготовления отливки см. на рис. 5.1.

5.1.6. Назначение технических требований на изготовление отливки

Технические требования на чертеже отливки излагают, группируя вместе однородные и близкие по своему характеру, по возможности в следующей последовательности:

- Требования, предъявляемые к материалу (материал, допустимые замены, ГОСТ, марка материала, марки и т.д.).
- Обозначение точности отливок, которое характеризуется указанием: класса размерной точности, степенью коробления, степенью точности поверхностей, класса точности массы и допуск смещения отливки.

Пример условного обозначения точности отливки 8 класса размерной точности, 5-й степени коробления, 4-й степени точности поверхностей, 7-го класса точности массы с допуском смещения 0,8 мм:

Точность отливки 8-5-4-7 См 0,8 ГОСТ 26645-85.

Ненормируемые показатели точности отливок заменяют нулями, а обозначение смещения опускают. Например:

Точность отливки 8-0-0-7 ГОСТ 26645-85;

- Значения номинальных масс детали, припусков на обработку, технологических напусков и массы отливки.

Пример обозначения номинальных масс, равных для детали – 20,35 кг, для припусков на обработку – 3,15 кг, для технологических напусков 1,35 кг, для отливки 24,65 кг:

Масса 20,35 – 3,15 – 1,35 – 24,65 ГОСТ 26645-85

или

Масса 20,35 – 0 – 0 – 20,35 ГОСТ 26645-85;

- Значение литейных уклонов по ГОСТ 3212-92.
- Величина неуказанных литейных радиусов.
- Вид термической обработки и твердость по Бринеллю *НВ*.
- Допустимые величины размеров остатка прибылей и литниковой системы;
- Требования, предъявляемые к поверхности отливки;
- Допустимые дефекты;
- Условия и методы испытания и др.

Пример оформления технических требований см. на рис. 5.1.

5.1.7. Указание измерительной базы и базы первоначальной обработки

Обозначение измерительной базы на чертеже отливки способствует обеспечению необходимой точности при изготовлении отдельных элементов детали. В зависимости от выбора измерительных баз и необходимой точности изготовления отдельных элементов детали применяют три системы нанесения размеров элементов: цепную, координатную и комбинированную. Комбинированная система наиболее распространена, так как обеспечивает удобство измерения при изготовлении и контроле размеров детали без дополнительных их под-

счетов. На рис. 5.1 измерительная база совпадает с верхней поверхностью отливки и обозначена цифрой 0.

В крупносерийном и массовом производствах на чертежах литой заготовки указывают исходные базы для первой обработки резанием. При выборе баз для обработки на первой операции, где установка проводится по необработанным поверхностям (черновым базам), руководствуются следующими правилами. В качестве черновых баз выбирают поверхности, относительно которых могут быть обработаны остальные поверхности (при полной обработке с одного установа) или поверхности, используемые на последующих операциях как технологические базы. В качестве черновых баз используют поверхности, остающиеся в детали необработанными с тем, чтобы обеспечивалось заданное взаимное расположение обработанных поверхностей относительно необработанных. Установка заготовки на базы должна обеспечить равномерное распределение припусков на последующую обработку наиболее ответственных поверхностей. Поверхности, принятые в качестве черновых баз, должны иметь достаточные размеры, конфигурацию и шероховатость, обеспечивающие необходимую точность и жесткость закрепления заготовки в приспособлении. Технологические базы указывают в документах как в виде теоретических схем базирования по ГОСТ 21495-76, так и в виде схем установки. На рис. 5.1 дан пример нанесения обозначений неподвижных опор Δ и зажимов $\downarrow$, определяющих указание технологической базы в виде теоретической схемы первоначальной обработки отливки “Основание”.

Контрольные вопросы

1. В какой последовательности разрабатывается чертеж отливки?
2. Как определяется положение отливки в форме?
3. Что собой представляют напуски и как они назначаются?
4. Как назначаются литейные уклоны?
5. От каких факторов зависят допуски на размеры отливки?
6. Как назначаются технические требования на отливку?
7. Как обозначаются измерительные базы и базы предварительной обработки отливки?

5.2. Разработка технологического процесса литья

Технологический процесс изготовления отливки проектируют в определенной последовательности и в соответствии со стандартами ЕСКД (в частности, с ГОСТ 2.423-88), ЕСТД и др.

5.2.1. Проектирование технологии изготовления отливок в условиях единичного и мелкосерийного производств

Прежде чем приступить к проектированию технологического процесса изготовления отливки, необходимо выбрать наиболее рациональный способ ее производства, который наряду с требующимися служебными свойствами изде-

лия обеспечил бы наиболее высокие технико-экономические показатели производства. Рекомендации и методика выбора оптимального технологического процесса для изготовления конкретной отливки даны в разделе 3 настоящего пособия.

При проектировании технологии:

1. Оформляют чертеж отливки. При этом допускается на чертеже детали наносить модельно-литейные указания:

- обозначение разъемов модели, формы и положение отливки при заливке.
- изображение припусков и уклонов.
- изображение напусков
- изображение и обозначение стержней.
- изображение и обозначение отъемных частей модели.
- изображение и обозначение литниковой системы и прибылей.
- изображение и обозначение холодильников.
- изображение усадочных ребер, стяжек, проб для испытаний или исследований и технологических приливов.
- изображение жеребеек и обозначение мест вывода газов из формы и стержней.

Обозначение разъемов модели, формы и положение отливки при заливке показывают на учтенной копии чертежа детали отрезком или ломаной штрихпунктирной линией по правилам, рассмотренным в разделе 5.1 настоящего пособия.

Изображение припусков на копии чертежа осуществляется сплошной тонкой линией. Согласно ГОСТ 3.1125-88 допускается выполнять линию припуска красным цветом. Величину припуска на механическую обработку указывают цифрой перед знаком шероховатости поверхности детали. Литейный уклон поверхности детали и его величина изображаются линией выноской с полкой. Над полкой размещают знак уклона , после которого ставят значение величины уклона.

Пример оформления чертежа отливки см. на рис. 5.3.

Технологические напуски, в виде впадин, отверстий малого размера и т.п., не выполняемые при литье, зачеркивают сплошной тонкой линией крест на крест, которую допускается выполнять красным цветом.

Изображение и обозначение стержней, их знаков и фиксаторов, стержней-перемычек, разделительные диафрагмы легкоотделяемых прибылей и знаки модели осуществляют в масштабе чертежа сплошной тонкой линией, которую допускается выполнять синим цветом. Контуры стержней и знаков следует наносить при минимальном числе изображений, обеспечивая при этом необходимое для изготовления модельного комплекта представление о контурах, расположении стержней и размерах знаков. Стержни в разрезе следует штриховать только у контурных линий. Длина линий 3...30 мм. Правила нанесения штриховки – по ГОСТ 2.306-88. Невидимые контуры стержневых знаков и стержней допускается наносить в случае, когда затрудняется представление об их форме

и расположении. Размеры знаков стержней и зазоры между знаками стержней и модели – по ГОСТ 3606-80. Стержни обозначают буквами Ст и порядковыми номерами, например, Ст.3. Номер стержня проставляют на минимально необходимом количестве изображений, но достаточном для однозначного понимания. Пример изображения стержней см. на рис. 5.4.

Изображение и обозначение отъемных частей модели. Линию соприкосновения отъемной части с моделью показывают сплошной основной линией на чертеже детали. Отъемную часть модели обозначают буквами ОЧМ и порядковым номером, которые размещают над полкой выносной линии. Пример изображения и обозначения отъемных частей модели см. на рис. 5.5.

