

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Литейное производство – отрасль машиностроения, производящая литые изделия из различных металлов и сплавов. Сущность его состоит в получении литых заготовок – *отливок* – путем заливки расплавленного металла с высокой *жидкотекучестью* в литейную форму, внутренняя полость которой имеет конфигурацию отливки.

Жидкотекучесть – это свойство сплавов в жидком состоянии заполнять литейную форму и точно воспроизводить её очертания в отливке.

В машинах и промышленном оборудовании около 50 % всех деталей изготавливают литьём. Например, доля литых деталей в кузнечном молоте составляет 90 %, в металлорежущих станках – 80 %, в автомобилях и тракторах – 55 %.

Все способы литья разделяют на две группы:

- Литьё в песчано-глинистые формы.
- Специальные способы литья, к которым относится литьё в металлические формы, литьё по выплавляемым моделям, литьё под давлением, центробежное литьё и другие способы.

Литьём в песчано-глинистые формы получают до 80 % всех отливок.

ЛИТЬЁ В ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫЕ ФОРМЫ

Свойства формовочных смесей

Для получения отливок высокого качества формовочные смеси, из которых делают разовые литейные формы, должны обладать определёнными свойствами.

Прочность – способность смеси обеспечивать сохранность формы без разрушения при её изготовлении и при заливке металла.

Податливость – способность смеси деформироваться вместе с отливкой при усадке кристаллизующегося металла для предохранения отливки от разрушения.

Пластичность – способность смеси точно воспроизводить очертания модели.

Газопроницаемость – способность смеси пропускать газы через стенки формы. Газы вытесняются из полости формы при заливке жидкого металла. При недостаточной газопроницаемости в отливке могут образоваться газовые поры.

Термохимическая устойчивость, или **непригораемость**, – способность смеси не взаимодействовать с жидким металлом. Плёнки пригара ухудшают качество поверхности отливки и затрудняют последующую обработку на металлорежущих станках.

Формовочная смесь состоит из следующих компонентов:

- глина (связующее) – 8–10 %;
- кварцевый песок (наполнитель) – 84–88 %;
- каменноугольная пыль (противопригарная добавка) – 0,5–1 %;
- вода – остальное.

Свойства стержневых смесей

Стержни служат для образования отверстий в отливках. Они работают в более тяжёлых условиях под воздействием расплавленного металла и поэтому должны обладать повышенной прочностью.

Состав стержневой смеси: 4–6 % глины, 90–92 % кварцевого песка, 2–3 % веществ, обеспечивающих дополнительную прочность (сульфидная барда, жидкое стекло или синтетическая смола), 3–4 % воды.

После изготовления стержни подвергаются просушке при 150–280 °С. При этом смола затвердевает, и стержень приобретает повышенную прочность.

Технологический процесс изготовления разовой литейной формы

1. В литейном цехе завода изготавливают формовочную и стержневую смеси.
2. В технологическом бюро по чертежу детали (рис. 1) разрабатывают чертёж отливки (рис. 2).

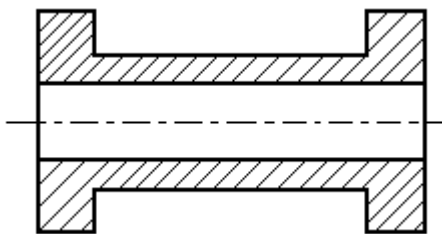


Рис. 1. Чертёж детали

При разработке чертежа отливки к размерам детали добавляется *припуски на механическую обработку* отливки и *припуски на усадку сплава при кристаллизации и охлаждении* отливки.

Выбирается плоскость разёма *модели*. На всех поверхностях, перпендикулярных выбранной плоскости, назначаются *литейные уклоны* для удобства извлечения *модели* при изготовлении формы. Выполняется скругление острых углов *модели* – *галтели*, это нужно для предотвращения образования трещин в *отливке* при её усадке.

