

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра материаловедения и технологии металлов

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО И ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

**Методические указания к лабораторным работам
по курсу «Технология конструкционных материалов»
для студентов технологических специальностей**

Минск 2012

УДК 621.74(075.8)
ББК 34.61я73
Л64

Рассмотрены и рекомендованы редакционно-издательским советом университета.

Составители:
Д. В. Куис, П. В. Рудак

Рецензент
кандидат технических наук, заведующий кафедрой деталей машин
и подъемно-транспортных устройств БГТУ, доцент
С. Е. Бельский

По тематическому плану изданий учебно-методической литературы университета на 2012 год. Поз. 37.

Для студентов технологических специальностей.

© УО «Белорусский государственный
технологический университет», 2012

Лабораторная работа № 1

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ В ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ СМЕСЯХ

Цель работы: изучить схему технологического процесса литья в разовые формы по постоянным разъемным моделям. Ознакомиться с последовательностью и особенностями технологических операций формовки, сборки форм, заливки их металлом, очистки и обрубки отливок. Освоить последовательность операций и основные приемы ручной формовки по постоянной разъемной модели.

Общие сведения

Литейным производством называется процесс получения литых деталей (заготовок, отливок), основанный на заполнении жидким металлом полости литейной формы, соответствующей по конфигурации отливаемой детали (рис. 1.1). Для получения литых заготовок любой сложности применяют сплавы на различной основе (сплавы на основе железа – чугуны и стали, а также сплавы на основе меди, алюминия, магния, титана и др.). Ковкой, штамповкой и сваркой получать заготовки как простой, так и сложной геометрии значительно труднее или вообще невозможно. Сложные, ответственные заготовки деталей многих машин, компрессоров, двигателей внутреннего сгорания, рабочих колес насосов, лопаток турбин и других агрегатов изготавливают только методом литья.

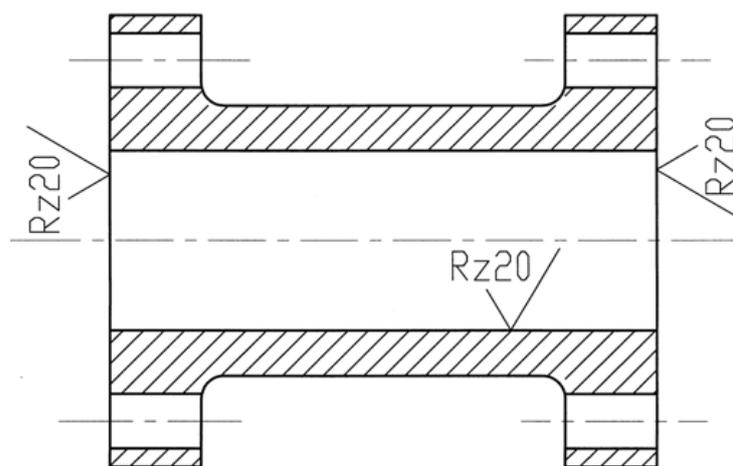


Рис. 1.1. Эскиз детали «Втулка»

Производство литых деталей включает ряд последовательных *технологических процессов*:

- изготовление модельного комплекта;
- приготовление формовочных и стержневых смесей;
- изготовление и сборка литейных форм;
- расплавление металла и заливка форм;
- выбивка и очистка отливок.

Модельный комплект состоит из модели и стержневого ящика.

Формовка по постоянным моделям является наиболее распространенным вариантом изготовления разовых литейных форм. Литейная модель представляет собой технологическую оснастку, предназначенную для формирования в разовой литейной форме полости, соответствующей внешней конфигурации и размерам отливки. При этом модель может быть разъемной (рис. 1.2), неразъемной или с отъемными частями.

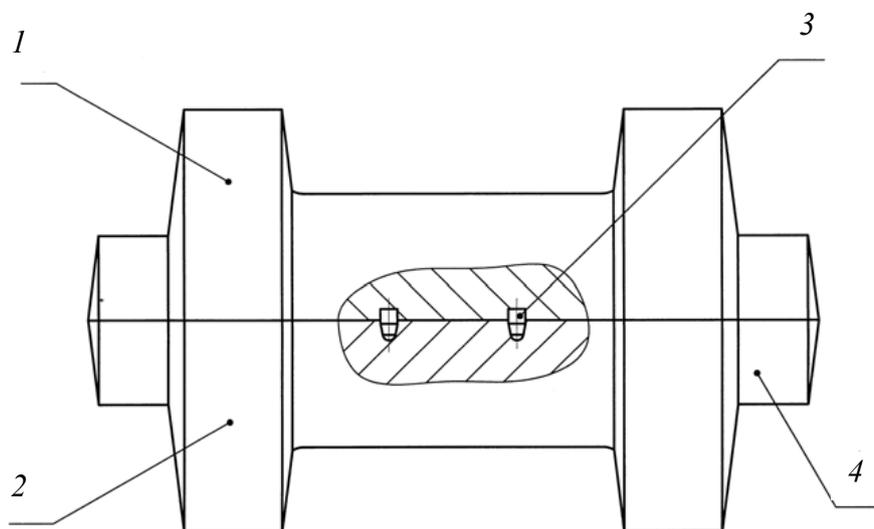


Рис. 1.2. Разъемная литейная модель для отливки «Втулка»:

- 1 – половина модели верхняя; 2 – половина модели нижняя;
- 3 – штифт (в верхней половине) и отверстие (в нижней половине);
- 4 – знак стержневой

Для удобства формовки и извлечения из уплотненной формовочной смеси модели обычно делают разъемными. Плоскость разъема, как правило, проходит через ось симметрии модели, но обязательно так, чтобы ее части (верхняя 1 и нижняя 2) беспрепятственно удалялись из полуформ. При этом учитывается необходимость расположения ответственных поверхностей отливки в нижней части формы или

вертикально, так как сверху всегда при заливке формы металлом скапливаются шлак и газы. Для точного совмещения полумоделей 1 и 2 на одной из них имеются штифты, а на другой – глухие отверстия 3. Модели изготавливают из дерева или металла, при этом все размеры детали увеличивают пропорционально величине усадки сплава, из которого будет изготовлена отливка. На поверхностях, с которых в дальнейшем будет сниматься слой металла при изготовлении детали, делают припуски на механическую обработку. Модель также должна иметь формовочные уклоны на поверхностях, перпендикулярных линии ее разреза, что облегчает извлечение модели из формы без разрушения последней. Величина уклонов зависит от размеров и места расположения поверхности. В местах сопряжений поверхностей моделей делают радиусы скруглений (*галтели*). При наличии галтелей литейная форма в таких скругленных углах после извлечения модели не осыпается, а отливка не приобретает склонности к появлению трещин, так как устраняются концентраторы напряжений.

Разъемные модели применяют при ручной, машинной и автоматической формовке, которую в этих случаях осуществляют чаще всего в двух опоках. **Опоки** представляют собой жесткие рамки, в которых уплотняется формовочная смесь при изготовлении литейных форм (рис. 1.3).

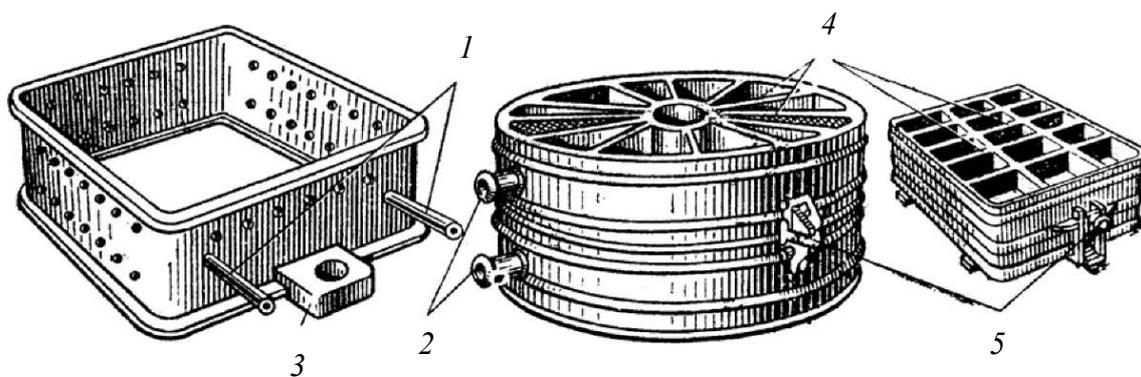


Рис. 1.3. Опоки литейные:
1 – ручка; 2 – цапфа; 3 – проушина; 4 – ребра внутренние;
5 – скобы крепления

Опоки имеют буртики для удержания уплотненной смеси в форме, проушины со штырями и втулками для их сборки попарно, а также ручки или цапфы для кантовки и транспортировки. Стенки опок часто делают с отверстиями для уменьшения их веса, удаления газа из формы и лучшего сцепления формовочной смеси с опокой. Опоки под-

разделяются на *цельнолитые, сварные и сборные*. По конфигурации различают *прямоугольные, круглые и фасонные опоки*. В единичном производстве применяются преимущественно прямоугольные опоки.

Отверстия в заготовках диаметром менее 12 мм обычно получают сверлением, а большего диаметра – литьем. Литые отверстия, иные сложные внутренние контуры отливки оформляются специальными элементами, которые устанавливаются в литейную форму и называются *литейными стержнями*. Для фиксации стержней в форме они имеют специальные выступы, называемые *стержневыми знаками*. Для формирования углублений в форме под стержневые знаки на моделях также предусматриваются соответствующие знаковые части 4 (см. рис. 1.2). Модель и стержень должны иметь одинаковые по конструкции стержневые знаки. При горизонтальном положении стержня, имеющего форму тела вращения, знаки делают цилиндрическими, а при вертикальном – в виде усеченного конуса, что обеспечивает удобство сборки формы.

Изготавливают литейные стержни из специальных стержневых смесей, используя для этого формообразующую оснастку, называемую *стержневым ящиком* (рис. 1.4). Стержневой ящик бывает *деревянным, пластмассовым или металлическим* и имеет рабочую полость для получения в ней стержня нужных размеров и конфигурации.