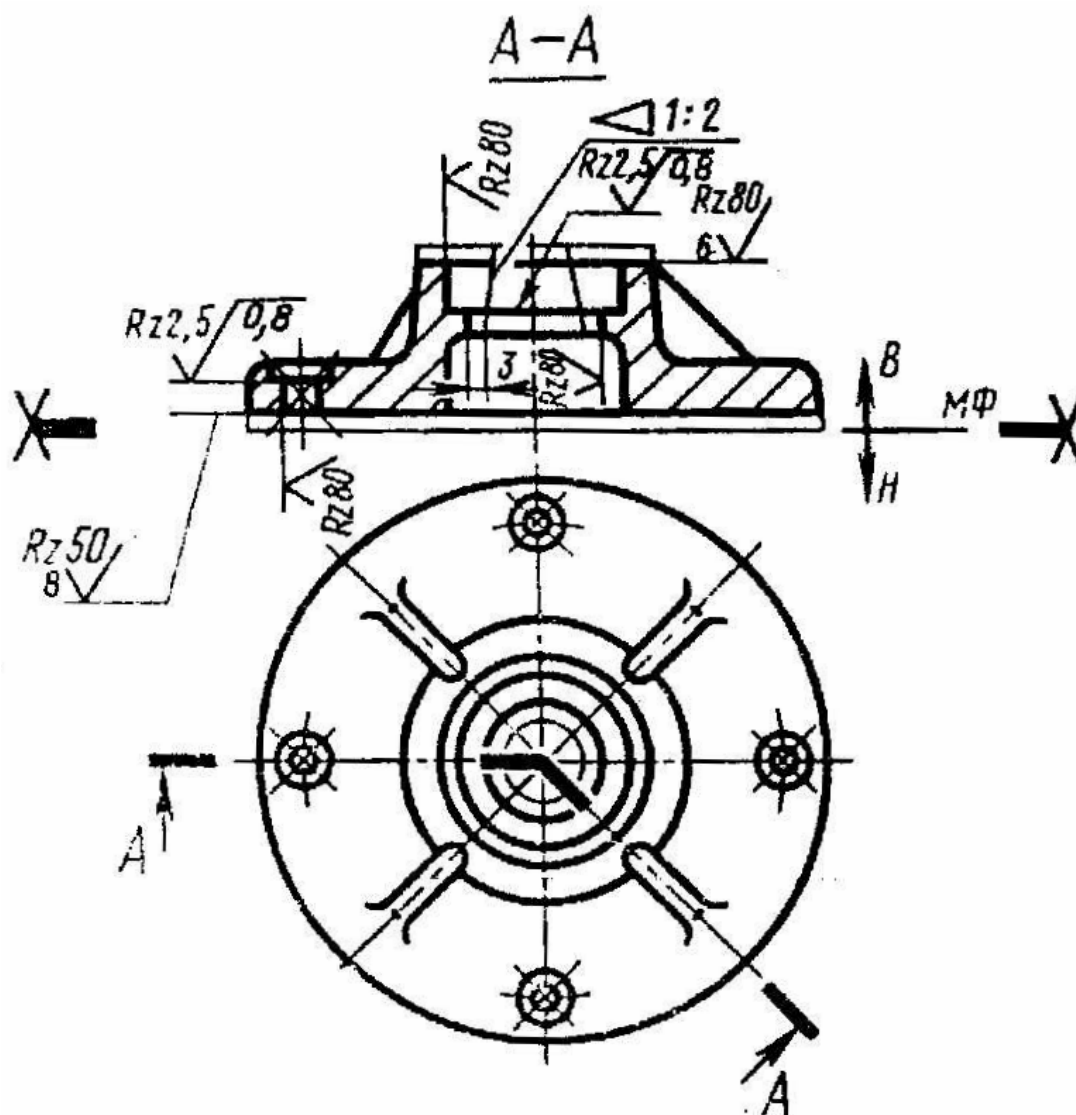


Рис. 5.3. Оформление отливки на чертеже детали.

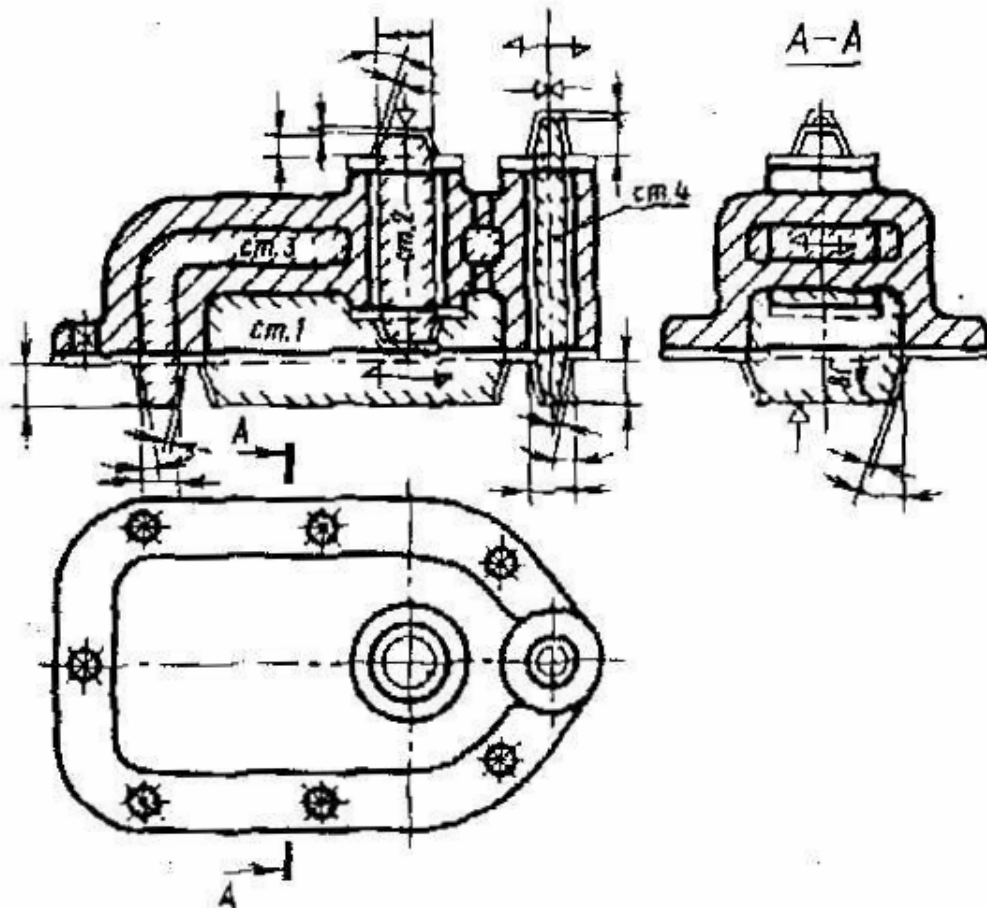


Рис. 5.4. Пример изображения стержней на чертеже детали.

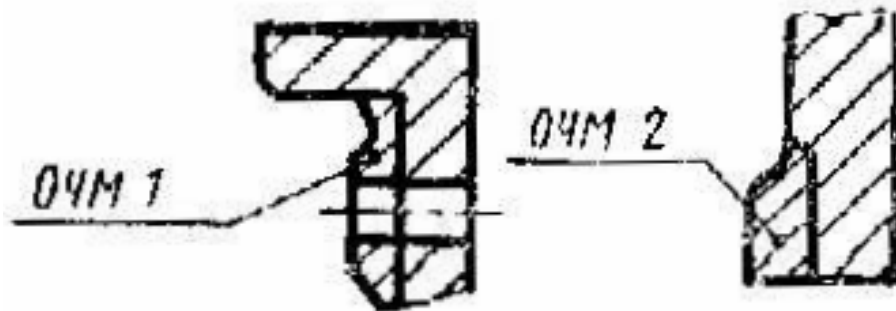


Рис. 5.5. Обозначение отъемных частей модели.

Изображение и обозначение литниковой системы выполняют в масштабе сплошной тонкой линией и ее допускается выполнять красным цветом. В случае, если на копии чертежа детали недостаточно места для изображения литниковой системы в масштабе, то допускается изображать ее с отступлением от масштаба. Сечения элементов литниковой системы не штрихуют. У каждого сечения элементов литниковой системы допускается указывать площадь сечения в квадратных сантиметрах, количество элементов и суммарную площадь их. Площади сечений обозначают: питателей - F_n , шлаковиков - $F_{шл}$, стояков -

$F_{ст}$ и т.д. Суммарные площади обозначают: питателей $\sum F_n$, стояков $\sum F_c$ и т.д. При выполнении литниковой системы в керамических сифонных трубках, их изображение не приводят. В технических требованиях чертежа детали помещают надпись: "На участке ... литниковую систему выполнять в керамических трубках по ГОСТ ...". Пример изображения литниковой системы см. на рис. 5.6.

Прибыль обозначают порядковым номером на полке линии выноски, перед которым ставят слово "Прибыль". Если на отливке устанавливают несколько одинаковых прибылей, то им присваивают одинаковые номера и на полке линии-выноски после номера прибыли указывают общее количество устанавливаемых на отливке прибылей этого номера. Прибыль изображают сплошной тонкой линией (рис. 5.7), которую допускается выполнять красным цветом. Места установки газообразующих патронов обозначают штрихпунктирной линией с выносной линией, на полке которой размещают надпись "Газообразный патрон".