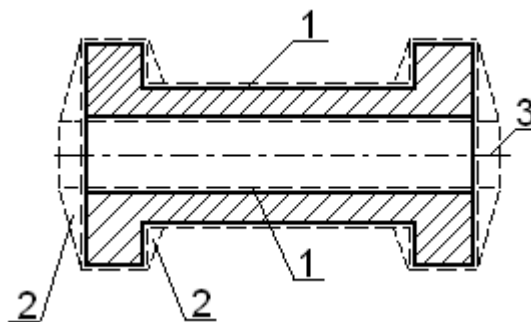


Рис. 2. Чертёж отливки:

- 1 – припуск на механическую обработку и усадку; 2 – литейные уклоны;
3 – плоскость разёма

3. По чертежу отливки в модельном отделении изготавливаются *модель* отливки (рис. 3) и стержневой ящик – из металла, текстолита или дерева.

Модель имеет разъем, её половинки скрепляются коническими штифтами – фиксаторами. В местах выхода отверстий у модели делают выступы – *стержневые знаки* - для получения отпечатков в формовочной смеси, в которые будет уложен стержень.

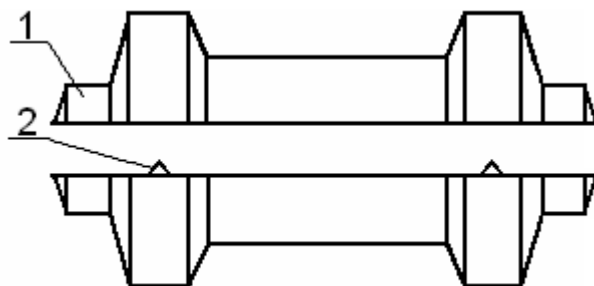


Рис. 3. Чертёж модели:
1 – стержневые знаки; 2 – фиксаторы

4. В стержневом ящике из стержневой смеси формируется стержень (рис. 4). Длина стержня больше длины отверстия на величину стержневых знаков.

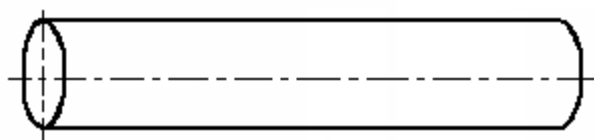


Рис. 4. Стержень

Технология формовки

5. На подмодельную плиту 4 (рис. 5) устанавливается половина модели (без фиксаторов) 3 и ставится нижняя опока 2. Поверхность модели покрывается тонким слоем модельной пудры (графита) для того, чтобы к ней при формовке не прилипала формовочная смесь. Для удержания пудры на поверхности модели модель смачивают керосином или соляжкой. В опоку засыпается формовочная смесь 1 и уплотняется с помощью трамбовок.

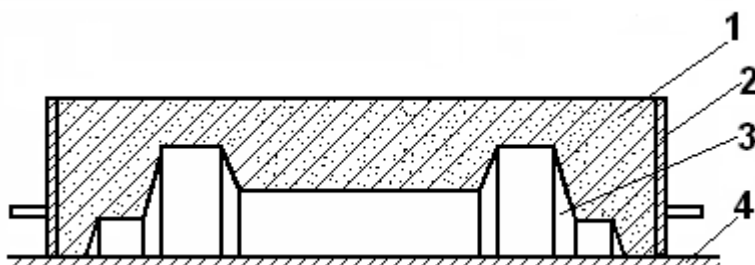


Рис. 5. Изготовление нижней полуформы:
1 – формовочная смесь; 2 – опока; 3 – модель; 4 – подмодельная плита

6. Готовая полуформа поворачивается на 180° . Устанавливается вторая половина модели по фиксаторам. Устанавливается верхняя опока, и жёстко фиксируется взаимное положение опок.

Разъём литейной формы присыпается песком. Устанавливается модель стояка литниковой системы, производится засыпка и уплотнение формовочной смеси в верхней опоке (рис. 6).

