

# ОСНОВЫ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

**Литейное производство** — отрасль машиностроения, занимающаяся изготовлением фасонных деталей и заготовок путём заливки расплавленного металла в форму, полость которой имеет конфигурацию требуемой детали. В процессе литья, при охлаждении металл в форме затвердевает и получается *отливка* — готовая деталь или заготовка.

Существует целый ряд способов получения отливок. Их можно разделить на две группы:

- Используют одноразовые литейные формы и после получения отливок их разрушают. К этой группе относят *литье в песчаноглинистые формы* и специальные виды литья - *оболочковое литье* и *литье по выплавляемым моделям*.
- Во второй группе способов литья применяют многоразовые формы. Это *литье в кокиль*, *литье под давлением* и *центробежное литье*.

## ЛИТЬЕ В ОДНОРАЗОВЫЕ ФОРМЫ

Наиболее широкое распространение получило литье в песчаноглинистые формы. Это объясняется универсальностью данного способа: его применение не ограничено ни родом сплава, ни температурой, ни массой и конфигурацией отливки, ни масштабом производства. Сам способ формовки (приготовление литейной формы) может быть, как ручным, так и машинным, вплоть до создания поточных автоматизированных линий.

### Литье в песчаноглинистые формы.

#### Изготовление отливок

##### 1. Литейная оснастка

Для изготовления песчано-глинистой формы необходимо иметь:

- формовочные и стержневые смеси;

- модельный комплект;
- опоки;
- формовочные инструменты.

### 1.1. Формовочные и стержневые смеси

*Формовочные смеси* подразделяют на три группы:

- Облицовочные
- Наполнительные
- Единые

*Облицовочные и наполнительные смеси* применяют при индивидуальном и мелкосерийном производстве. Облицовочная смесь непосредственно прилегает к поверхности литейной модели и образует в литейной форме внутренний слой толщиной 20...30 мм, который соприкасается с жидким металлом в процессе заливки. Остальной объем опоки заполняют наполнительной смесью.

При массовом производстве с применением машинной формовки используют *единые смеси*.

*Формовочные смеси* приготавливают из кварцевого песка, огнеупорной глины, крепителей (жидкое стекло, патока и др.) и воды. Перед приготовлением смеси песок и глину просушивают. Песок просеивают через сито, а глину размалывают на бегунах.

Исходные материалы в определенной пропорции смешивают с помощью бегунов, затем увлажняют и снова перемешивают в течение 5...10 мин. Полученная формовочная смесь должна некоторое время (2...3 часа) вылеживаться.

*Стержневые смеси* применяют для изготовления стержней. В процессе заливки металла стержневые смеси испытывают большие, по сравнению с формой термические и механические воздействия. Поэтому к ним предъявляют более высокие требования по огнеупорности, противопригарности, прочности, податливости и газотворности.

Состав стержневых смесей выбирают в зависимости от рода литейного сплава и сложности отливки. Готовят их аналогично формовочным смесям, смешивая исходные материалы в бегунах в течение 10...15 мин. Подготовленную стержневую смесь сразу подают на формовку.

## 1.2. Модельный комплект

Модельный комплект состоит из литейной модели, моделей элементов литниковой системы, стержневых ящиков, подмодельных плит и ряда дополнительных приспособлений.

**Литейная модель** (рисунок 1) при формовке образует в литейной форме рабочую полость заданной конфигурации и геометрических размеров. Модель может быть *цельной* или *разъемной*, состоящей из отдельных частей. В единичном и мелкосерийном производствах используют деревянные модели, в массовом – пластмассовые и металлические.

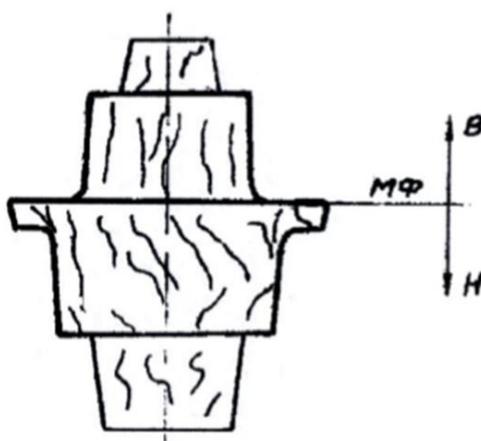


Рисунок. 1. Модель литейная

Модели элементов литниковой системы образуют в литейной форме каналы для подвода жидкого металла в рабочую полость и удаления из нее газов. Литниковая система (рис. 2) состоит из литниковой воронки (1), стояка (2), шлакоуловителя (3), питателя (4) и выпора (5).