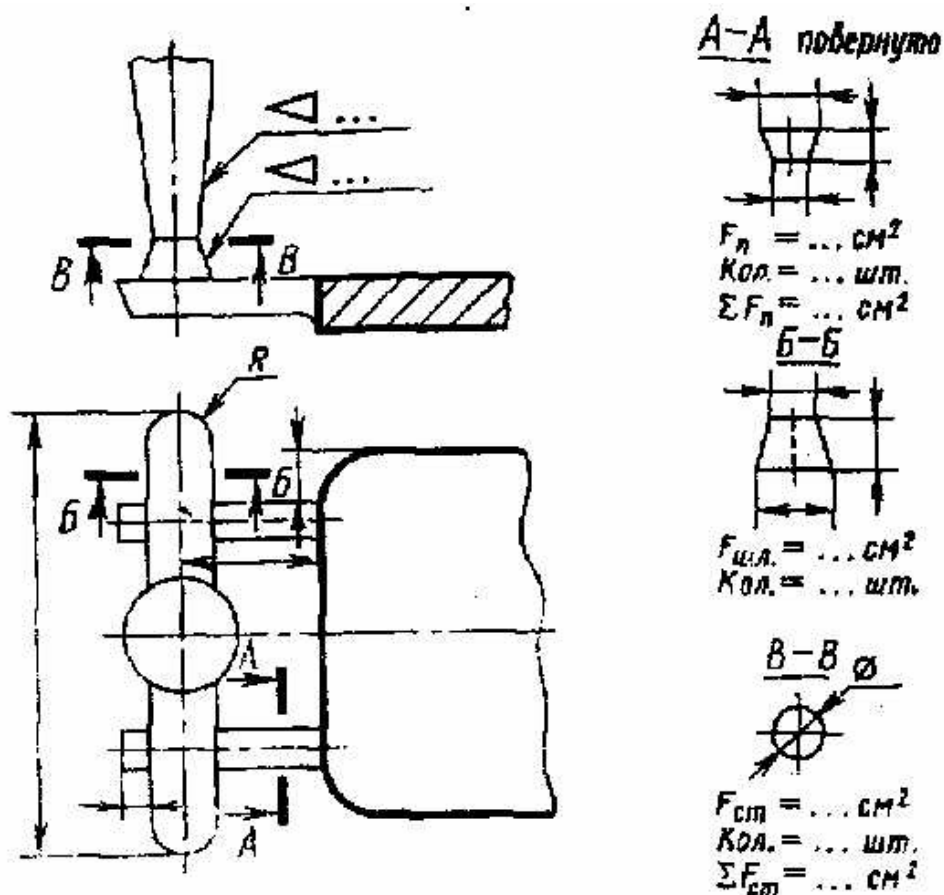


Рис. 5.6. Пример изображения литниковой системы.

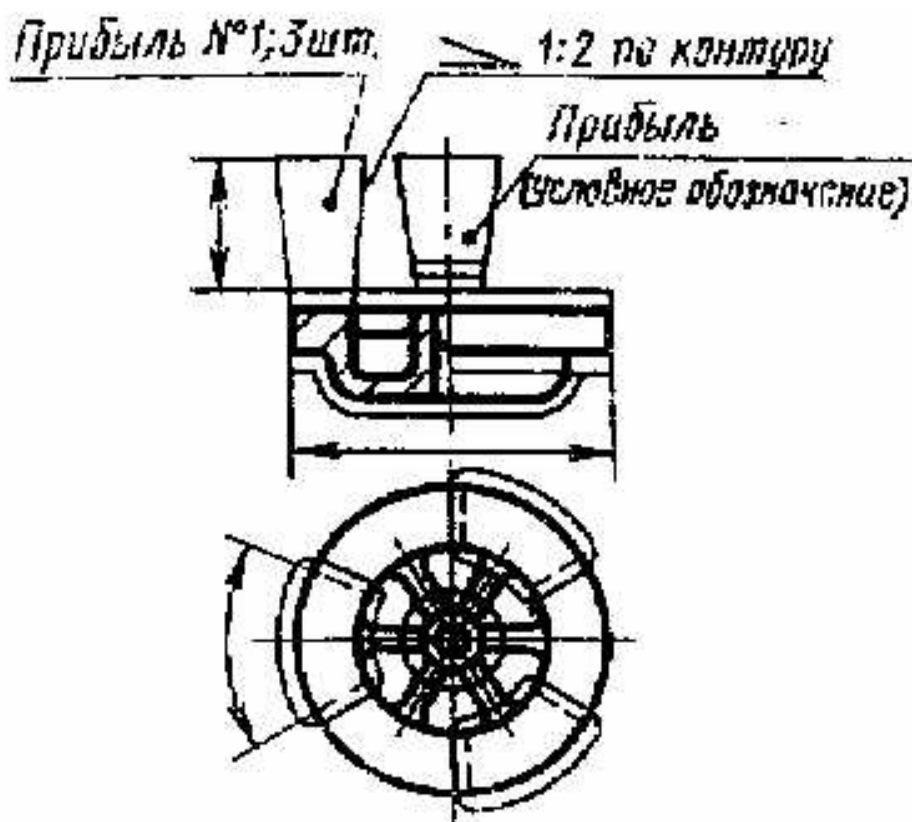


Рис. 5.7. Пример изображения прибыли.

Изображение и обозначение холодильников выполняют в масштабе изображения детали сплошной тонкой линией с указанием размеров холодильников. Контуры холодильников допускается выполнять зеленым цветом. В сечениях холодильники штрихуют. Обозначение холодильников состоит из слова "Хол", порядкового номера, количества холодильников, которые проставляют на полке линии-выноски.

Изображение усадочных ребер, стяжек, проб для испытаний или исследований и технологических приливов осуществляется в масштабе изображения детали сплошной тонкой линией, которую допускается выполнять красным цветом. Примеры изображения проб для испытаний и исследований даны на рис. 5.2 настоящего пособия.

Жеребейки изображают в соответствии с требованиями ГОСТ 3.1125-88 в виде сечений стоек с полками: I, II и других фигур.

2. Заполняют технологическую карту, в которой определяют порядок операций и методику изготовления отливки.

3. Вычерчивают чертеж (или эскиз) собранной формы со всеми размерами. Он должен давать представление о расположении стержней литниковой системы, холодильников, выпоров, прибылей. С этой целью вычерчивают минимально необходимое число разрезов формы с тем, чтобы можно было собрать форму, не прибегая к помощи чертежа отливки.

5.2.2. Проектирование технологическо - конструкторской документации изготовления отливки при крупносерийном и массовом производстве

В условиях массового и крупносерийного производства разрабатывают: 1. Чертеж отливки. 2. Технологическую карту изготовления отливки. 3. Чертежи технологической оснастки: модельный комплект или кокиль или прессформу, стержневые ящики, опоки, плиты для сушки стержней и др. 4. Чертеж литейной формы в сборе.

5.2.2.1. Методика разработки чертежа отливки изложена в разделе 5.1 настоящего пособия

5.2.2.2. Разработка технологической карты отливки

Технологическая карта отливки фиксирует технологический процесс, она определяет, как порядок, так и условия выполнения технологических операций при изготовлении отливки. В ней перечисляют необходимые материалы, оборудование, оснастку, основной и вспомогательный инструмент, норму выработки в смену, разряд рабочих, часовую тарифную ставку и расценки на одну отливку, указывают основные технологические режимы. Пример оформления упрощенной технологической карты дан в табл. 5.3.

Таблица 5.3.

Формуляр технологической карты.

Наименование технологический операций	Основные режимы и характеристики операций	Применяемая оснастка и инструмент	Оборудование

5.2.2.3. Разработка комплекта моделей для песчаных форм

Модель отличается по конфигурации и размерам от чертежа отливки. В зависимости от конструкции отливки она может быть неразъемной или разъемной, состоящей из двух или более частей. Если в отливке необходимо выполнить отверстия, полости с помощью стержней, то модель снабжают специальными выступающими частями – стержневыми знаками. С помощью стержневых знаков в литейной форме образуют углубления, предназначенные для установки и закрепления стержней.

Размеры модели должны быть больше размеров отливки на величину литейной усадки сплава.

Модель должна быть легкой, но достаточно жесткой.

Для машинной формовки модели монтируют на специальных плитах, которые называют модельными. Модельный комплект состоит из плит и расположенных на них моделей верха и низа отливки, фиксирующих штырей, моделей литниковой системы и т.п.

При проектировании моделей необходимо пользоваться ГОСТ 3212-92 – "Комплекты модельные. Уклоны формовочные, стержневые знаки, допуски размеров" и другой учебной и справочной литературой. Стандарт распространяется на модельные комплекты, предназначенные для изготовления песчаных

и оболочковых форм для получения отливок и устанавливает значения формовочных уклонов, в том числе и для литья по выплавляемым моделям, размеры стержневых знаков и допуски размеров. Стандарт не распространяется на модели элементов литниковой системы (стояк, выпор, прибыль и др.).

При проектировании стержневых знаков, в зависимости от положения стержня при сборке литейной формы стержневые знаки подразделяются на горизонтальные и вертикальные. Длина горизонтальных знаков должна соответствовать указанному: для форм "по-сухому" - в табл. 5.4, для форм "по-сырому" - в табл. 5.5, для форм, твердеющих в контакте с оснасткой – в табл. 5.6.