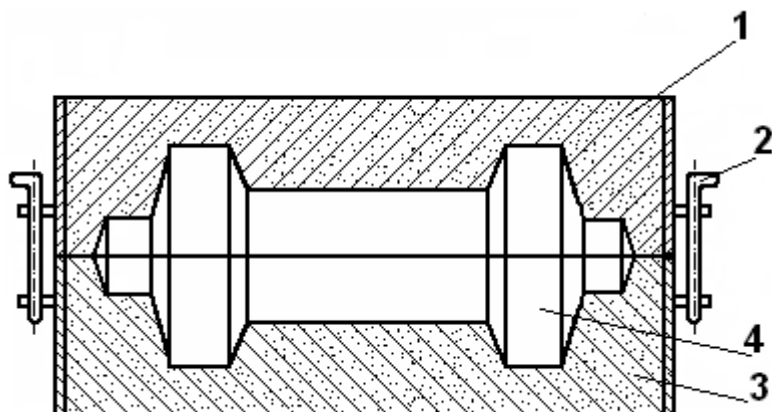


Рис. 6. Изготовление верхней полуформы:
1 – верхняя опока; 2 – устройство для центрирования опок;
3 – нижняя опока; 4 – модель

7. Удаляется модель стояка и начинается оформление *литниковой системы* (рис. 7): прорезается литниковая чаша, и накальваются вентиляционные каналы.

8. Верхняя опока с уплотнённой формовочной смесью снимается с нижней опоки. Удаляется модель. Прорезаются питатель и шлакоуловитель – части литниковой системы.



Рис. 7. Литниковая система:
1 – литниковая чаша; 2 – стояк; 3 – шлакоуловитель; 4 – питатель

Сборка формы

9. Перед сборкой литейная форма осматривается, заделываются местные разрушения, из полости формы и литниковой системы удаляют частицы формовочной смеси. После укладки стержней верхняя половина формы устанавливается на нижнюю часть, и теперь форма готова для заливки металла (рис. 8).

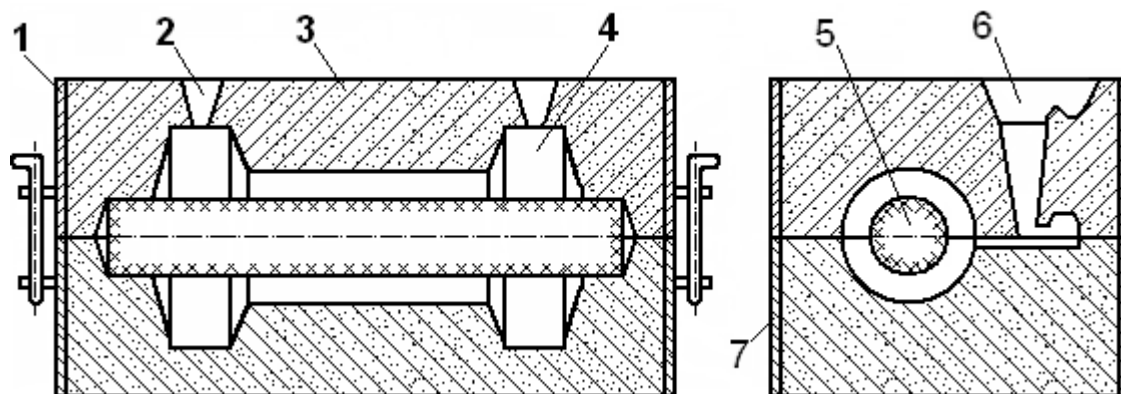


Рис. 8. Литейная форма в сборе:

1 – верхняя опока; 2 – выпор (вентиляционный канал); 3 – формовочная смесь; 4 – полость формы; 5 – стержень; 6 – литниковая система; 7 – нижняя опока

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ЛИТЬЯ

Литьё в песчано-глинистые формы связано с большим грузооборотом формовочных материалов и не всегда позволяет получать качественные отливки. В литейном производстве широко применяются *специальные способы литья*, имеющие ряд преимуществ по сравнению с традиционным литьём. Основные специальные способы литья перечислены выше, но на самом деле их гораздо больше.

Литьё в металлические формы (кокили)

Кокиль – *металлическая многоразовая* литейная форма, которая обеспечивает высокую скорость кристаллизации металла и формирования отливки. Кокиль изготавливают из чугуна, стали и других сплавов. Основное требование, предъявляемое к материалу формы, – стойкость к термическому удару, возникающему при заливке металла.