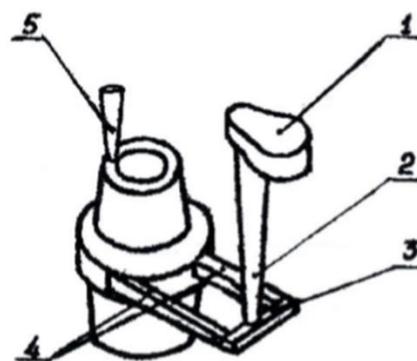


Рисунок 2. Элементы литниковой системы: 1 – литниковая чаша; 2 – стояк; 3 – шлакоуловитель; 4 – питатель; 5 – выпор

**Стержневой ящик** – приспособление (рисунок. 3) для изготовления стержней, которые применяют для получения в отливках отверстий и полостей.

**Подмодельная плита** – металлическая плита, на которую перед формовкой устанавливают модель отливки, модели элементов литниковой системы и опоку.

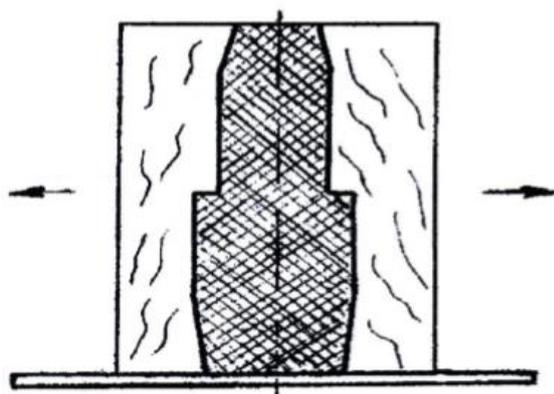


Рисунок 3. Стержневой ящик разъемный

### 1.3. Опока

**Опока** (рисунок 4) представляет собой металлические рамки, которые служат для удержания формовочной смеси и образования песчано-глинистой формы.

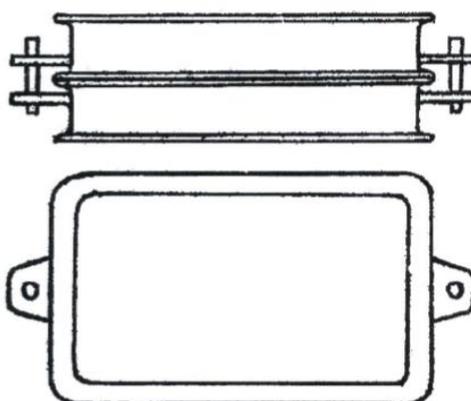
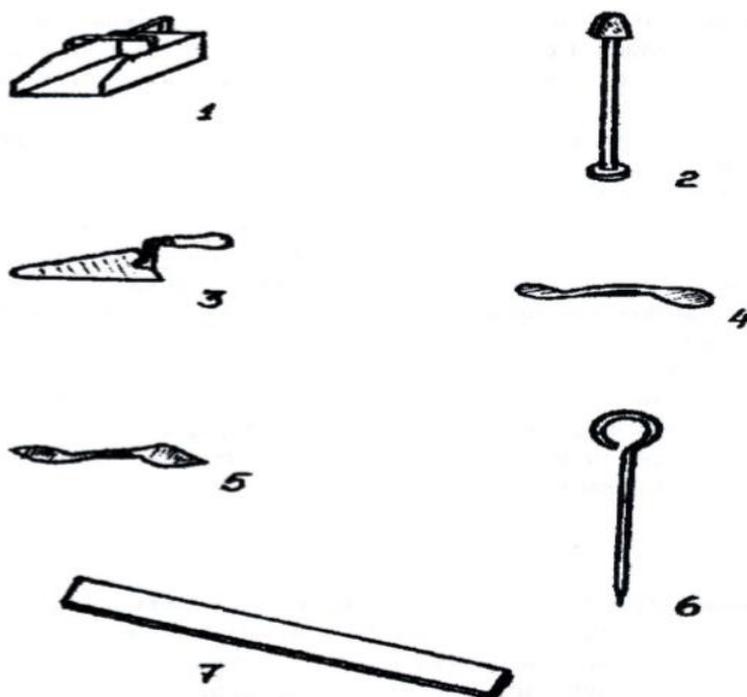


Рисунок 4. Опоки

#### 1.4. Формовочные инструменты

Для изготовления литейных форм и стержней используют различные *формовочные инструменты* (рисунок 5): совки (1) для заполнения опок и стержневых ящиков соответствующими смесями, трамбовки (2) для уплотнения смесей, гладилки (3) для заглаживания неровностей при ремонте литейных форм и стержней, ложечки (4) для выглаживания фасонных поверхностей, галтелей и сфер при отделке и ремонте литейных форм и стержней, ланцеты (5) для заглаживания узких и глубоких мест при отделке форм и извлечения остатков смеси, вентиляционные иглы (6) для накалывания вентиляционных каналов в стержнях и формах, металлические линейки (7) для удаления лишней формовочной смеси относительно уровня края опоки.