Таблица 5.4.

Размеры горизонтальных стержневых знаков для форм "по – сухому".

Диаметр отверстия или $\frac{a+b}{2}$, мм	Длина знака не более при длине стержня, мм							
	До 40	Св.40 до 63	Св.63 до 100	Св.100 до 160	Св.160 до 250	Св.250 до 400	Св.400 до 630	Св.630 до 1000
До 25	15	20	-	-	-	-		
Св.25 до 40	20	25	30	35	40	-	-	
Св.40 до 63	20	25	30	35	40	50		
Св.63 до 100	25	30	35	40	45	55	65	-
Св.100 до 160	25	30	35	40	45	55	65	-
Св.160 до 250	30	35	40	50	55	60	70	75
Св.250 до 400	35	40	45	50	55	60	70	75
Св.400 до 630	35	45	50	55	60	65	75	90

Таблица 5.5.

Размеры горизонтальных стержневых знаков для форм "по - сырому".

Диаметр отверстия отливки или $\frac{a+b}{2}$, мм	Длина знака не более при длине стержня, мм							
	До 40	св.40 до 63	св. 63 до 100	св.100 до 160	св.160 до 250	св.250 до 400	св.400 до 630	св.630 до 1000
до 25	-	-	-	35	-	-	-	-
Св.25 до 40	-	-	30	35	45	50	-	-
Св.40 до 63	20	25	30	40	50	60	75	95
Св.63 до 100	20	25	35	45	55	65	85	105
Св.100 до 160	35	25	35	50	60	75	95	115
Св.160 до 250	35	40	40	50	65	80	100	125
Св.250 до 400	40	40	45	60	75	85	110	140
Св.400 до 630	40	40	45	65	85	100	130	160
Св.630 до 1000		-	-	-	-	115	150	180

Примечание: a и b – размеры отверстия в поперечном сечении.

Таблица 5.6.

Размеры горизонтальных стержневых знаков для форм, твердеющих в контакте с оснасткой.

Диаметр отверстия или $\frac{a+e}{2}$, мм	Длина знака, не более, при длине стержня, мм							
	До 40	Св.40 до 63	Св.63 до 100	Св.100 до 160	Св.160 до 250	Св.250 до 400	Св.400 до 630	Св.630 до 1000
До 25	10	15	20	25				
Св.25 до 40	10	15	20	25				
Св.40 до 63	10	15	20	25	30	35	40	-
Св.63 до 100	15	20	30	30	35	40	45	50
Св.100 до 160	15	20	30	30	35	40	45	50
Св.160 до 250	20	25	30	35	40	45	50	55
Св.250 до 400	25	30	35	40	45	50	55	60
Св.400 до 630			40	45	50	60	65	80

Длина горизонтальных знаков, при выполнении в них элементов литниковой системы, может быть увеличена по сравнению со значениями, указанными в табл. 5.4-5.6, в зависимости от ее конструкции.

При количестве знаков более двух длина должна быть уменьшена на 30...50% по сравнению с указанными в табл. 5.4-5.6, аналогично назначается длина грибообразного стержня.

Длина знака консольного стержня может быть увеличена до длины выступающей части.

Высоту нижних вертикальных знаков для всех видов смесей следует назначать в соответствии с табл. 5.7.

Таблица 5.7.

Размеры нижних вертикальных стержневых знаков.

Диаметр отверстия или $\frac{a+e}{2}$, мм	Высота знака, не более, при высоте стержня, мм							
	До 40	Св.40 до 63	Св.63 до 100	Св.100 до 160	Св.160 до 250	Св.250 до 400	Св.400 до 630	Св.630 до 1000
До 25	20	30	30	30	-	-	-	-
Св.25 до 40	20	30	30	30	50	60	-	-
Св.40 до 63	25	35	35	5	40	60	-	-
Св.63 до 100	25	35	35	35	40	60	80	110
Св.100 до 160	30	35	35	35	40	60	70	100
Св.160 до 250	30	35	35	35	40	60	70	100
Св.250 до 400	30	35	35	35	40	40	60	80
Св.400 до 630	40	40	40	40	40	40	50	80

При соотношении длины к диаметру стержня более 5 нижний знак рекомендуется выполнять утолщенным, диаметр которого должен быть в 1,5...2 раза более диаметра стержня.

Высоту верхнего вертикального знака следует принимать не менее 0,5 от высоты нижнего знака.

Для массового и крупносерийного производств допускается назначать высоту нижнего и верхнего знаков одинаковыми.

При отсутствии верхнего вертикального знака высоту нижнего знака допускается увеличивать до 50% по сравнению с указанными в табл.5.7.

Уклоны на знаковых поверхностях должны соответствовать указанным в табл.5.8.

Таблица 5.8.

Уклоны на знаковых поверхностях.

Высота знака, мм	Уклон знаков модельного комплекта			
	Для низа		Для верха	
	угол, °	мм	угол, °	мм
До 40	10	4,5	15	8,2
Св.40 до 63	7	5,5	10	9,0
Св.63 до 100	6	8,5	8	11,7
Св.100 до 160	5	11,5	6	16,0
Св.160 до 250	5	14,0	6	19,0
Св.250 до 400	5	17,0	6	23,0
Св.400 до 630	4	21,0	5	27,5
Св.630 до 1000	3	25,0	4	32,2

Для удобства сборки между знаками литейной формы и стержня предусматриваются зазоры, размеры которых в зависимости от габаритов знаков, длины стержней и точности изготовления модельного комплекта колеблются от 0,2 мм (высота, длина знака до 25 мм) до 3,0 мм (высота, длина знака до 600 мм).

В качестве материала для изготовления моделей и стержневых ящиков применяют: дерево, алюминиевые, медные сплавы, чугуны, пластмассы.

Данные для выбора толщины стенок металлических моделей и стержневых ящиков приведены в табл. 5.9, 5.10.

Таблица 5.9.

Толщина стенок металлических моделей.

Средний размер, мм <i>длина+ширина модели</i> 2	Толщина стенки модели, мм из сплава		
	Алюминиевый сплав	Медный сплав	Чугун
До 200	6-7	4-6	6-7
200-400	7-8,5	6-7	6,5-7,5
400-600	8,5-10	7-8	7,5-8,5
600-800	10-11	8-9	8,5-9,5
800-1000	11-12	9-10	9,5-11

Таблица 5.10.

Толщина стенок стержневых ящиков.

Ящики	Толщина стенки ящика, мм для стержней		
	мелкие	средние	крупные
Алюминиевые	8	10	12-15
Чугунные	9	7-8	10

Величина припуска на усадку выбирается в зависимости от материала отливки. Среднее значение литейной усадки для различных сплавов приведено в табл. 5.11.

Таблица 5.11.

Литейная усадка сплавов.

Сплав	Литье	Литейная усадка, %
Серый чугун	мелкое	0,8-1,2
	среднее	0,6-1
	крупное	0,4-0,8
Медные оловянные сплавы	мелкие	1-1,2/1,6-2
	средние	0,9-1,1/1,5-1,9
	крупные	0,8-1/1,4-1,8
Медные безоловянные сплавы Алюминиевые и магниевые сплавы	мелкие	1-1,5
	средние	0,8-1,4
	крупное	0,8-1,3
Примечание: нижние пределы применяются для деталей с затрудненной усадкой, отливаемых в сухие формы.		

Согласно ГОСТ 20131-80 – "Плиты модельные. Типы. Основные размеры. Технические требования". Модельные плиты изготавливаются литьем из стали, чугуна и легких цветных сплавов; сварными из стального проката, из пластмассы.

Толщину подмодельных плит с учетом ребер жесткости выбирают в пределах 45...100 мм.

ГОСТ 3212-92 – "комплекты модельные" устанавливает девять классов точности изготовления модельных комплектов. Допуски размеров модельных комплектов взаимосвязаны с допусками размеров отливок по ГОСТ 26645-85 и приведены в табл. 5.12.

Класс точности модельного комплекта назначается в соответствии с табл. 5.13.

Таблица 5.12.

Допуски размеров модельных комплектов.