В зависимости от конфигурации и размеров отливки металлические формы делятся на неразъёмные и разъёмные. В **неразъёмных формах** вся отливка целиком получается в одной форме (типа чашки). На рис. 9 изображена неразъёмная вытряхиваемая форма. Ее применяют для получения простых отливок, имеющих достаточные уклоны на боковых стенках (плиты, коробки и т. п.).

Литниковая система делается внутри стержня. Такие металлические формы обычно закрепляются при помощи цапф на специальных стойках. После заливки производится поворот формы на 180°, и отливка удаляется (вытряхивается) вместе со стержнем.

Разъёмные формы состоят из двух или более частей. Такие формы выполняются с горизонтальной или вертикальной плоскостью разъёма.

Металлические формы с горизонтальным разъёмом (рис. 10) применяют для отливок с более сложной верхней поверхностью.

Металлические формы с вертикальным разъемом (рис. 11) применяют для изготовления более сложных отливок (корпусные детали, литые блоки цилиндров автомобильных двигателей, крышки с массивными фланцами и т. д.).

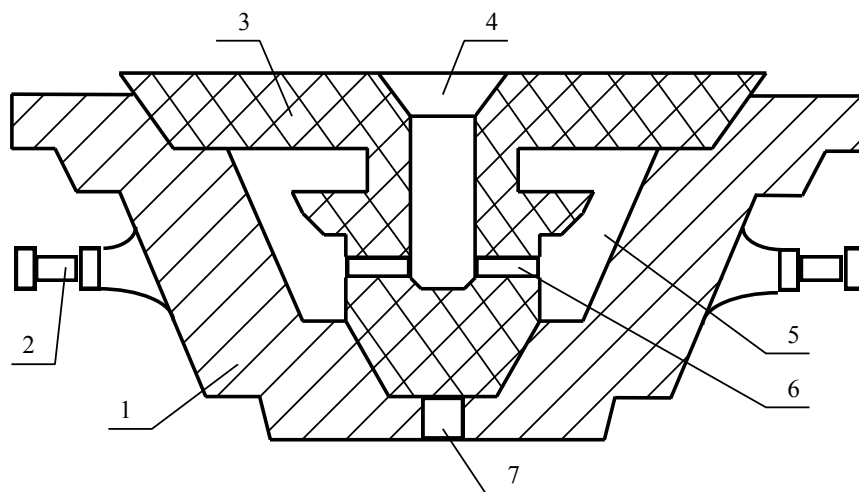


Рис. 9. Металлическая неразъемная форма:

1 – корпус формы; 2 – цапфа для поворота формы при выбивке отливки;
3 – песчаный стержень; 4 – литниковая чаша со стояком; 5 – полость формы;
6 – питатели; 7 – вентиляционный канал

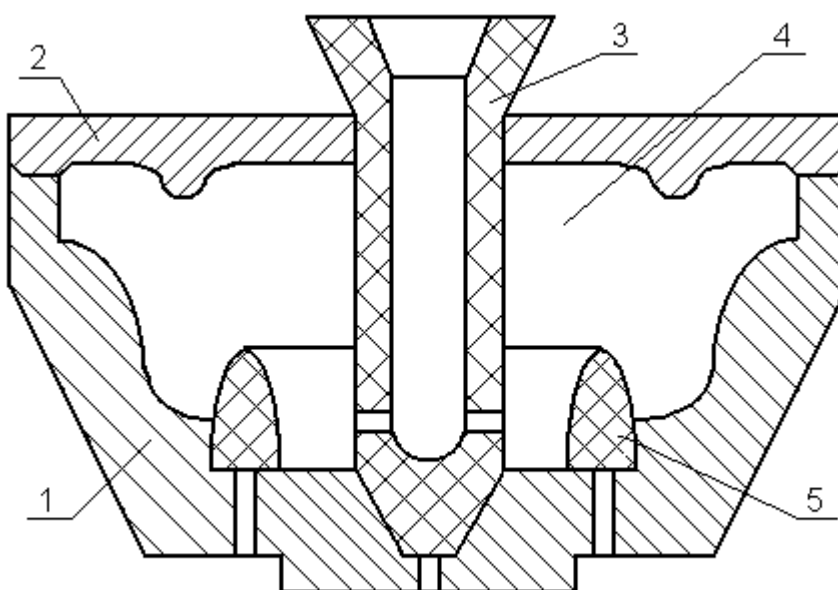


Рис. 10. Кокиль с горизонтальным разъемом:

1 – нижняя часть формы; 2 – верхняя часть формы; 3 – центральный песчаный стержень; 4 – полость формы; 5 – нижний кольцевой стержень

Отверстия и полости в отливках получают с помощью стержней, песчаных или металлических.

Песчаные стержни применяют для стальных и чугунных отливок. Они обладают повышенной податливостью, газопроницаемостью и огнеупорностью.

Однако шероховатость (качество) внутренней поверхности отливок хуже, чем при применении металлических стержней.

Металлические стержни применяют для сплавов с низкой температурой плавления: алюминиевых, магниевых и др. Металлические стержни не обеспечивают свободной усадки отливки при охлаждении, поэтому они удаляются из отливки ещё во время затвердевания, перед выбивкой всей отливки из формы.

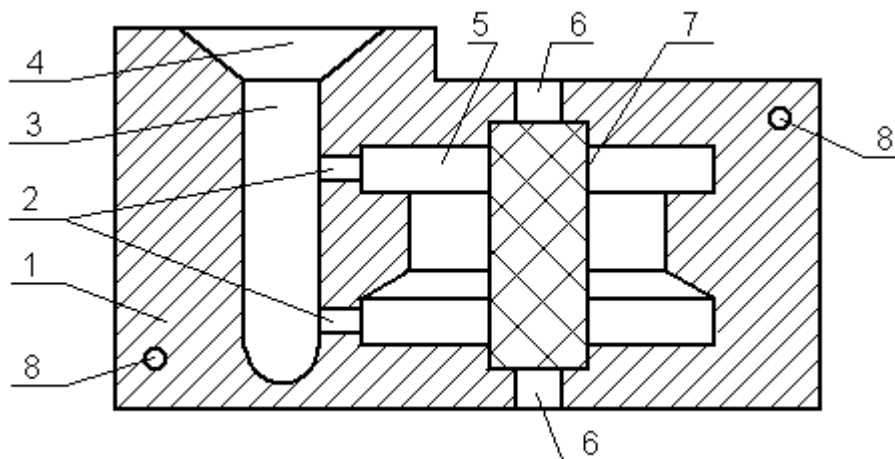


Рис. 11. Кокиль с вертикальным разъемом, с песчаным стержнем:
1 – левая половина формы; 2 – каналы-питатели; 3 – стояк литниковой системы;
4 – литниковая воронка; 5 – полость формы; 6 – вентиляционные каналы;
7 – песчаный стержень; 8 – центрирующие отверстия

Для удаления газов из кокиля по линии разъема изготавливают газовые каналы и выпоры. Газовые каналы делают обычно глубиной 0,2–0,5 мм. Через такие каналы не вытекает жидкий сплав, но легко удаляются газы.

Чтобы уменьшить скорость охлаждения отливок, избежать образования упрочнённого слоя на их поверхности и повысить стойкость кокиля, на его рабочую поверхность наносят теплоизоляционные покрытия. Их готовят из огнеупорных материалов (кварцевой пыли, молотого шамота, графита, мела, талька) и связующего (жидкого стекла, сульфидного щёлоча и др.).

Облицованный кокиль обладает более высокой разгарной стойкостью и податливостью.

Часто для снижения скорости охлаждения отливок и предотвращения упрочнения поверхности форму подогревают. Температура подогрева зависит от состава заливаемого сплава и толщины стенок отливки.

Кокиль имеет ряд **преимуществ** перед *одноразовыми песчаными формами*.

1. Кокили выдерживают большое число заливок (от нескольких сот до десятков тысяч) в зависимости от температуры плавления заливаемого сплава: чем ниже температура, тем больше их стойкость.