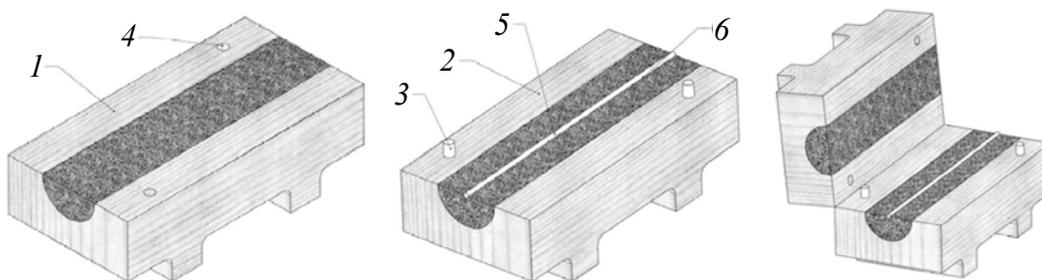


Рис. 1.4. Ящик стержневой:

1 – половина ящика левая; 2 – половина ящика правая; 3 – штифт;
4 – отверстие; 5 – каркас; 6 – смесь стержневая

При ручных способах изготовления форм стержни, как правило, изготавливают вручную путем уплотнения стержневой смеси внутри стержневого ящика. Для удобства извлечения стержня ящик делают разъемным. После извлечения из ящика стержни сушат в специальных сушилках для придания им прочности. В случае необходимости дополнительного упрочнения стержни (часто сложные по конфигурации)

могут быть армированы металлическим каркасом, который заформовывается внутри стержня в процессе его изготовления.

Для предотвращения пригара и получения чистой поверхности во внутренних полостях отливок стержни могут быть окрашены противопригарными красками.

Для подачи сплава из заливочного устройства (ковша) в полость литейной формы используют систему каналов, соединенных между собой в определенной последовательности. Такую систему каналов называют *литниковой системой*, она служит для обеспечения необходимых условий заполнения формообразующей полости металлом. По конструкции и расположению в литейной форме литниковые системы очень разнообразны, но независимо от конструкции такая система должна обеспечивать:

- непрерывную подачу сплава в форму;
- кратчайший путь металла в полости формы, чтобы он не терял температуру;
- спокойное и плавное, без завихрений заполнение металлом полости формы, что устраняет размывание формы, а также подсос и замешивание в металл воздуха;
- улавливание шлака и других неметаллических включений для предотвращения попадания их в полость формы с металлом;
- создание направленного затвердевания снизу вверх для питания отливки в процессе кристаллизации жидким металлом с целью не допустить образования усадочных раковин;
- однородность структуры отливки после ее кристаллизации;
- отсутствие препятствия при усадке отливок с целью не допустить образования напряжений и трещин;
- минимальный расход сплава на литниковую систему (включая выпоры и прибыли);
- легкое отделение от отливки в процессе выбивки из формы.

Конструкция литниковой системы должна состоять из стандартных элементов, легко изготавливаемых и заменяемых при износе. Нормальная литниковая система, применяемая при подводе питания по разъему, показана на рис. 1.5. Литниковая чаша (воронка) *1* является приемником, в который жидкий металл поступает из разливочного ковша. При заливке необходимо стремиться быстро заполнять чашу и поддерживать в ней металл на высоком уровне, это обеспечивает задерживание шлака в чаше.

Также для задерживания шлака и неметаллических включений при использовании заливочной воронки между ней и стояком может установ-

ливаться фильтрующий элемент 2 в виде сетки. Стояк 3 представляет собой вертикальный канал, сужающийся книзу; по этому каналу металл поступает в шлакоуловитель 4. Шлакоуловитель расположен в верхней полуформе и служит для задерживания шлака, неметаллических включений и подвода металла к питателю 5, находящемуся в нижней полуформе и подводящему сплав в формообразующую полость литейной формы.

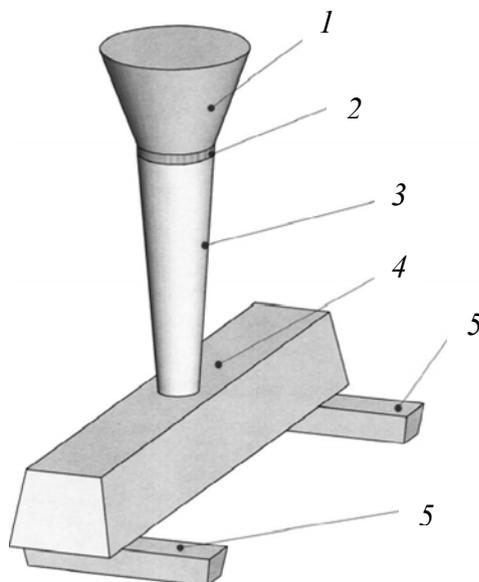


Рис. 1.5. Литниковая система для подвода металла по разъему формы:

1 – воронка; 2 – фильтрующий элемент;
3 – стояк; 4 – шлакоуловитель; 5 – питатель

Выпоры и прибыли также являются частью литниковой системы. Выпоры служат для удаления газов и неметаллических включений из полости формы в процессе заливки, а также позволяют контролировать окончание процесса заполнения полости формы с помощью наблюдения за подъемом металла в них. Число выпоров зависит от размеров и конфигурации отливок. В случае изготовления мелких и средних отливок можно ограничиться установкой одного выпора, а для крупных отливок ставят два-три выпора и более. Если отливка имеет фасонную поверхность, выпор устанавливают на самый высокий элемент модели, по которой изготавливается верхняя полуформа. Следует избегать установки выпоров на массивных частях отливки, так как это приводит к образованию под выпором усадочной раковины в связи с тем, что относительно тонкий выпор остывает быстрее массивной части и питается за ее счет.