Интервал номинальных размеров, мм	Допуски размеров модельных комплектов для классов точности, мм								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
До 10	0,04	0,07	0,11	0,18	0,28	0,44	0,72	1,00	-
Св.10 до 16	0,05	0,08	0,13	0,20	0,32	0,50	0,80	1,26	-
Св.16 до 25	0,06	0,09	0,14	0,22	0,36	0,56	0,90	1,44	2,2
Св.25 до 40	0,06	0,10	0,16	0,25	0,40	0,61	1,00	1,60	2,5
Св.40 до 63	0,07	0,11	0,18	0,28	0,44	0,72	1,14	1,80	2,8
Св.63 до 100	0,08	0,13	0,20	0,32	0,50	0,80	1,26	2,00	3,2
Св.100 до 160	0,09	0,14	0,22	0,36	0,56	0,90	1,44	2,20	3,6
Св.160 до 250	0,10	0,16	0,25	0,40	0,64	1,00	1,60	2,50	4,0
Св.250 до 400	0,11	0,18	0,28	0,44	0,72	1,14	1,80	2,80	4,4
Св.400 до 630	0,13	0,20	0,32	0,50	0,80	1,26	2,00	3,20	5,0
Св.630 до 1000	0,16	0,22	0,36	0,56	0,90	1,44	2,20	3,60	5,6

Таблица 5.13.

Класс точности модельного комплекта.

Класс точности отливок по ГОСТ 26645-85	Класс точности модельного комплекта
4,5 т	1
5,6	2
7,7т	3
8,9т	4
9,10	5
11т,11	6
12,13т	7
13,14	8
15,16	9

Пример условного обозначения точности модельного комплекта (МК):
металлического для отливки 9,10 класса

Точность МК-5 – металл ГОСТ 3212-92.

Шероховатость рабочей поверхности модельного комплекта стержневых ящиков должна соответствовать $R_a=1,25-0,63$ мкм по ГОСТ 2789-73.

Размеры и расположение крепежных пазов у подмодельных плит должны соответствовать пазам стола формовочной машины, применяемой для изготовления литейной формы.

При расположении на одной подмодельной плите нескольких моделей расстояния между кромками моделей отливок и моделей литниковой системы зависят от массы отливки. В табл. 5.14. даны рекомендуемые расстояния между моделями и внешними границами формы.

Таблица 5.14.

Расстояния между моделями и границами литейной формы.

Масса отливки, мм	От верха модели до верха опоки, мм	От низа модели до низа опоки, мм	От модели до стенок опоки, мм	От кромки стояка до стенки опоки, мм	Между кромками моделей, мм	От кромки шлакоуловителя до кромки модели, мм
До 5 кг	40	40	30	30	30	30
5-10	50	50	40	40	40	40
10-25	60	60	40	50	50	30
25-50	70	70	50	50	60	40
50-100	90	90	50	60	70	50
100-250	100	100	60	70	100	60

Пример конструктивного оформления модельной оснастки приведен на рис. 5.9.

5.2.2.1. Выбор и расчет литниковой системы и прибылей

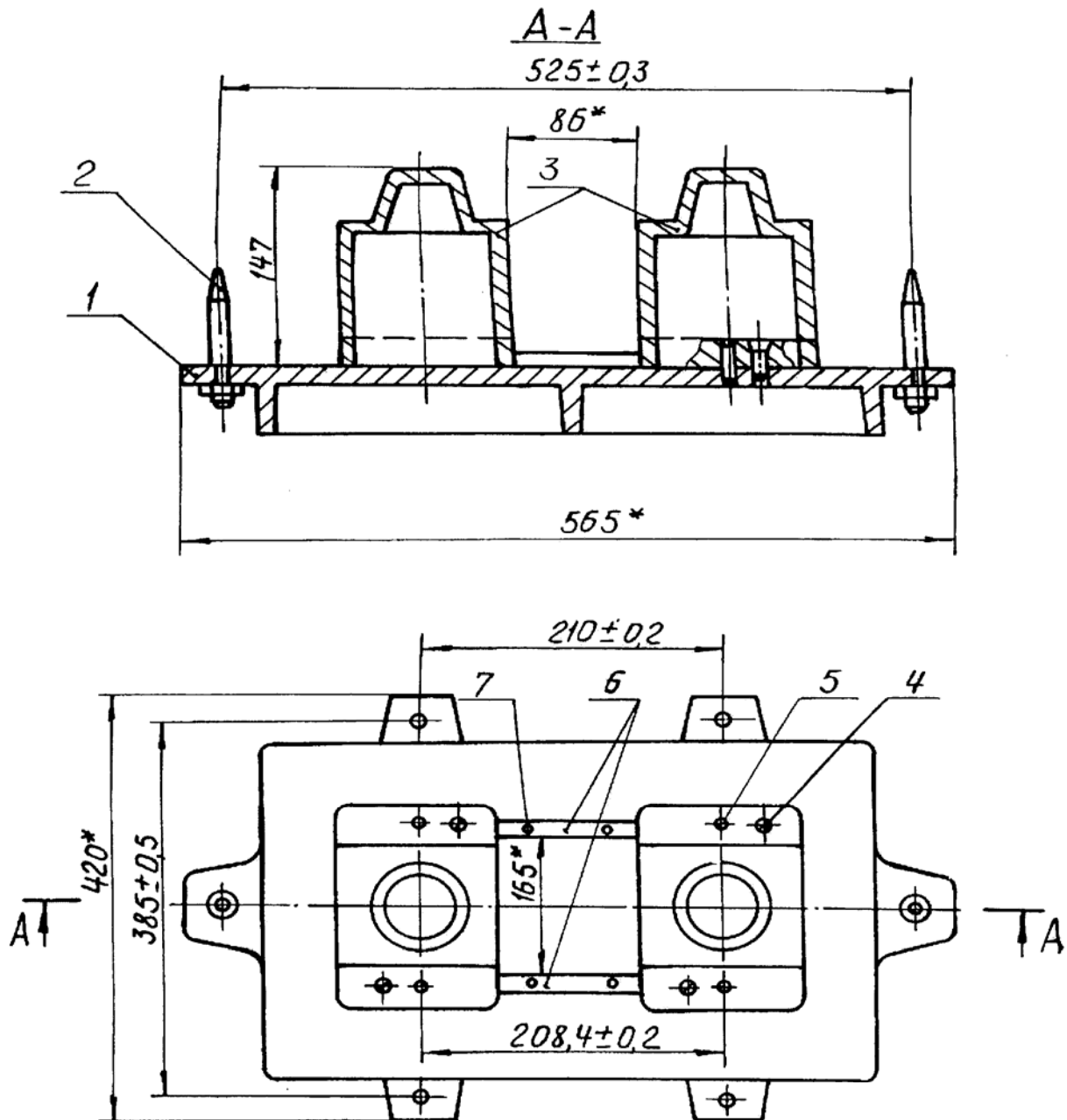
Расчет литниковой системы заключается в выборе места подвода металла, определения типа литниковой системы, расчете продолжительности заливки, расчете сечений основных элементов литниковой системы.

Подвод металла к тонким сечениям отливки можно рекомендовать для чугунных и стальных отливок, неоднородных по толщине стенок, в особенности, если они имеют довольно большие линейные размеры и относительно тонкие сечения.

Подвод металла в массивные части отливки рекомендуется для отливок, склонных к образованию больших усадочных раковин. Такой подвод металла создает направленное затвердевание, при котором "вышележащая часть отливки служит прибылью для нижележащей".

Тип литниковой системы определяется методом подвода металла в полость формы, основные из которых следующие: подвод металла сверху, подвод металла снизу, подвод металла сбоку, подвод металла на нескольких уровнях. Существуют следующие рекомендации по выбору типа литниковых систем:

Подвод металла сверху желателен при изготовлении массивных толсто-стенных отливок из различных сплавов, сравнительно простых по конфигурации, имеющих относительно небольшую высоту.



1. Модели фиксировать на плите контрольными штифтами с последующим закреплением винтами.
2. Торцевые поверхности винтов и штифтов разместить заподлицо с моделями.
3. *Размеры для справок.

1. Модели фиксировать на плите штифтами с последующим закреплением винтами.
2. Торцевые поверхности винтов и штифтов разместить заподлицо с моделями.
3. *Размеры для справок.

Рис. 5.9. Модельный комплект низа формы.

1-плита; 2-штирь; 3-модели отливки; 4-винт; 5-штифт; 6-модели питателей.

Подвод металла снизу применяется для тонкостенных отливок сравнительно небольшой высоты имеющих сложную конфигурацию.

Подвод металла сбоку применяется для всех видов литья. Он облегчает изготовление формы, наиболее приемлем для чугуновых и стальных отливок.

Подвод металла на нескольких уровнях рекомендуется для отливок, имеющих значительную высоту и сложную конфигурацию.

Выбранный способ подвода металла к отливке и тип литниковой системы должны обеспечить: наиболее короткий путь металла, чтобы он сильно не охлаждался; отделение от металла шлака и др. включений; спокойное заполнение формы; не создавать торможение усадки при затвердении отливки; получение качественной отливки при возможно меньшем расходе металла на литниковую систему.

Существует множество методик для расчета элементов литниковой системы [38], из которых можно выделить: расчетную, расчетно-графическую, определение сечений элементов литниковой системы по номограммам.