2. При этом способе исключается применение формовочной смеси, повышаются технико-экономические показатели производства, улучшаются санитарно-гигиенические условия труда.

3. Высокая теплопроводность кокиля ускоряет процесс кристаллизации сплава и способствует получению отливок с высокими механическими свойствами.

4. Высокая прочность металлических форм позволяет многократно получать отливки одинаковых размеров с небольшими припусками на механическую обработку.

5. Минимальное физико-химическое взаимодействие металла отливки и формы повышает качество поверхности отливки.

Недостатки этого способа литья:

1) высокая трудоёмкость изготовления и стоимость металлических форм;
2) возникновение внутренних напряжений и трещин в отливках сложной формы из-за отсутствия податливости кокилей;

3) образование «отбелённого слоя» очень высокой прочности на поверхности отливок из серого чугуна, что делает невозможной их последующую обработку резанием.

В кокилях получают 45 % всех алюминиевых и магниевых отливок, 6 % стальных отливок, 11 % чугунных отливок. Этот способ литья экономически целесообразен в серийном и массовом производстве. В металлических формах получают чугунные отливки весом от 10 г до 15 т, стальные – от 0,5 г до 5 т и из цветных сплавов (медных, алюминиевых, магниевых) – от 4 г до 400 кг.

Механизировать и автоматизировать процесс кокильного литья легче, чем процесс литья в песчаные формы. Для механизации применяют кокильные машины – однопозиционные и карусельные. Они автоматически выполняют открывание и закрывание кокилей, установку и удаление металлических стержней, выталкивание отливки из кокиля.

Литьё по газифицируемым моделям

Очень часто возникает необходимость в разовых, единичных отливках тех или иных деталей. В этих случаях по традиционной технологии приходится предварительно делать модели для получения наружного отпечатка в литейной форме и стержневые ящики для образования внутренних полостей отливки.

Трудоёмкость изготовления модельных комплектов в несколько раз превышает трудоёмкость изготовления самой отливки. Для её уменьшения и снижения себестоимости разовых отливок можно делать модели не из металла, текстолита или дерева, а из пенополистирола, который *газифицируется расплавленным металлом*. Пенополистирол (пенопласт) в качестве модельного материала используется всё шире.

Пенополистироловые модели дают возможность получать различные отливки в неразъёмных формах без извлечения модельных комплектов из форм, без формовочных уклонов и с минимальными припусками на механическую обработку (рис. 12).

Пенополистирол легко формуется, поэтому из него можно изготовить модели сложной конфигурации.

Для изготовления газифицируемых моделей применяется бисерный пенополистирол в виде гранул, в замкнутых ячейках которых содержится порошкообразный наполнитель (легкоплавкий компонент).

Пенополистирол для газифицируемых моделей должен иметь объёмную массу 0,015–0,025 г/см³.

Пенополистирол с большим удельным весом не содержит количества воздуха, необходимого для его сжигания, он только расплавляется, не сгорая, тем самым заполняет часть формы и приводит к браку при отливке детали.

Пенополистирол с меньшим удельным весом при формовке деформируется, что приводит к искажению формы и размеров отливки.