При изготовлении отливок из сплавов, склонных к образованию усадочных раковин (алюминиевые, магниевые сплавы, сталь и др.), а также крупных отливок из серого чугуна обычно на верхних и толстых частях отливки устанавливают прибыли, из которых металл подпитывает усадочные полости, образующиеся при охлаждении и в результате связанной с ним усадки затвердевающего сплава. Прибыли являются технологическими элементами, в которых должна быть сосредоточена область усадочной раковины и которые удаляются с отливки в процессе механической обработки. Процесс питания отливки необходимо организовывать так, чтобы выполнялся принцип направленного затвердевания снизу отливки вверх и от тонких элементов к более толстым частям и заканчивался в массивной прибыли. При этих условиях вся усадка сосредоточивается в прибылях, а отливка получается плотной, без усадочных дефектов.

Чтобы ускорить остывание массивных частей отливки и обеспечить направленность затвердевания, могут применяться холодильники. По отношению к отливке различают *холодильники наружные* и *внутренние*. Наружные холодильники представляют собой специальные металлические вставки в литейную форму, которые контактируют с расплавленным металлом и ускоряют затвердевание отдельных массивных элементов отливки. Холодильники обычно устанавливают на модель и заформовываются вместе с ней, но после извлечения модели остаются в форме и оформляют часть поверхности отливки, нуждающуюся в ускоренном затвердевании. Изготавливают наружные холодильники в основном из чугуна, реже из стали.

Внутренние холодильники обычно выполняют из того же сплава, что и отливки. Непременным условием применения внутренних холодильников является их полное расплавление. Внутренние холодильники устанавливают в труднодоступных массивных частях, их объем составляет 8–12% объема металла в захлаживаемом месте отливки.

Положение отливки в форме определяется положением модели при изготовлении полуформы. Модель располагают с учетом основного требования: извлечение ее из песчано-глинистой полуформы должно происходить без разрушения образующегося отпечатка. Кроме того, ответственные обрабатываемые поверхности детали желательно располагать в литейной форме внизу или вертикально. Массивные части отливки из серого чугуна или преобладающая ее часть должны располагаться в нижней части литейной формы.

Изготовление литейных форм – основная и наиболее сложная операция, от которой в значительной мере зависит качество отливки.

В единичном и мелкосерийном производстве формы изготавливают вручную, а в серийном и массовом – на специальных формовочных машинах и автоматизированных линиях.

Для ручного изготовления литейных форм необходим набор формовочного инструмента (рис. 1.6) и приспособлений: трамбовки 1 для уплотнения формовочной смеси; гладилки 2 для заглаживания форм, прорезки питателей и шлакоуловителей; ланцеты (карасики) 3 для прорезки узких питателей; крючки 4 для удаления из глубоких полос-тей оставшихся частиц смеси; остроконечные 5 и винтовые подъемы для выемки модели из полуформ; иглообразные спицы (душники) 6 для выполнения наколов в форме; двухконечные ложечки 8 для отделки вогнутых поверхностей и углублений и т. д.

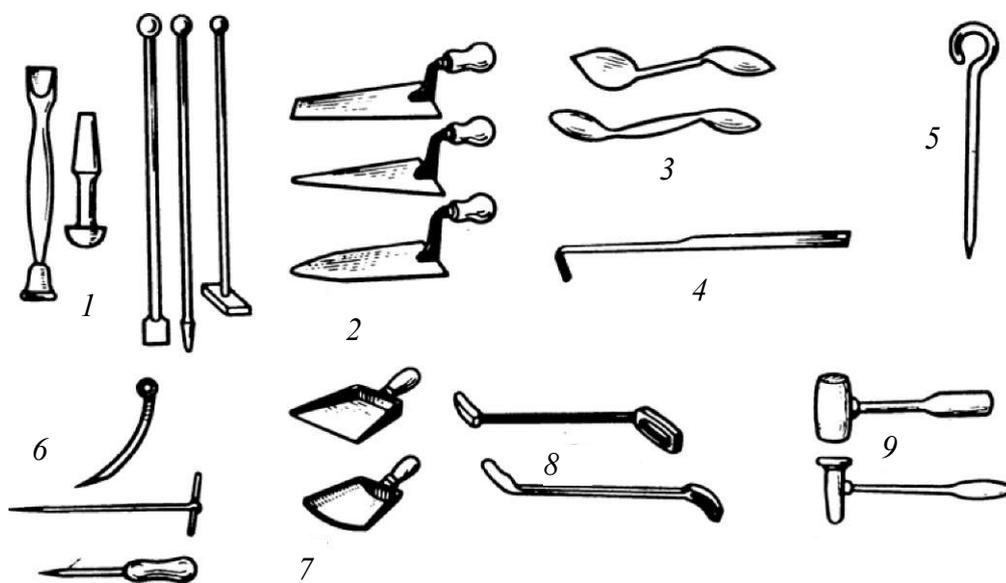


Рис. 1.6. Инструмент формовочный:

1 – трамбовки; 2 – гладилки; 3 – ланцеты (карасики); 4 – крючок; 5 – подъем; 6 – иглы (душники); 7 – совки; 8 – ложки фигурные; 9 – молотки (киянки)

В разовых песчано-глинистых формах производят около 80% всего объема выпускаемых отливок.