Расчет литниковых систем сводится к определению наименьшего сечения литниковой системы $F_{н.с.}$. По сечению $F_{н.с.}$ определяют остальные элементы литниковой системы.

$$\sum F_{н.с.} = \frac{Q}{tK}, \text{ см}^2 \quad (5.1)$$

где $F_{н.с.}$ - суммарное наименьшее сечение литниковой системы;

Q - масса жидкого металла, заливаемого через литниковую систему, кг;

t - продолжительность заливки, кг/см² сек;

K - объемный коэффициент отливки.

$$K = \frac{Q}{V}, \quad (5.2)$$

где V - объем отливки, дм³;

$t = S\sqrt[3]{\delta Q}$ - для мелких отливок; $t = S\sqrt{\delta Q}$ - для крупных отливок;

где S - коэффициент, учитывающий способ заливки и толщину стенок отливки;

δ - приведенная толщина стенки отливки, мм.

Наиболее простым и достаточно надежным способом определения $F_{н.с.}$ является способ с использованием табличных данных: табл. 5.15; 5.16 для отливок из чугуна, стали и цветных сплавов.

После определения $\sum F_{пит}$ сечение шлакоуловителя $F_{шл}$ и стояка $F_{ст}$ устанавливают из соотношения:

$$\text{- для серого чугуна } \sum F_{пит} : F_{шл} : F_{ст} = 1 : 1,2 : 1,4 \quad (5.3)$$

$$\text{- для стали } \sum F_{пит} : F_{шл} : F_{ст} = 1 : 1,1 : 1,2 \quad (5.4)$$

$$\text{- для алюминиевых сплавов } \sum F_{пит} : F_{шл} : F_{ст} = 4 : 2 : 1 \quad (5.5)$$

$$\text{- для медных сплавов } \sum F_{пит} : F_{шл} : F_{ст} = 2 : 2 : 1 \quad (5.6)$$

Так как сталь и некоторые цветные сплавы имеют повышенную усадку, то во избежание образования усадочных раковин в отливке, в массивных частях ее, ставят прибыли. Примерный размер прибылей определяется следующим образом: диаметр прибыли берется в 1,3 большим толщины стенки или питаемого узла; высота прибыли в 1,5 больше ее диаметра; протяженность прибыли составляет 30...40% от протяженности отливки.

Таблица 5.15.

Суммарное сечение питателей для отливок из черных сплавов.

Масса отливки, кг	Для чугуна			Для стали		
	питатели			Питатели		
	$\sum F_{пит}, \text{см}^2$	Длина мм, не более	кол-во шт.	$\sum F_{пит}, \text{см}^2$	Длина мм, не более	кол-во, шт.
До 10	0,3-0,85	10-30	1-3	4,2-3,6	10-20	1-3
10-50	0,6-1,5	30-35	3-4	5-8	25-30	2-4
50-100	1-1,5	30-35	5-6	8-11	30-35	3-5
100-200	1-1,5	30-35	7-8	11-16	35-40	4-6

Таблица 5.16.

Суммарное сечение питателей для отливок из цветных сплавов.

Для цветных сплавов			
Масса отливки, кг	$\sum F_{пит}, \text{см}^2$	Кол-во питателей	Длина мм, не более
0,2-1,8	0,3-0,85	1-2	10-30
1,8-5,2	0,65-0,85	2-3	25-30
5,2-14,8	0,85-1	3-4	30-35
14,8-29,3	1,0-1,5	4-5	35-50

5.2.3. Проектирование стержневых ящиков

Конструкция стержневого ящика зависит от формы и размеров стержня и способа его изготовления. По конструкции ящики подразделяют на неразъемные (вытряхные) и разъемные, которые для удаления из них стержня разбираются на две и больше частей.

Размер рабочей полости и стержневого ящика увеличивается на величину усадки отливки, табл. 5.1. Для свободного удаления стержня из ящика на соответствующих его поверхностях предусматривают формовочные уклоны, табл. 5.1, 5.2, 5.8.

Разъемные стержневые ящики выполняются с горизонтальным, вертикальным или иным разъемом [21]. Части разъемного ящика скрепляют с помощью клиньев, крючков, стяжек.

Металлические стержневые ящики выполняют тонкостенными, толщину стенки выбирают в зависимости от материала и размеров ящика, табл. 5.10.

С целью увеличения жесткости стержневой ящик с внешней стороны снабжается ребрами жесткости, а в плоскостях набивки и разъема для увеличения прочности – бортиками, которые для предохранения от быстрого износа

бронируют отдельными пластинами. Основные правила конструирования ящиков регламентирует ГОСТ 13355-74 – "Ящики стержневые металлические".

Большое распространение получили пескодувный и пескострельный способы изготовления стержней.

Все большее применение находят способы изготовления стержней в нагреваемой оснастке и из холоднотвердеющих смесей (Х.Т.С.). Нагреваемая оснастка состоит из соответственно стержневого ящика, системы нагрева, системы толкателей для удаления стержня из ящика, системы спаривания и вентиляции. Она должна выдерживать значительные внутренние термические напряжения, возникающие при нагреве до 300°C и последующем охлаждении, и сохранять при этом высокую прочность.

При изготовлении стержней пескодувным способом из ХТС необходимо использовать увеличенные в полтора-два раза формовочные уклоны, так как стержни извлекаются из ящиков в отвержденном состоянии. Предусматривается механизированное извлечение стержней системой толкателей.

Процесс изготовления стержней выбранным способом и применяемое оборудование см. в работе [39] и др.

Пример оформления конструктивной схемы стержневого ящика см. на рис. 5.10.

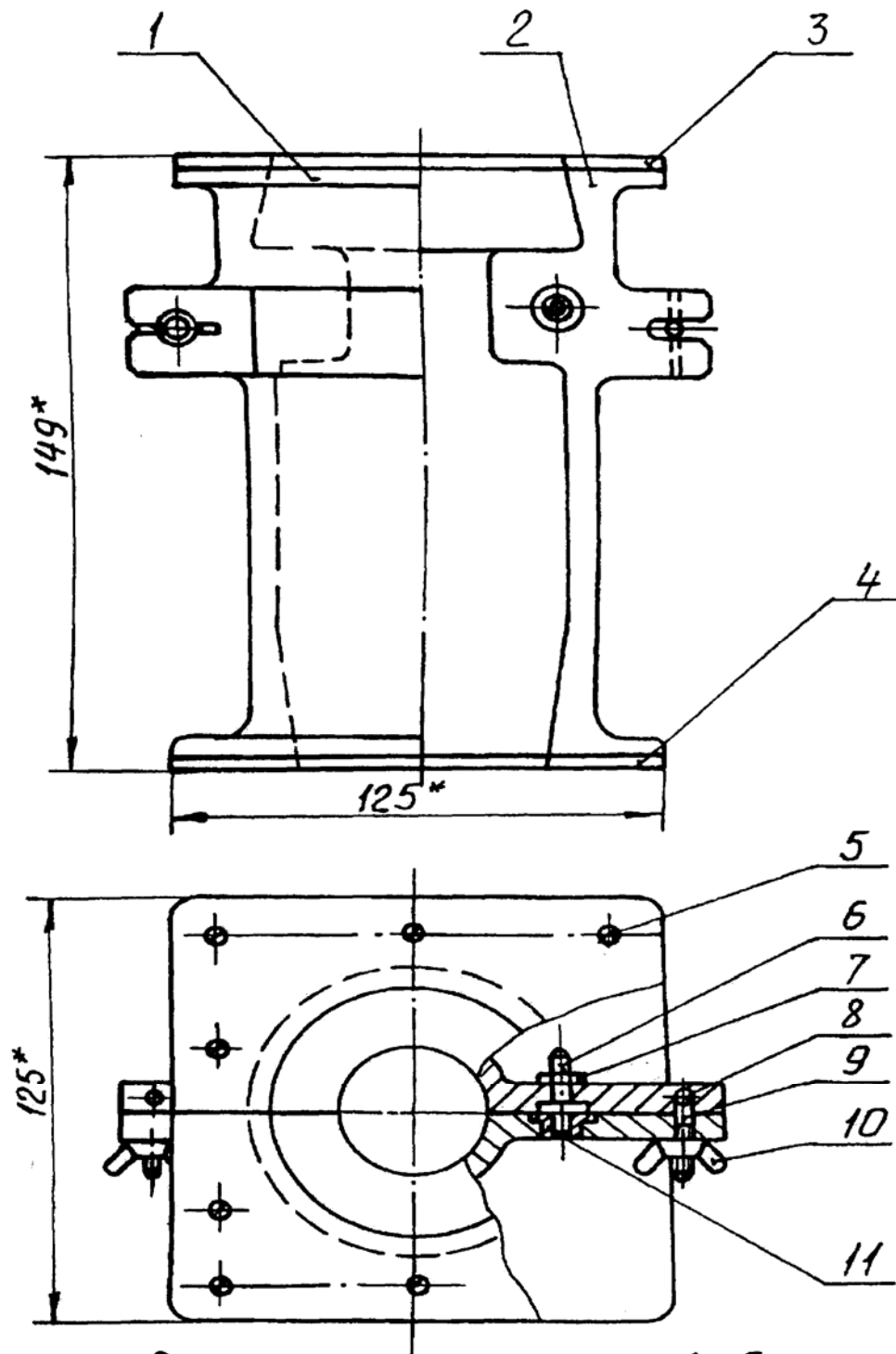
5.2.4. Выбор опок.