**Рисунок 5. Формовочные инструменты:** 1 – совок; 2 – трамбовка; 3 – гладилка; 4 – ложечка; 5 – ланцет; 6 – игла вентиляционная; 7 – линейка

## Ручная формовка

На рисунке 6 приведена последовательность изготовления формы по модели, чертеж которой приведен на рисунке 1.

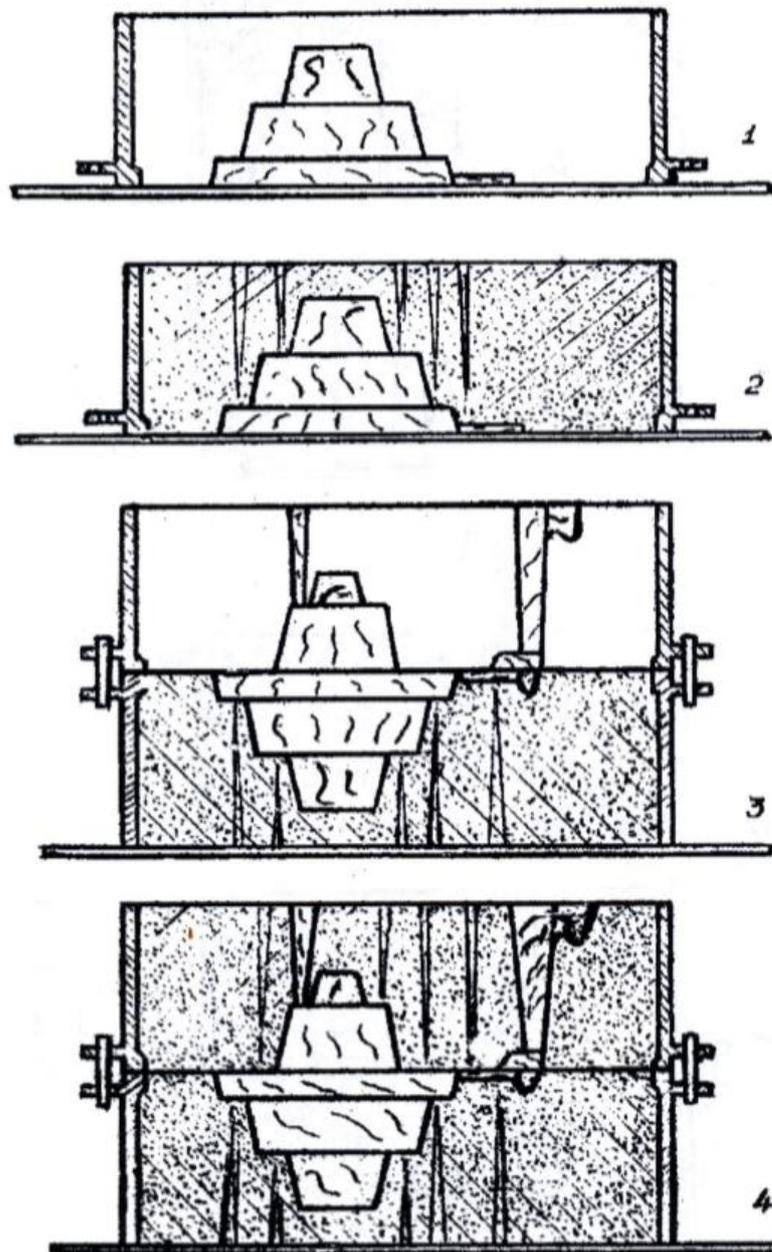


Рисунок 6. Последовательность технологических операций при формовке:

1 – литейная воронка, 2 – стояк, 3 – шлакоуловитель, 4 – питатель

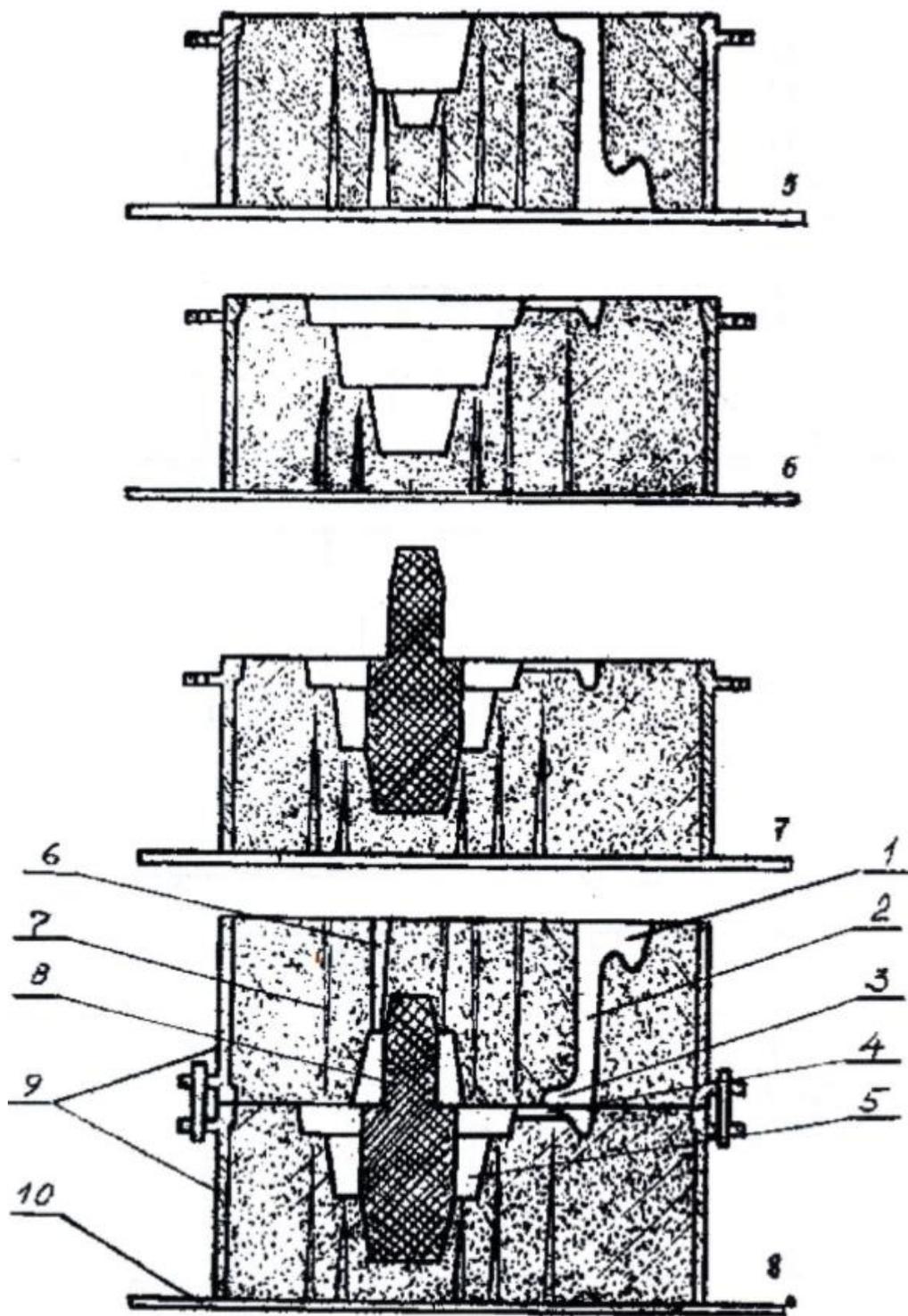


Рисунок 6 (продолжение). Последовательность технологических операций при формовке: 5 – полость литейной формы, 6 – выпор, 7 – вентиляционный канал, 8 – стержень, 9 – опоки, 10 – подмодельные плиты

На подмодельную плиту устанавливают нижнюю половину модели отливки, модель питателя и нижнюю опоку (рисунок 6.1). Поверхность моделей и подмодельной плиты припудривают тальком, чтобы к ним не прилипла формовочная смесь. Оставшийся объем опоки заполняют формовочной смесью и уплотняют трамбовкой. Излишек формовочной смеси удаляют металлической линейкой. Вентиляционной иглой накалывают вентиляционные каналы (рисунок 6.2).

Нижнюю опоку переворачивают на 180° и на нее устанавливают верхнюю половину модели, модели шлакоуловителя, стояка и выпора, припудривая поверхность раздела тальком. Устанавливают верхнюю опоку, центрируют ее с нижней с помощью штырей (рис. 6.3) и производят набивку формовочной смесью, повторяя все операции аналогично набивке нижней опоки (рисунок 6.4).

Вынимают модели стояка и выпора, снимают верхнюю опоку и переворачивают ее на 180°. Извлекают из опок все модели (рис. 6.5 и 6.6), поправляя при необходимости осыпавшиеся места.