Разовые литейные формы в большинстве случаев изготавливаются из сырой песчано-глинистой смеси, состоящей из формовочного кварцевого песка, небольшого количества (до $\approx 10\%$) формовочной глины и специальных добавок. Такая формовочная смесь готовится с добавлением воды и имеет влажность 4–6%. При этом используют в больших количествах (до 90% и более) обратную смесь.

Формовочные смеси должны иметь высокую огнеупорность, достаточные прочность и газопроницаемость, пластичность, податливость и т. д.

Огнеупорность – способность смеси и формы сопротивляться размягчению или расплавлению под воздействием температуры расплавленного металла. При низкой огнеупорности на поверхности отливки образуется **пригар** – прочное соединение формовочной или стержневой смеси с поверхностью отливки.

Прочность – способность материала формы не разрушаться при извлечении модели из формы, при транспортировании и заливке форм.

Газопроницаемость – способность смеси пропускать через себя газы.

Пластичность – способность деформироваться без разрушения и точно воспроизводить отпечаток модели.

Податливость – способность формы или стержня сжиматься при усадке отливки.

Формовочные смеси по характеру использования разделяют на *облицовочные* (смесь непосредственно примыкает к модели), *наполнительные* (смесь образует остальную часть формы) и *единые*.

Стержневые смеси должны обладать большей, чем формовочные, огнеупорностью, прочностью, газопроницаемостью, податливостью, иметь малую газотворную способность, так как при заливке расплавленного металла стержни испытывают значительные тепловые и механические воздействия по сравнению с формой. Стержни также должны легко выбиваться из отливок.

Основным материалом для стержневых смесей служит кварцевый песок, а для получения необходимых качеств этих смесей к песку добавляют специальные связующие материалы, в качестве которых используют различные органические и неорганические материалы.

Формовочные и стержневые смеси готовятся перемешиванием в специальных смесителях (смесители каткового типа, называемые бегунами, шнековые смесители). При этом во избежание высыхания связующих материалов стержневые смеси не подвергают вылеживанию.

Последовательность операций при изготовлении формовочных и стержневых смесей представлена на рис. 1.7.

Разовая литейная форма состоит из двух полуформ: верхней и нижней. Полуформы получают уплотнением формовочной смеси вокруг соответствующих частей постоянной разъемной модели.