Опоки классифицируются по способу изготовления, конфигурации, массе, размерам и применению. По способу изготовления применяют опоки: цельнолитые, сварные, сварно-литые. По конфигурации подразделяются на прямоугольные, квадратные, круглые и фасонные. По массе: до 30 кг; до 50, более 50 кг. По применению: парные для машинной формовки, для ручной и пескометной формовки, одиночные верхние опоки для формовки в почве, автоматные опоки.

Размеры опок выбирают – в зависимости от размеров модельной оснастки и стола машины. Характеристикой служит размер опок в свету (т.е. без учета толщины стенок и уклонов) или средний размер длина плюс толщина, а для круглых опок – диаметр. В табл. 5.14 даны рекомендуемые расстояния между моделями и внешними границами формы. По ним можно подсчитать необходимые размеры опок. Расчетные размеры опок приводятся в соответствие с размерами, рекомендуемым ГОСТом 2133-75 – "Опоки литейные и основные размеры".

Контрольные вопросы

1. Каков порядок проектирования технологии изготовления отливок в мелкосерийном и единичном производстве?
2. Как производится проектирование технологии изготовления отливок в крупносерийном и массовом производстве?
3. Чем отличается чертеж модели от чертежа отливки?
4. Как проектируются стержневые ящики и опоки?



1. При установке фиксирующих штырей обеспечить точность и плавность сборки ящика.

2.* Размеры для справок.

Рис. 5.10. Стержневой ящик.

1-бурт; 2-корпус ящика; 3,4-плиты; 5-винты; 6-штырь; 7-гайка; 8-ось; 9-откидной болт; 10-гайка "барашек"; 11-втулка.

Приложение А

Основные государственные стандарты.

17819-84	Оснастка технологическая литейного производства. Термины и определения.
18111-93	Машины литейные. Термины и определения.
19200-80	Отливки из чугуна и стали. Термины и определения дефектов.
2.104-68	Основные надписи.
2.105-79	Общие требования к текстовым документам.
2.106-68	Текстовые документы.
2.108-68	Спецификации.
2.109-73	Основные требования к чертежам.
2.114-70	Технические условия.
2.120-73	Технический проект.
2.201-80	Обозначение изделий и конструкторских документов.
2.301-68	Форматы.
2.302-68	Масштабы.
2.303-68	Линии.
2.304-81	Шрифты чертежные.
2.305-68	Изображения – виды, разрезы, сечения.
2.306-68	Обозначения графических материалов и правила их нанесения на чертежах.
2.307-68	Нанесение размеров и предельных отклонений.
2789-73	Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики.
2.309-73	Обозначение шероховатости поверхности.
3.1125-88	Правила графического выполнения элементов литейных форм и отливок.
3.1401-85	Правила выполнения документов на литье.

Формовочные материалы

29234.0-91	Пески формовочные. Правила приемки. Методы отбора и подготовки проб для испытаний.
3226-93	Глины формовочные. Общие технические условия.
9077-82	Кварц молотый пылевидный.
10772-78	Покрывания литейные противопопригарные водные. Общие технические условия.
14231-78	Смолы карбамидно-формальдегидные. Технические условия.
10779-78	Спирт поливиниловый. Технические условия.

Модели и плиты.

3212-92	Комплекты модельные. Уклоны формовочные, стержневые зна-
---------	--

ки, допуски размеров.

- 13354-91 Комплекты модельные деревянные. Технические условия.
 19505-86 Модели литейные и стержневые ящики. Технические требования.
 13355-74 Ящики стержневые металлические.
 201341-80 Плиты модельные металлические для встряхивающих формовочных литейных машин.
 20146-74, Плиты модельные со сменными деревянными вкладышами для
 20175-74 встряхивающих формовочных машин.
 20377-74, Плиты подопочные.
 20386-74

Опоки

- 2133-75 Опоки литейные. Типы и основные размеры.
 8909-75 Опоки литейные цельнолитые стальные и чугунные. Технические требования.
 14973-69, Опоки литейные цельнолитые стальные и чугунные. Конструк-
 15022-69 ция и размеры.
 15491-91, Опоки литейные цельнолитые из алюминиевых и магниевых
 15506-70 сплавов.
 17127-71, Опоки литейные сварные из литых стальных элементов.
 17132-71
 14928-80 Опоки литейные прямоугольные для автоматических линий из-
 готовления песчаных форм. Основные размеры. Технические
 требования.

Отливки из различных сплавов.

- 1412-85 Чугун с пластинчатым графитом для отливок. Марки.
 7293-85 Чугун с шаровидным графитом для отливок. Марки.
 1215-79** Отливки из ковкого чугуна. Общие технические условия.
 977-88 Отливки из конструкционной нелегированной и легированной
 стали. Общие технические условия.
 26645-85 Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и
 припуски на техническую обработку.
 1585-85* Чугун антифрикционный для отливок. Марки.
 2176-77 Отливки из высоколегированной стали со специальными свой-
 ствами. Общие технические условия.
 7769-82 Чугун легированный для отливок со специальными свойствами..
 26358-84 Отливки из чугуна. Общие технические условия.
 26645-85** Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и
 припуски на механическую обработку.
 3343-87 Отливки из чугуна с различной формой графита. Методы опре-

деления структуры.

- 16200-80 Отливки из чугуна и стали. Термины и определения дефектов.
 21357-87 Отливки из хладостойких и износостойких сталей. Взамен ГОСТ 21357-75.

Сплавы и другие материалы.

- 28394-89 Чугуны с вермикулярным графитом для отливок. Марки.
 613-79 Бронзы оловянные литейные. Марки.
 493-79 Бронзы оловянные литейные. Марки.
 2581-78* Сплавы магниевые в чушках. Технические условия.
 2685-81* Сплавы алюминиевые литейные.
 17711-93 Сплавы медно-цинковые. Марки.

Строительство.

- 21.001-93 Общие положения.
 21.101-93 Основные требования к рабочим чертежам.
 21.501-93 Архитектурные решения. Рабочие чертежи.

* Срок действия до 20.06.88 г.

** Срок действия с 01.07.88г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящее учебное пособие является составной частью учебно-методической литературы для освоения ряда дисциплин, обеспечивающих специальную технологическую и конструкторскую подготовку студентов в области технологии машиностроения, в частности в вопросах рационального конструирования и назначения литых заготовок.

Пособие поможет студенту сформировать целостную систему знаний и умений в проектировании свойств и методов производства отливок и о правилах назначения способов литья для конкретных деталей.

В методическом пособии теоретические положения сопровождаются примерами расчетов. Приведены рекомендации и справочные сведения по проектированию и технологии получения литых заготовок.

Настоящее пособие будет полезно не только при изучении таких дисциплин, как «Технологические процессы литья и сварки», «Технологические процессы литейного производства», но и для освоения таких дисциплин, как «Основы разработки технологических процессов», «АСТПП», «САПР технологических процессов», «Промышленность и окружающая среда», «системная технология машиностроительного производства», при выполнении курсовых и дипломных проектов по технологии машиностроения, выполнения курсовой работы по основам технологии машиностроения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 14205-83. Технологичность конструкции изделий. Термины и определения.
2. Технологичность конструкций изделий: Справочник /Ю.Д. Амиров, Т.К. Алферова, П.Н. Всяков и др. Под общ. ред. Ю.Д. Амирова – 2-е изд. Переработ. и доп. – М.: Машиностроение, 1990 – 768 с.
3. Специальные способы литья: Справочник /В.А. Ефимов, Г.А. Анисович, В.Н. Бабич и др. Под общ. ред. В.А. Ефимова. – М.: Машиностроение, 1991 – 436 с.
4. Ковшов А.Н. Технология машиностроения. – М.: Машиностроение, 1987 – 320 с.
5. Маталин А.А. Технология машиностроения. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1985 – 331 с.
6. Технология машиностроения. А.А. Гусев, Е.Р. Ковальчук, И.М. Колесов и др. – М.: Машиностроение, 1986 – 480 с.
7. Киричек А.В., Киричек Ю.Н. Курсовое проектирование по технологии машиностроения. Учебное пособие. – Владимир: Владимирский государственный университет, 1998 – 145 с.
8. Нормативы численности, времени и режимов резания при работе на станках с ЧПУ. – Краматорск: Центр НОТ Минтяжмаша, 1982 – 331 с.
9. Режимы резания металлов: Справоч. /Под ред. Ю.В. Барановского. – М.: Машиностроение, 1972 – 407 с.
10. Справочник технолога машиностроителя; В 2 т. /Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985 – Т2 – 496 с.
11. Расчеты экономической эффективности новой техники: Справочник /Под общ. ред. К.М. Великанова. – 2-е изд., переработ. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1990 – 448 с.
12. Гамрат – Курек Л.И. Экономическое обоснование дипломных проектов. М.: Высш. шк., 1985 – 159 с.
13. Л.В. Худобин, В.А. Гречишников, А.Г. Маеров, В.Ф. Гурьянихин. Руководство к дипломному проектированию по технологии машиностроения, металлорежущим станкам и инструментам; Учеб. пособие для вузов по специальности "Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты" /Под общ. ред. Л.В. Худобина. – М.: Машиностроение, 1986 – 288 с.
14. Капустин Н.М. Разработка технологических процессов обработки деталей на станках с помощью ЭВМ. – М.: Машиностроение, 1976 – 288 с.
15. Гамрат – Курек Л.И. Экономическое обоснование дипломных проектов. Учеб. пособие для машиностроительных спец. вузов. – 4-е изд, перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1985 – 159 с.
16. Горбацевич А.Ф., Шкред В.А. Курсовое проектирование по технологии машиностроения. – Минск.: Высшейш. шк., 1983 – 256 с.