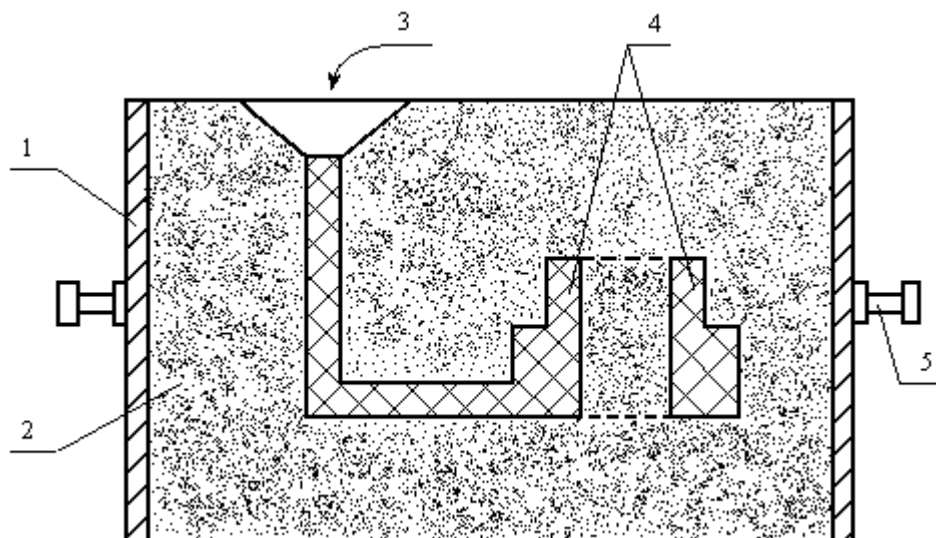


Рис. 12. Неразъемная форма с пенополистироловой моделью:

- 1 – опока; 2 – формовочная смесь; 3 – расплавленный сплав;
4 – модель из пенополистирола (пенопласта); 5 – цапфы

Преимущества этого способа перед *одноразовыми песчаными формами* следующие.

1. Применение пенополистироловых моделей сокращает трудоёмкость формовочных работ на 80 %, объём обрубных и зачистных работ на 70 %.

2. Снижается возможность искажений размеров и конфигурации отливок, связанных с изготовлением и сборкой отдельных стержней и элементов форм.

3. Пенополистироловые модели не усыхают и не набухают от влаги. Это исключает коробление при транспортировке и хранении.

Литьё по газифицируемым моделям имеет также и **недостатки**.

1. Выделение токсичных продуктов при сгорании пенополистироловых моделей, что требует дополнительных защитных мероприятий по охране труда и защите окружающей среды.

2. Возможно образование газовых пор в отливках из-за большого выделения газа при ведении заливки с повышенной скоростью или из-за плохой газопроницаемости формовочной смеси.

3. Деформации пенополистироловой модели (из-за её податливости) при нарушении технологии уплотнения формовочной смеси.

Литьём по газифицируемым моделям получают средние и крупные отливки в условиях мелкосерийного производства и сложные отливки массой до 50 кг с повышенной точностью размеров в условиях серийного и крупносерийного производства. Отливки получают из стали, чугуна, медных и алюминиевых сплавов; масса отливок от 0,01 кг до нескольких тонн.

Центробежное литьё

Принцип центробежного литья заключается в том, что заполнение формы расплавом и формирование отливки происходят при вращении формы вокруг горизонтальной, вертикальной или наклонной оси. Этим достигается дополнительное воздействие *центробежных сил* на расплав и затвердевающую отливку. Процесс реализуется на специальных центробежных машинах.

Чаще всего используют два варианта литья, в которых расплав заливается в кокиль с горизонтальной или вертикальной осью вращения. В первом варианте получают отливки (тела вращения) – полые цилиндрические детали *малого сечения* различной длины, во втором – полые цилиндрические детали *большого сечения* малой длины, а также фасонные отливки.

Для получения пустотелых отливок используется способ литья в металлические формы с горизонтальной осью вращения. По этому способу (рис. 13) отливка 4 формируется под действием центробежных сил. При этом внутренняя поверхность формируется свободно и имеет форму цилиндра, а наружная – повторяет форму и размеры изложницы.

Расплав 1 из ковша 3 заливают во вращающийся кокиль 5 через заливочный желоб 2. Расплав растекается по внутренней поверхности формы, образуя пустотелый цилиндр. После затвердевания металла и остановки формы отливку 4 извлекают. Данный способ характеризуется наиболее высоким *технологическим выходом годного* металла (ТВГ = 100 %), так как отсутствует расход металла на литниковую систему.