На знаковые части литейной формы устанавливают предварительно изготовленный и высушенный стержень (рис. 6.7). Стержни изготавливают из стержневых смесей в специальных стержневых ящиках. Стержневую смесь засыпают в стержневой ящик и уплотняют ее, излишки срезая ножом.

Разобрав стержневой ящик, извлекают из него стержень и подвергают его сушке в сушилах при температуре 150...240°C в течение 2...3 часов. Полость формы для уменьшения пригара припыливают или красят, а затем проводят окончательную сборку литейной формы – нижнюю полуформу накрывают верхней полуформой, центрируя их относительно друг друга фиксирующими штырями (рис. 6.8).

## 1. Заливка форм

Из плавильной печи достают тигли с расплавленным металлом и выливают его в разливочный ковш. Заливку металла в литейную форму из ковша производят через литейную воронку непрерывной струей, определяя момент окончания заливки по появлению металла на поверхности выпора.

## 2. Выбивка и очистка отливки

После кристаллизации и охлаждения отливки осуществляют ее выбивку. Для этого снимают верхнюю полуформу, из опок выбивают формовочную смесь и извлекают отливку вместе с литниковой системой. Из отливки выбивают стержень,

отделяют литниковую систему и очищают поверхность отливки. Затем отливку подвергают визуальному осмотру с целью определения ее качества (наличие или отсутствие дефектов). Качественную отливку (литую заготовку) отправляют на механическую обработку.

## Основные виды дефектов отливок

**Газовые раковины** образуются при повышенной влажности формовочной смеси из-за недостаточной газопроницаемости формы и стержней, а также при высокой температуре заливаемого металла.

**Песчаные раковины** – полости в теле отливки, частично или полностью заполненные формовочной смесью. Эти дефекты образуются в результате обвалов отдельных частей формы из-за недостаточной прочности формовочной смеси и небрежной сборки формы.

**Шлаковые раковины** – открытые или закрытые полости в теле отливки, имеющие рваную внутреннюю поверхность. Образуются при попадании шлака в рабочую полость формы вследствие неправильного устройства литниковой системы или в результате небрежной заливки.

**Усадочные раковины** – открытые или закрытые полости в теле отливки, имеющие ровную внутреннюю поверхность. Образуются в утолщенных местах отливки из-за недостаточного «питания» металлом, а также при слишком высокой температуре заливаемого металла.

**Холодные трещины** – разрывы тела отливки, отличающиеся значительной длиной и небольшой шириной. Причинами их появления являются усадка металла, механические повреждения при выбивке формы, а также при очистке и обрубке литой заготовки.

**Горячие трещины** – разрывы тела отливки, характеризующиеся значительной шириной и небольшой протяженностью. Возникают при высокой температуре с момента начала кристаллизации в местах резких переходов сечения и имеют темную окисленную поверхность. Причиной образования горячих трещин является недостаточная податливость отдельных частей литейной формы и стержня.

**Заливы** – непредусмотренные чертежом выступы на отливке на месте разъема формы и вдоль стержневых знаков. Они образуются в результате недостаточного прижима полуформ друг к другу.

**Переко́с в отливках** образуется в результате смещения полуформ относительно друг друга.

## Специальные виды литья

### 1. Литье по выплавляемым моделям.

Литье в песчаные формы по выплавляемым моделям применяется для получения мелких деталей (весом до 10 кг) из стали и других трудно обрабатываемых сплавов с температурой плавления до 1600 °С.

При этом достигается большая точность размеров (5 - 6 -й квалитет точности) и высокая чистота поверхности (16 - 32 Ra), благодаря чему отпадает необходимость механической обработки. Для получения деталей большей точности достаточна лишь шлифовка и полирование.

#### **Технология точного литья состоит в следующем:**

1. Изготовление металлической модели - эталона отливаемого изделия.
2. Изготовление пресс-формы из легкоплавкого сплава по модели - эталону.
3. Изготовление выплавляемых моделей путем заполнения пресс-форм легкоплавким жидким или пастообразным составом (чаще всего из стеарина с парафином).
4. Изготовление моделей литниковой системы из того же состава (см. п.3).
5. Сборка моделей и литниковой системы и покрытие их вместе огнеупорным составом (мелкий кварцевый песок с добавлением раствора этил силиката или жидкого стекла в качестве связующего состава).
6. Изготовление формы в опоке.
7. Выплавка модели и прокаливание формы.
8. Расплавление металла.
9. Заливка форм.
10. Выбивка и очистка отливок.

Модель - эталон изготавливают с учетом усадки выплавляемой модели и заливаемого в форму металла. На *рисунке 7,а* изображен комплект моделей с литниковой системой.

