



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

Материаловедение

Лекция 7: Изготовление деталей методом литья

Семенова Елена



Литейное производство – процесс получения фасонных отливок путем заполнения жидким металлом заранее подготовленных литейных форм, полость которых соответствует их размерам и форме (с технологическими припусками). После кристаллизации металла (застывания) литую деталь (заготовку), называемую отливкой, удаляют из литейной формы и отправляют для последующей термической и механической обработки.

Литье позволяет наиболее целесообразно распределить металл в изделии: там, где деталь подвергается большой нагрузке, площадь ее сечения делают большей, а места, на которые падают незначительные нагрузки, более тонкими.

Во многих случаях литье – единственно возможный способ получения заготовок сложной формы

Получение заготовок методом литья имеет ряд преимуществ:

- с помощью отливки можно получить заготовки практически **любой сложности по конфигурации**. Ни путемковки и штамповки, ни путем сварки нельзя изготовить сложных фасонных заготовок, столько максимально приближающихся к форме готовой чистовой детали
- припуски на механическую обработку в отливках могут быть весьма небольшими
- утилизация отходов металла в литейном производстве (литник и брак) не требует значительных затрат средств и времени. Указанные отходы нуждаются лишь в переплавке, и полученный из них жидкий металл снова используется непосредственно для заливки новых деталей
- в литейном производстве не требуется столь дорогостоящего и тяжелого оборудования, как в ковочно-штамповочном (прессы, молоты)

Сравнивая полученные различными методами заготовки в отношении качества металла (прочности и надежности), необходимо отметить, что наличие в отливках скрытых раковин, неметаллических включений, более крупнозернистого строения и остаточных внутренних напряжений приводит к тому, что в отношении прочности и надежности литые заготовки в большинстве случаев (но не всегда) уступают кованым и штампованным

Классификация литых заготовок



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

В литейном производстве для получения металлических отливок применяют более 50 видов литья, которые отличаются друг от друга по материалу литейной формы, по способу подачи в нее заливаемого металла, по точности размеров, по чистоте поверхности отливок, по производительности и степени сложности технологического процесса.

По условиям эксплуатации, независимо от способа изготовления, различают отливки:

- общего назначения – отливки для деталей, не рассчитываемых на прочность
- ответственного назначения – отливки для деталей, рассчитываемых на прочность и работающих при статических нагрузках
- особо ответственного назначения - отливки для деталей, рассчитываемых на прочность и работающих при циклических и динамических нагрузках

В зависимости от способа изготовления, массы, конфигурации поверхностей, габаритного размера, толщины стенок, количества стержней, назначения и особых технических требований отливки делят на **6 групп сложности**.

Первая группа характеризуется гладкими и прямолинейными наружными поверхностями с наличием невысоких усиливающих ребер, буртов, фланцев, отверстий. Внутренние поверхности простой формы. Типовые детали – крышки, рукоятки, диски, фланцы, муфты, колеса вагонеток, маховики для клапанов и т.д.

Шестая группа – отливки с особо сложными закрытыми коробчатыми и цилиндрическими формами. На наружных криволинейных поверхностях под различными углами пересекаются ребра, кронштейны и фланцы. Внутренние полости имеют особо сложные конфигурации с затрудненными выходами на поверхность отливки.

В зависимости от способа изготовления их габаритных размеров и типа сплавов **ГОСТ 26645-85** устанавливает **22 класса точности**.



Получение качественных отливок без раковин, трещин и других дефектов зависит от литейных свойств сплавов, кристаллизации и охлаждении отливок в форме. При выборе необходимо знать, хорошо ли он лется (жидкотекучесть), как быстро затвердевает, какую дает усадку (насколько он уменьшается в объеме при затвердевании).

Основные литейные свойства сплавов:

Жидкотекучесть – способность расплавленного металла течь по каналам литейной формы, заполнять ее полости и четко воспроизводить контуры отливки.

При высокой жидкотекучести сплавы заполняют все элементы литейной формы. Например, медь в расплавленном состоянии густая и плохо заполняет форму.

Усадка – свойство металлов и сплавов уменьшать объем при охлаждении в расплавленном состоянии, в процессе затвердевания и в затвердевшем состоянии при охлаждении до температуры окружающей среды. Изменение объема зависит от химического состава сплава, температуры заливки, конфигурации отливки. Для предупреждения образования усадочных раковин устанавливают прибыли – дополнительные резервуары с расплавленным металлом, а также наружные или внутренние **холодильники**.

Различают объемную и линейную усадку. Линейная усадка определяет размерную точность полученных отливок, поэтому она учитывается при разработке технологии литья и изготовления модельной оснастки.

Газопоглощение – способность литейных сплавов в расплавленном состоянии растворять водород, азот, кислород и другие газы. При затвердевании и последующем охлаждении растворимость газов уменьшается, в результате их выделения в отливке могут образоваться газовые раковины и поры.

Растворимость газов зависит от химического состава сплава, температуры заливки, вязкости сплава и свойств литейной формы.