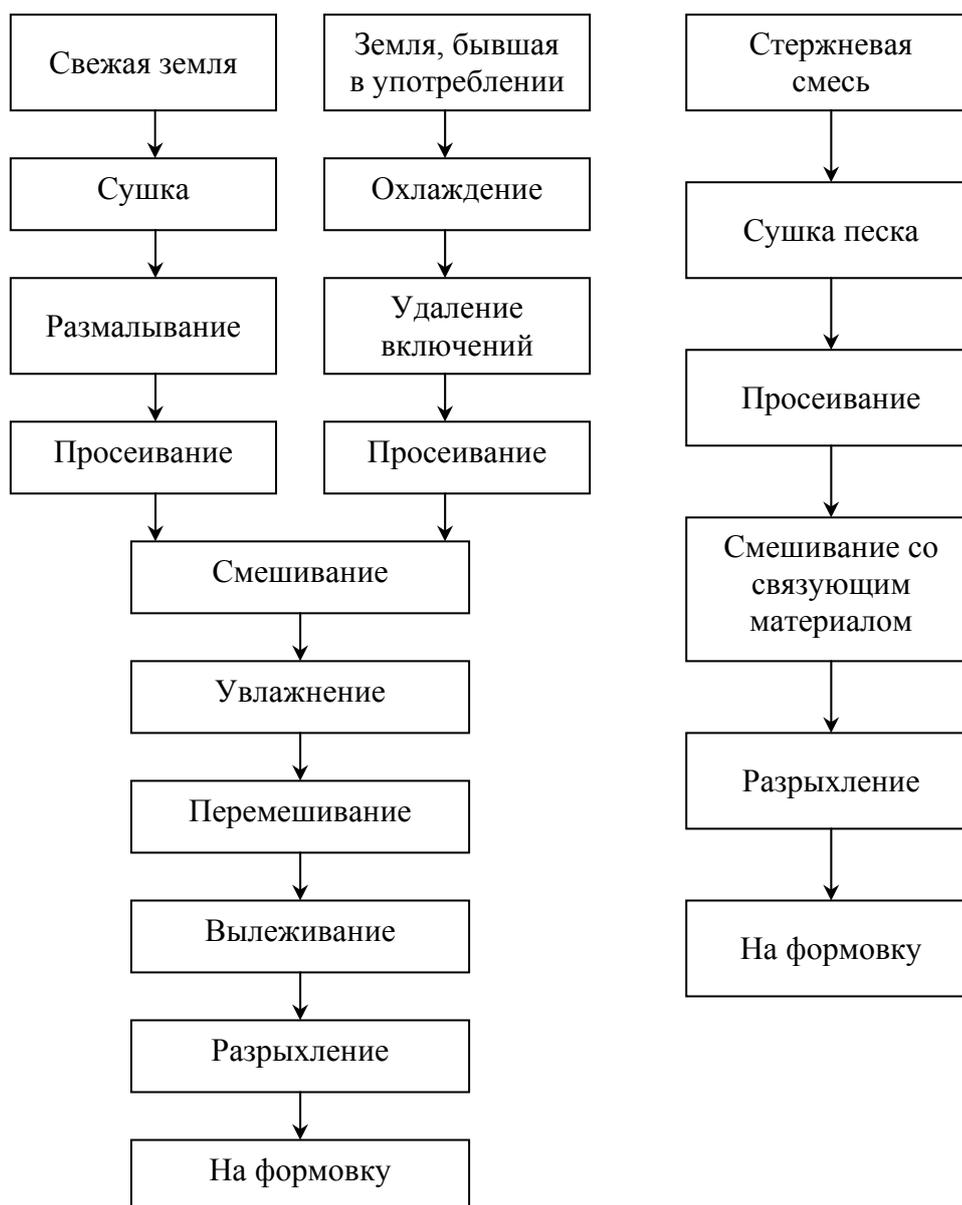


Рис. 1.7. Последовательность операций при изготовлении формовочных и стержневых смесей

Сначала по одной части разъемной модели изготавливают нижнюю полуформу (рис. 1.8). Для этого на подмодельную плиту 1 устанавливают опоку 2 и нижнюю половину модели 3. Полумодель располагают в опоке таким образом, чтобы оставалось место для размещения литниковой системы. Вплотную к полумодели устанавливают модели питателей. Поверхность моделей покрывают разделительным составом для предотвращения прилипания к ним формовочной смеси, для этого используют серебристый графит или мелкий сухой кварцевый песок. Затем опоку заполняют формовочной смесью.

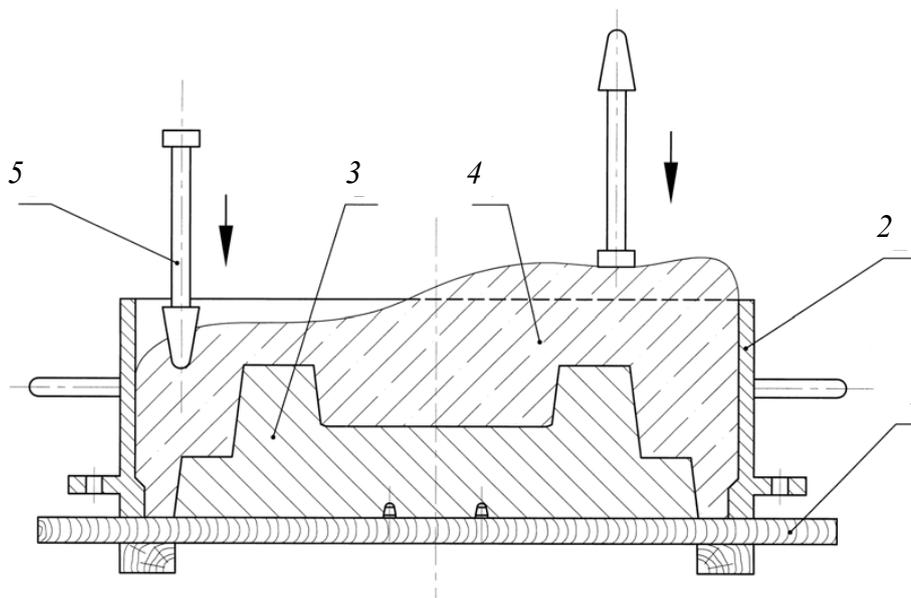


Рис. 1.8. Изготовление нижней полуформы:
 1 – плита подмодельная; 2 – опока нижняя;
 3 – половина модели нижняя;
 4 – смесь формовочная; 5 – трамбовка

При ручной формовке смесь в опоку засыпают слоями. После уплотнения предыдущего слоя засыпают следующий такой же толщины. Это обеспечивает равномерное уплотнение смеси по высоте опоки. Излишек смеси над верхним срезом удаляют специальной линейкой. Вентиляционные каналы *11* в полуформе выполняют многократным накалыванием уплотненной смеси душником *12* (рис. 1.9).

Готовую нижнюю полуформу переворачивают на 180° и устанавливают на подопочную плиту разъемом вверх. При ручной формовке в качестве подопочной плиты можно использовать подмодельную плиту.

На нижнюю половину модели *3* по центрирующим штифтам устанавливают верхнюю половину модели *6*. На свободной площади поверхности разъема размещают элементы литниковой системы – шлакоуловитель и стояк – в соответствии с разработанной технологией модели.

Затем на нижнюю полуформу по штырям *7* устанавливают верхнюю опоку *8*. Поверхность разъема и модели посыпают тонким слоем графита или мелкого сухого песка для предотвращения слипания верхней и нижней полуформ и прилипания формовочной смеси к моделям. На самые высокие элементы модели устанавливают выпоры *9* для обеспечения выхода воздуха и газов из полости формы при заполнении ее металлом.