17. Общемашиностроительные укрупненные нормативы времени на работы, выполняемые на металлорежущих станках. Единичное мелкосерийное и среднесерийное производство. Часть 11. М.: Экономика, 1988 – 371 с.
18. Общемашиностроительные нормативы времени вспомогательного, на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного при работе на металлорежущих станках. Мелкосерийное и единичное производство. М.: НИИТруда, 1982 – 325 с.
19. Общемашиностроительные нормативы времени вспомогательного на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного при работе на металлорежущих станках. Среднесерийное и крупносерийное производство. М.: НИИТруда, 1984 – 324 с.
20. Обработка металлов резанием: Справоч. технолога /Под ред. А.А. Панова. – М.: Машиностроение, 1988 – 736 с.
21. Литейное производство: Учебник для металлургических специальностей вузов. Под общ. ред. д-ра техн. наук проф. А.М. Михайлова – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1997 – 256 с.
22. Литье в оболочковые литейные формы. Руководящий документ РД 2Н83-33-89 М.: ВНИИИЭМР, 1989 – 31 с.
23. Литье по выплавляемым моделям / В.Н. Иванов, С.А. Казенов, Б.С. Курчман и др. Под общ. ред. Я.И. Шкленника, В.А. Озерова. М.: Машиностроение, 1984 – 408 с.
24. Максимков В.Н., Корнюшкин О.А., Кузин А.В. Гидролиз этилсиликата без органических растворителей и выбор гелеобразователя //Литейное производство, 1986. №2 с.26-28.
25. Колачева О.В. Получение отливок в керамических формах /Точность и качество поверхности отливок. М.: Машиностроение, 1962, 148 с.
26. Иванов В.Н., Зарецкая Г.М. Литье в керамические формы по постоянным моделям. М.: Машиностроение, 1975.
27. Степанов Ю.А. Литье по газифицируемым моделям. М.: Машиностроение, 1976.
28. Владимирский В.А. и др. Получение индивидуального литья по газифицируемым моделям. М.: машиностроение, 1966.
29. Шуляк В.С., Панасюк А.С., Закута М.Б. и др. Получение отливок в формах из металлического песка в магнитном поле. Литейное производство. №9, 1971
30. Witoser A. Zehn Jahre Gießmodelle aus Polystyrolschom. "Industrie-Aureigr" 89. №33, 1967.
31. Белопухов А.К. Технологические режимы литья под давлением. М.: Машиностроение, 1985 – 272 с.
32. Бедель В.К., Тимофеев Г.Н. Литье под низким давлением. М.: Машиностроение, 1968, 259 с.
33. Батышев А.И. Кристаллизация металлов и сплавов под давлением. М.: Металлургия, 1977 – 155 с.

34. Штамповка жидкого металла. Литье с кристаллизацией под давлением /Под ред. А.И. Батышева. М.: Машиностроение, 1979 – 200 с.
35. Юдин С.Б., Левин М.М., Розенфельд С.Е. Центробежное литье. М.: Машгиз, 1962., 360 с.
36. Непрерывное литье машиностроительных заготовок /Редкол.: М.В. Жельнис и др. Каунас: Пярле, 1980, 173 с.
37. Основные направления развития процесса непрерывного литья /Ф.Н. Тавадзе, М.Я. Бровман, Ш.Д. Рамишвили, В.Х. Римен. М.: Наука, 1982 – 216 с.
38. Галдин Н.М. Литниковые системы и прибыли для фасонных отливок. М.: Машиностроение, 1992 – 256 с.
39. Аксенов П.Н. Оборудование литейных цехов. М.: Машиностроение, 1977 – 509 с.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технологичность конструкций изделий: Справочник /Ю.Д. Амиров, Т.К. Алферова, П.Н. Всяков и др. Под общ. ред. Ю.Д. Амирова – 2-е изд. Переработ. и доп. – М.: Машиностроение, 1990 – 768 с.
2. Специальные способы литья: Справочник /В.А. Ефимов, Г.А. Анисович, В.Н. Бабич и др. Под общ. ред. В.А. Ефимова. – М.: Машиностроение, 1991 – 436 с.
3. Справочник технолога машиностроителя; В 2 т. /Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985 –Т2 – 496 с.
4. Расчеты экономической эффективности новой техники: Справочник /Под общ. ред. К.М. Великанова. –2-е изд., переработ. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1990 – 448 с.
5. Литейное производство: Учебник для металлургических специальностей вузов. Под общ. ред. д-ра техн. наук проф. А.М. Михайлова – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1997 – 256 с.
6. Галдин Н.М. Литниковые системы и прибыли для фасонных отливок. М.: Машиностроение, 1992 – 256 с.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А		Комплект модельно-опочный	
Анализ технологичности детали	67		96, 123, 127, 185-190
Б		Контроль отливок	
База черновая	178	Кокильное литье	26, 39
обозначение баз	178	Кристаллизация	142-148
В		Л	
Время – основное	91	Легирование сплавов	22, 32, 42, 68, 160
- вспомогательное	91		
- подготовительно-заклучительное	91	Лигатура	13-14, 18-22, 25-26, 29, 32, 40, 45, 49, 52-55
- штучное	91	Литье - непрерывное	166-169
Выбор способа изготовления отливки	68-69, 170	- по выплавляемым моделям	125-135
Выпор	96, 134	- под давлением	148-156
Г		- под низким давлением	156-159
Галтель значения	61-63	- центробежное	164-166
Графит включения	11-15		
Д		М	
Допуски – поля допусков	60, 82-87	Материалы для оснастки	32, 73, 94, 26, 141, 151
Дефекты	5, 8-10	Машины формовочные	98-106
Ж		Модификаторы	13, 38, 42
Жидкотекучесть	5-10, 57	Модели	95, 123-127, 136, 139, 180, 185-191
- чугунов	14		
- сталей	22		
- цветных сплавов	32		
З		Н	
Закалка	13-14, 24	Напуски	173-174
К		О	
Карта технологическая	184	Отбел	20, 145
Каналы вентиляционные	96, 125	Отжиг графитизационный	15-17
		Отпуск	13, 24, 26
		Оценка технологичности	56, 67-69, 85

П		Х	
Питатель	95, 99, 151, 193	Холодильники	8
Плита подмодельная	123-126, 189	Ч	
Прибыль	8, 42, 121, 141, 146, 191-193	Чертежи – отливки	170-179
		- моделей	184-190
		- стержневого ящика	193, 194
Припуск	80-83, 86-89, 116, 132, 34, 138, 153, 174	Чугуны	10-21
Р		Ш	
Разъем модели, формы	65, 66, 171	Шероховатость	114, 153, 157, 159
Рафинирование	37, 38	Шихта	43-55
		Шлакоуловители	95, 193, 190
С			
Системы литниково-питающие	15, 123, 188-190		
Сплавы литейные			
- алюминевые	34-39		
- магниевые	39-43		
- медные	31-34		
Стали	21-31		
Стержни	66, 94, 125, 194		
Стояк	95, 182-183		
Т			
Тип производства	77		
У			
Уклон формовочный	109, 124, 147, 154, 163, 187		
Усадка – линейная	7		
- объемная	7		
Ф			
Флюсы	31, 33, 37, 41-43		
Формы литейные	96, 119, 139, 134		