Металл заливают в горячие формы, иногда - под давлением 2 - 5 ат или центробежным способом (*рисунок. 7,б*).

Высокая точность литья достигается благодаря точным моделям и формам без разъема, а также потому, что выплавление моделей устраняет операции разбивки и выемку отливки из формы, которые искажают размеры формы и отливки.

Сложность технологии и относительно высокая стоимость литья по выплавляемым моделям окупаются уменьшением отходов металла и затрат на их дополнительную обработку. Кроме того, этот способ дает возможность отливать готовые детали из твердых металлов и сплавов.

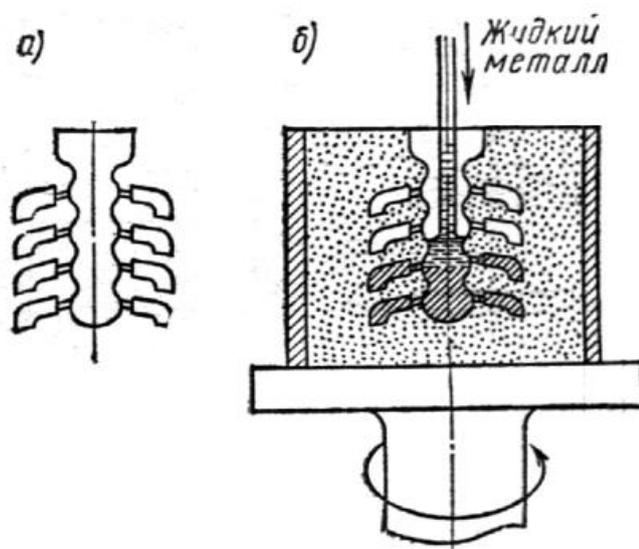
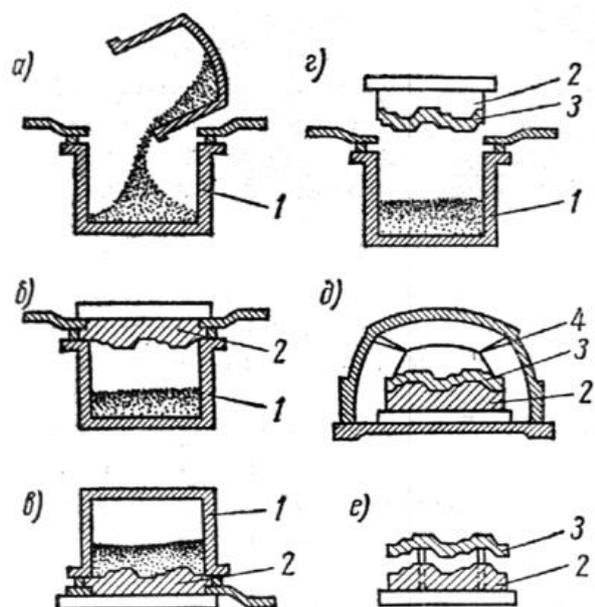


Рисунок 7. Комплект выплавляемых моделей (а) и заливка формы центробежным способом (б)

По выплавляемым моделям отливают лопатки газовых турбин, режущий инструмент (фрезы, сверла), мелкие детали автомобилей и т.п.

## 2. Литье в оболочковые формы.

Литье в оболочковые формы применяют в условиях массового и серийного производства небольших, преимущественно тонкостенных отливок. На *рисунке. 8* приведена схема получения оболочковой формы. Поворотный бункер 1 (*рисунк. 8,а*) машины наполняют формовочной смесью из песка и термоактивной смолы - бакелита.



**Рисунок 8. Схемы получения оболочковой формы**

Нагретую до 150-200 °С одностороннюю металлическую плиту 2 с металлическими моделями закрепляют над бункером (рисунок 8,б) и переворачивают вместе с ним (рисунок 8,в). Под действием нагретой плиты смола в слое, покрывающем плиту, плавится и спекает песок. При обратном повороте устройства на форме остается спеченная оболочка 3 (рисунок 8,г), а избыток смеси остается в бункере. Для завершения операции оболочку вместе с плитой помещают на 30 - 40 сек в печь 4 (рисунок 8,д), нагретую до 250 - 300 °С. Затвердевшую оболочку снимают с плиты толкателем (рисунок 8,е) и соединяют с другой оболочкой (полуформой) зажимами.

Готовую оболочку заливают металлом; после затвердевания отливки - отливки легко освобождаются. В оболочковые формы заливают чугун, сталь и сплавы цветных металлов. Стоимость отливок, полученных таким способом, увеличивается вследствие высокой цены на бакелит.