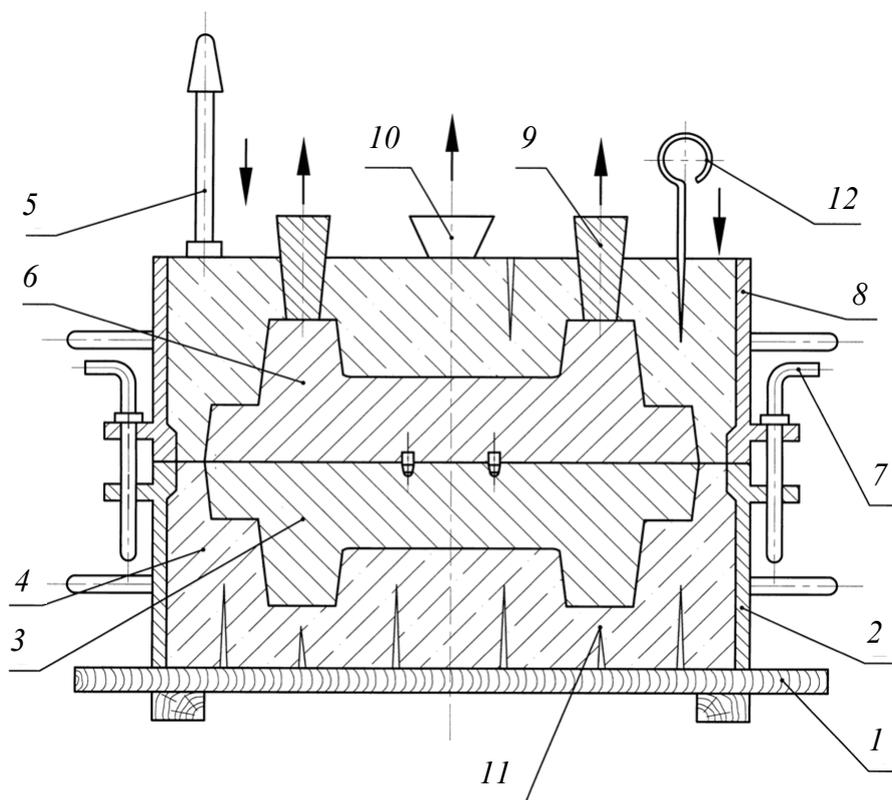


Рис. 1.9. Изготовление верхней полуформы:

- 1 – плита подопочная; 2 – опока нижняя; 3 – половина модели нижняя;
 4 – смесь формовочная; 5 – трамбовка; 6 – половина модели верхняя;
 7 – штырь центрирующий; 8 – опока верхняя; 9 – модель выпора;
 10 – модель стояка с воронкой; 11 – наколы вентиляционные;
 12 – душник

Над моделью питателей размещают модель шлакоуловителя, на который устанавливают модель стояка с воронкой 10. После этого формируют верхнюю полуформу аналогично нижней, послойно засыпая и уплотняя формовочную смесь в опоке. После срезания излишка смеси и выполнения наколов 11 из верхней полуформы извлекают модели литниковой чаши (воронки), стояка и выпоров, предварительно слегка раскатав их. При отсутствии модели чаши или воронки перед извлечением модели стояка вокруг него гладилкой прорезают приемную полость литниковой системы в виде воронки.

Форму разбирают: снимают верхнюю полуформу с нижней, переворачивают ее на 180° и устанавливают на подопочную плиту разъемом вверх.

Из обеих полуформ извлекают части модели отливки и модели элементов литниковой системы. Каналы литниковой системы могут

быть, как и чаша или воронка, прорезаны в полуформах гладилкой или ланцетом. Обе полуформы отделяют, устраняя обвалы и удаляя засоры. Затем в нижнюю полуформу устанавливают стержень. При этом знаковые части стержня входят в соответствующие знаковые части полуформы.

Затем нижнюю полуформу 1 накрывают верхней 2 (рис. 1.10). Для предотвращения смещения относительно друг друга полуформы спаривают с помощью штырей 7, которые могут быть съемными или жестко закрепленными на нижней полуформе.

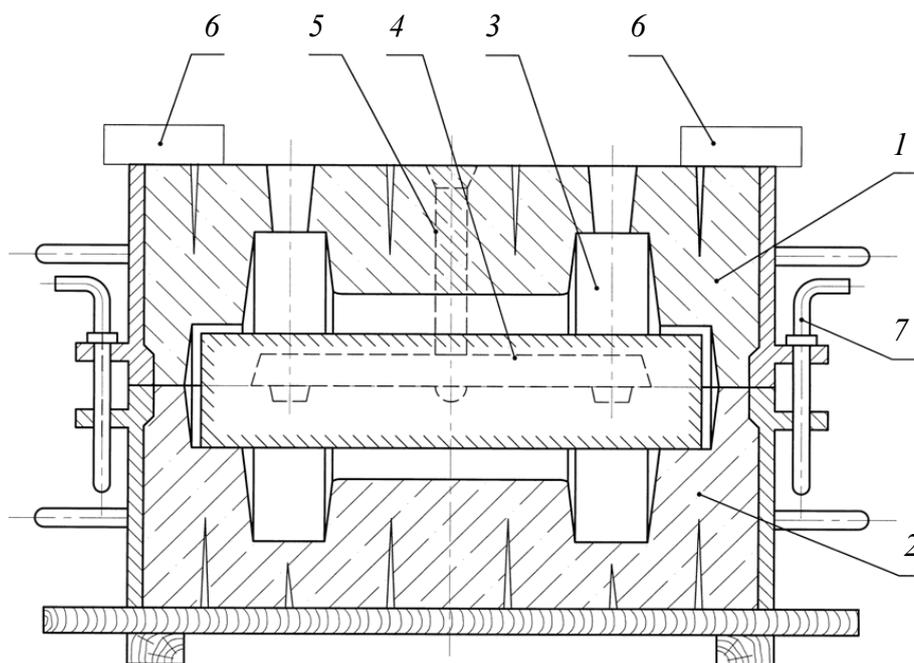


Рис. 1.10. Литейная форма в сборе:

- 1 – полуформа верхняя; 2 – полуформа нижняя;
 3 – формообразующая полость; 4 – стержень; 5 – литниковая система;
 6 – груз дополнительный; 7 – штырь центрирующий

Таким образом, получается литейная форма, внутри которой имеется полость 3, по конфигурации соответствующая конфигурации модели, а внутри этой полости расположен стержень 4, формирующий отверстие в отливке.