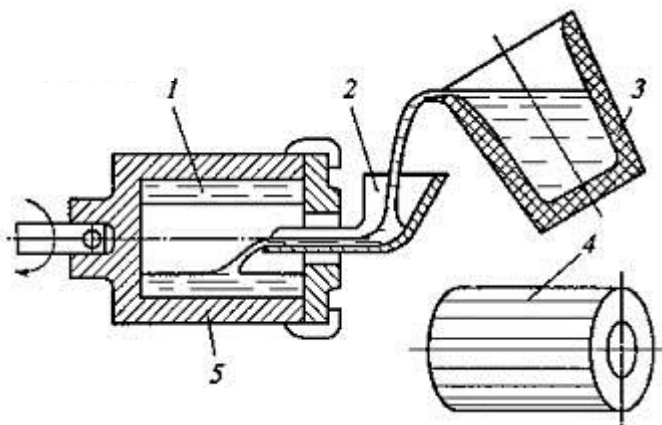


Рис. 13. Схема получения отливки при вращении формы вокруг горизонтальной оси

При получении отливок со свободной параболической внутренней поверхностью (рис. 14) расплав из ковша 1 заливают в кокиль 2, закреплённый на шпинделе 3 и вращаемый вокруг вертикальной оси электродвигателем 4. Расплав 5 под действием центробежных и гравитационных сил распределяется по стенкам

металлической формы и затвердевает, после чего вращение формы прекращают и извлекают из неё затвердевшую отливку 6.

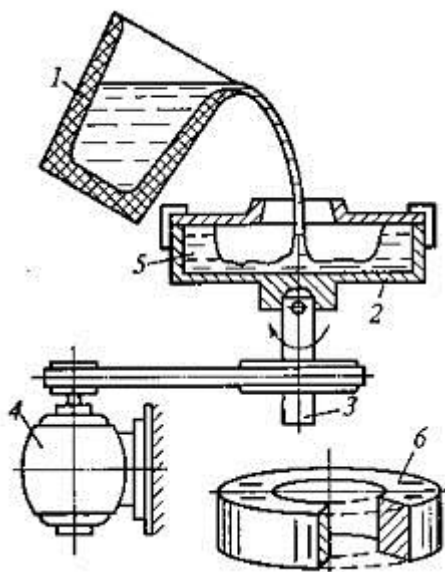


Рис. 14. Схема получения отливок при вращении формы вокруг вертикальной оси

Скорость вращения кокиля является важным параметром технологии центробежного литья. При слишком низкой или высокой скорости вращения появляются дефекты при заливке форм и в ходе кристаллизации отливок.

При заниженной скорости вращения внутренняя поверхность получается негладкой, металл плохо подхватывается формой, недостаточно очищается от неметаллических включений. В случае завышенной скорости вращения очень возрастает давление жидкого металла, что вызывает образование трещин, ликвацию компонентов сплава по плотности, вибрацию машины и, как следствие, более быстрый износ.

Частота вращения зависит от диаметра отливки и плотности сплава и должна быть такой, чтобы центробежная сила, действующая на свободную поверхность отливки, превышала силу тяжести, т. е. чтобы в верхнем положении не происходило отрыва расплава от внутренней поверхности формы.

Для расчёта скорости вращения кокиля используют различные формулы. Наиболее известная формула предложена Л. С. Константиновым:

$$n = \frac{5520}{\sqrt{\gamma r}},$$

где γ – плотность заливаемого сплава, г/см³; r – радиус внутренней поверхности отливки, см; 5520 – опытный числовой коэффициент.

К **преимуществам** центробежного способа литья в *кокиль* можно отнести:

- 1) улучшение заполняемости форм расплавом под действием давления, развиваемого центробежными силами;
- 2) повышение плотности отливок вследствие уменьшения количества усадочных пор, раковин, газовых, шлаковых и неметаллических включений;

3) уменьшение расхода металла и повышение выхода годного благодаря отсутствию литниковой системы;

4) возможность получения пустотелых отливок без применения стержней.

Недостатками способа являются:

1) трудности получения отливок из сплавов, склонных к ликвации;

2) загрязнение свободной поверхности отливок неметаллическими включениями;

3) неточность размеров свободных поверхностей отливок, вызванная скоплением неметаллических включений и переменным количеством расплава, заливаемого в форму.

Наивысшие технико-экономические показатели центробежного способа литья достигаются при получении пустотелых цилиндрических отливок (длиной до нескольких метров и массой до нескольких тонн): труб, втулок и гильз разного назначения из чугуна, стали, цветных и специальных сплавов; колец подшипников качения.