Литье в оболочковые формы имеет ряд преимуществ: формовка может быть легко автоматизирована с выдачей до 500 оболочек в час; точность отливок – 0,3 – 0,7 мм на 100 мм размера при высокой чистоте поверхности, поэтому устраняется механическая обработка на станках; расход формовочных материалов сокращается в 8 - 10 раз и не нужны опоки.

## ЛИТЬЕ В МНОГОРАЗОВЫЕ ФОРМЫ

### 1. Литье в металлические формы (кокильное литье).

Металлические формы для литья (кокиль) изготавливают из чугуна или стали. При литье из легких сплавов применяют чугунные и стальные стержни, а в случае литья из стали, чугуна и медных сплавов - песчаные стержни. Для относительно легких сплавов цветных металлов металлические формы выдерживают сотни тысяч заливок, стойкость форма при литье чугуна колеблется в пределах 1500 - 5000 заливок, а при отливке стали - от 25 до 700 в зависимости от размера отливок; поэтому литье в металлические формы для крупных стальных отливок выгодно лишь в случае простых форм, когда стоимость изготовления их невелика. Применительно к сплавам цветных металлов и чугуну этот способ более выгоден, так как, кроме более точных размеров отливок, они лучше по структуре и механическим свойствам.

Против отбеливания чугуна и для большей стойкости форм их покрывают тонким слоем огнеупора и сажи, тем самым замедляется скорость охлаждения чугуна. Кроме того, перед заливкой чугуна формы подогревают до 200 - 300 °С. Отбеливанию препятствует также увеличение кремния в чугуне.

Для литья сложных деталей применяют металлические формы из нескольких частей (разъемные).

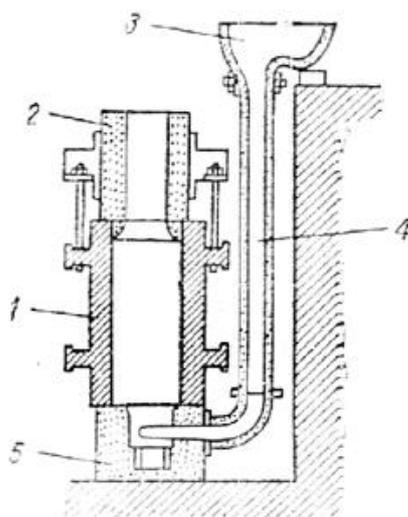
При массовом производстве литье в металлические формы можно автоматизировать, как, на пример, на заводах-автоматах, где отливают алюминиевые поршни для двигателей внутреннего сгорания.

Отбеленным закаленным литьем называют чугунное литье с отбелом на нужную глубину при быстром охлаждении в металлической форме (кокиле). В закаленном слое весь или почти весь углерод остается связанным (в цементите).

**Твердость HB** закаленных деталей колеблется в пределах от 300 до 500 и выше, глубина отбела от 12 до 30 мм. Скорость охлаждения отливки должна обеспечивать постепенный переход белого чугуна в серый, в противном случае отбеленный слой может выкрашиваться.

Наибольшее распространение отбеленное литье получило в производстве прокатных валков и колес железнодорожных вагонов. На **рис. 9** приведена форма, подготовленная для заливки прокатного валка. Здесь кокилем (металлической формой) является только средняя часть 1, которая образует рабочую поверхность валка; верхняя 2 и нижняя 5 части формуются в опоках из формовочной смеси по

модели и образуют шейки валка, которые впоследствии обрабатываются на станках.



**Рисунок 9. Форма для отливки прокатного валка**

Через литниковую чашу 3 и литниковый стояк 4 чугун сифоном подводят в нижнюю часть собранной формы.

## **2. Центробежное литье.**

При центробежной отливке металл заливают в форму, вращающуюся вокруг вертикальной оси или горизонтальной оси. В результате этого жидкий металл оттесняется центробежной силой к стенкам формы. При этом структура металла получается уплотненной, так как газы и неметаллические включения вытесняются к поверхности, находящейся ближе к центру вращения и подвергающейся обычно механической обработке. Форму вращают до полного затвердевания металла, после чего вынимают готовые отливки.

*Машины с горизонтальной осью вращения* применяют для отливок значительной длины. Скорость вращения формы должна обеспечивать одинаковую толщину стенок по всему сечению.

На *рисунке 10* приведена схема установки для отливки труб. Жидкий металл из ковша 7 по желобу 6 направляется во вращающуюся металлическую форму 5. В конце формы для ограничения внутренней поверхности раструба установлен стержень 1. Между кожухом 4 и формой циркулирует вода, охлаждающая форму. Форма приводится во вращение электродвигателем 3 посредством зубчатой передачи 2. По мере подачи жидкого металла машина равномерно перемещается в направлении, указанном стрелкой до тех пор, пока передний срез желоба не

достигнет конца формы. Далее подача металла прекращается; после затвердевания металла прекращается вращение, и готовая труба извлекается из формы. Чугунные трубы от быстрого охлаждения отбеливаются, поэтому их отжигают.