При заполнении полости формы жидким металлом возникают силы, стремящиеся приподнять верхнюю полуформу, это обусловлено гидравлическим ударом и подъемной архимедовой силой, если плотность формовочной смеси меньше плотности заливаемого металла. Для предотвращения всплытия верхней полуформы от стати-

ческого напора металла и утечки его из формы по плоскости разъема перед заливкой полуформы, как правило, скрепляют (рис. 1.11) скобами, струбцинами, болтовыми и клиновыми соединениями или устанавливают на верхнюю полуформу дополнительный груз *б* (см. рис. 1.10).

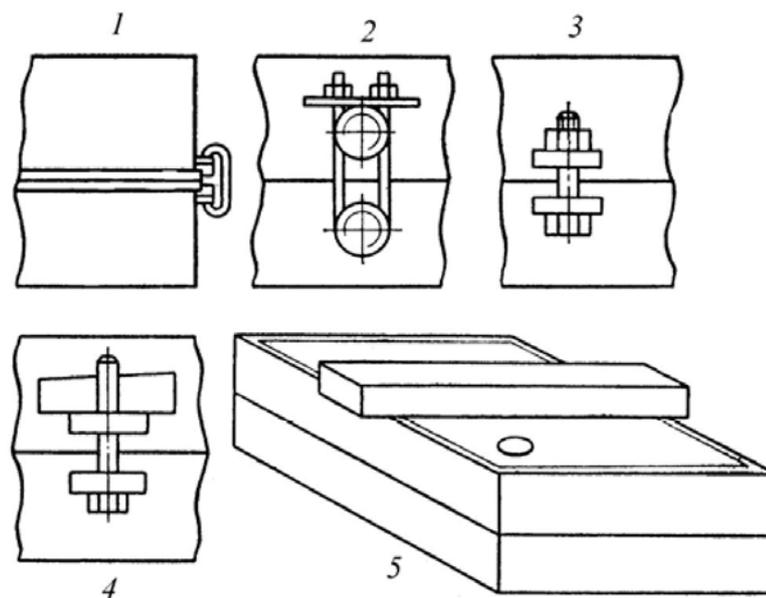


Рис. 1.11. Способы скрепления полуформ:
 1 – скобами; 2 – струбцинами; 3 – болтами; 4 – клиньями;
 5 – установкой дополнительного груза

Затем следуют операции заливки формы металлом, выдержки для достаточного охлаждения металла, выбивки отливки из формы и стержней из отливки, очистки (удаления налипшей и пригоревшей формовочной смеси) и обрубки отливки (отделения литниковой системы, прибылей, выпоров, заливок и облоя), проверки ее качества и механической обработки.

Задание и методические указания

1. Ознакомиться с теоретическими сведениями по технологии литья в разовые формы, литейной оснастке и ее назначении.

2. Описать технологические операции изготовления литейной разовой формы с поясняющими схемами и рисунками для получения отливки детали «Втулка», показанной на рис. 1.12.

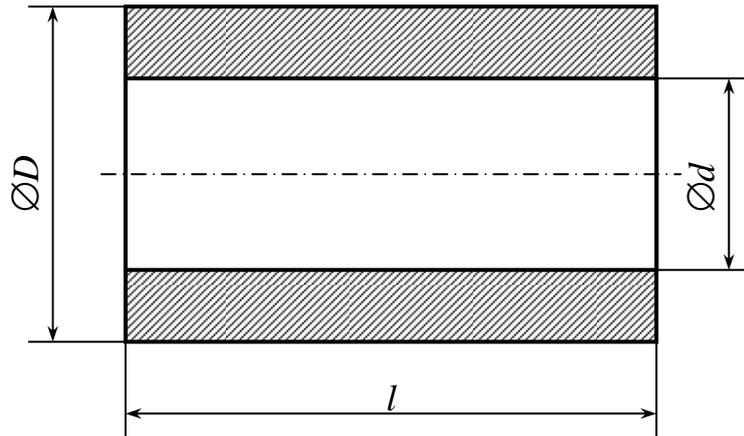


Рис. 1.12. Эскиз детали «Втулка»

3. Приготовить формовочную и стержневую смеси.
4. Изготовить литейную форму для отливки «Втулка».
5. Составить отчет о проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Какие материалы и оснастка используются при изготовлении литейных форм?
2. Что такое опока и для чего она нужна?
3. Что такое литниковая система и зачем она нужна?
4. Какие элементы включает литниковая система и для чего они предназначены?
5. Что такое прибыль и для чего она предназначена?
6. Что такое холодильник и для чего он предназначен?
7. Что такое выпор и для чего он предназначен?
8. Как удаляются газы из литейной формы?
9. Какие технологические операции и в какой последовательности необходимо выполнить при формовке?
10. Какие дефекты образуются в отливках вследствие некачественной формовки?