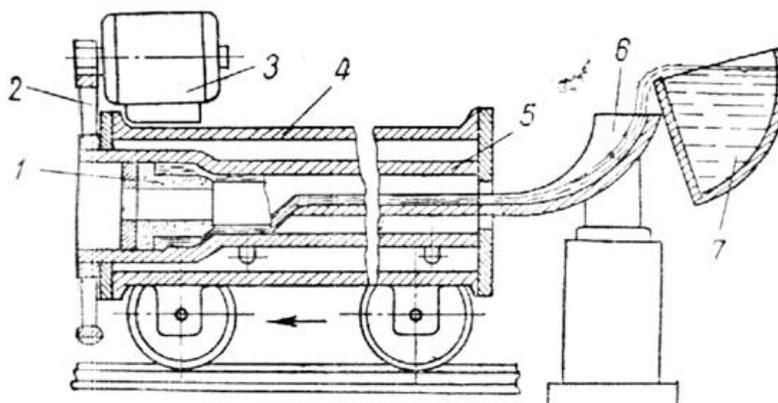


Рисунок 10. Схема установки для центробежной отливки труб

Для уменьшения отбела применяют те же меры, что и в кокилях.

**Машины с вертикальной осью вращения** применяют главным образом для кольцеобразных отливок небольшой высоты. Металл заливают во вращающуюся форму из стопорного ковша. При центробежном способе литья нет питателей, литниковой системы и выпоров, что снижает расход металла.

### 3. Литье под давлением.

При литье под давлением металл заливают в постоянную стальную форму под давлением поршня или сжатого воздуха. Детали, полученные таким способом имеют 5 - 6 квалитет точности, так что механическая обработка их незначительна или вообще не нужна. Литьем под давлением отливают детали размерами до 300 мм (с заливкой в форму до 2 л металла) с резьбой, отверстиями тонкими приливами и выступами.

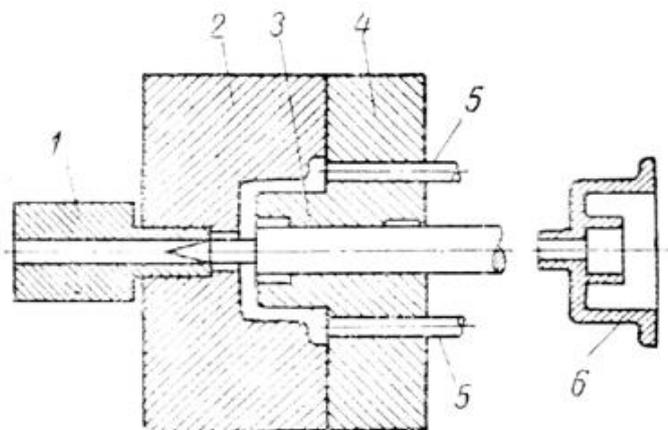
Металл в отливках, полученный под давлением, имеет мелкозернистую структуру вследствие быстрого охлаждения в стальной форме, поэтому прочность этих отливок деталей всегда выше прочности деталей, отлитых в песчаные формы.

Литье под давлением в настоящее время широко применяют в массовом производстве для получения деталей небольшого веса из сплавов цветных

металлов на основе меди, алюминия, цинка, магния, свинца и олова, кроме того изготавливают отливок деталей средних размеров из стали и чугуна.

Литьем таким способом производят в поршневых и компрессорных машинах с горячей и холодной камерами. При литье из относительно тугоплавких сплавов (медных, алюминиевых) применяют поршневые машины с холодной камерой, в которую заливается дозированное количество жидкого металла из отдельной печи, после чего производят прессование.

На *рисунке 11* приведена форма для литья под давлением с холодной камерой сжатия. Неподвижная часть 2 и подвижная часть 4 составляют полость, соответствующую отливке. Стержень 3 служит для образования отверстия. Жидкий металл поступает в форму под давлением поршня через мундштук 1. Затвердевание отливки длится несколько секунд, после чего форма разбирается и готовая отливка 6 выталкивается из формы толкателями 5.



**Рисунок 11. Форма для литья под давлением**

В зависимости от положения отверстий стержни могут располагаться как в неподвижной, так и в подвижной части формы.

Форма конструируется с таким расчетом, чтобы при разьеме отливка задерживалась в подвижной части, где располагаются толкатели.