Ликвация – неоднородность химического состава сплава в различных частях отливки. Ликвация образуется в процессе затвердевания отливки, из-за различной растворимости отдельных компонентов сплава в его твердой и жидкой фазах.

Различают ликвацию зональную, когда различные части отливки имеют различный химический состав, и дендритную, когда химическая неоднородность наблюдается в каждом зерне.



Чугун является наиболее распространенным материалом для получения фасонных отливок. Обладает хорошими литейными свойствами в сравнении со всеми остальными сплавами: относительно не высокая температура плавления – $(1100 \div 1200) ^\circ\text{C}$, достаточная жидкотекучесть, небольшая усадка. Из серого чугуна получают самые дешевые.

Сталь имеет значительно худшие литейные свойства, чем чугун. В первую очередь, она имеет меньшую жидкотекучесть и, следовательно, хуже заполняет форму. Однако высокая прочность и вязкость стальных отливок являются их значительным преимуществом. В некоторых случаях, стальные отливки после соответствующей термической обработки не уступают по механическим свойствам поковкам.

Усадка стали также больше, чем у чугуна и большинства цветных металлов.

Литейные стали, как правило, содержат до 0,9 % Mn, до 0,52 % Si и не более 0,06 % S и 0,08 % P.

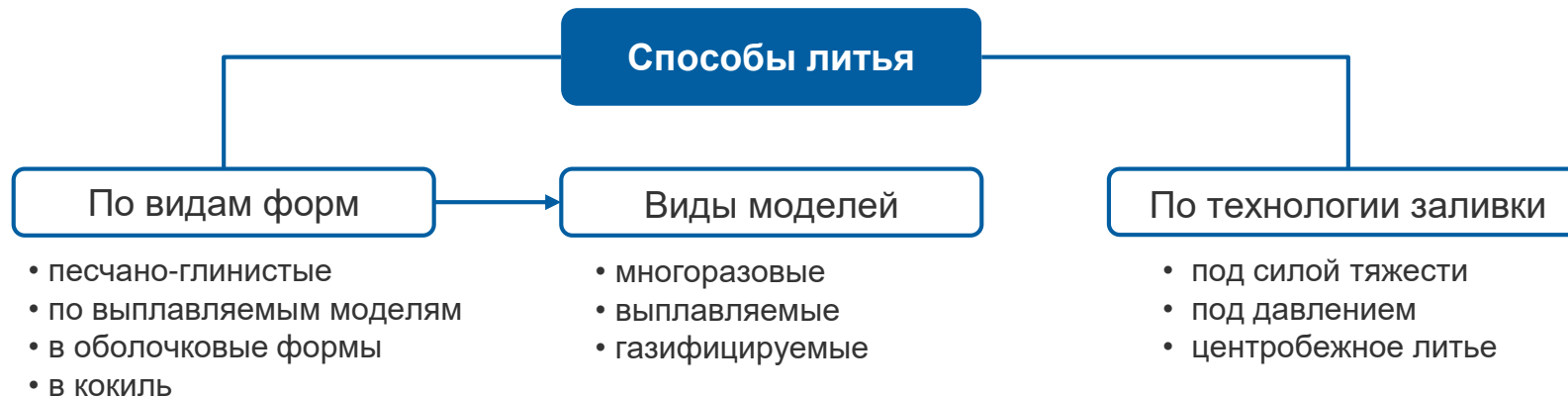
Литейные легированные стали по свойствам уступают углеродистым из-за того, что при легировании расширяется интервал кристаллизации и уменьшается теплопроводность (возрастают термические напряжения).

Многие литейные стали имеют ту же марку, что и деформируемые, отличаясь лишь буквой Л в конце марки (15Л, 20Л, 25Л, 30Л, 35Л, 40Л, 45Л, 50Л и 35ХМЛ, 35ХГСЛ, 12Х18Н9ТЛ и др.).

Классификация способов литья



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ



Способы получения отливок можно разделить на две основные группы:

- используются одноразовые литейные формы и после получения отливок их разрушают. К этой группе относят литье в песчано-глинистые формы и специальные виды литья - оболочковое литье и литье по выплавляемым моделям
- используются многоразовые формы. Это литье в кокиль, литье под давлением и центробежное литье

Способы получения отливки



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

Разовые формы изготавливаются из формовочной смеси и годны для получения только одной отливки. Постоянные формы – обычно металлические, выдерживают большое число заливок. Для литья под давлением и центробежного литья применяют постоянные формы.

Для получения отливок применяют также полупостоянные керамические формы. Их делают из особых, обжигаемых при высокой температуре ($600 \div 700$) °С смесей. Они служат обычно $40 \div 50$ раз.

Очень эффективны постоянные металлические (кокильные) формы: их можно использовать для заливки металла сотни и даже тысячи раз.

Укрупненно технологический процесс получения отливки из металла состоит из следующих основных операций:

- изготовление литейной формы;
- плавка металла;
- заливка металла в форму;
- затвердевание металла и охлаждение отливки;
- термическая обработка отливки;
- контроль качества отливки;
- сдача отливки на механическую обработку

Наиболее широкое распространение получило литье в песчано-глинистые 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.

Формирование структурных зон слитка



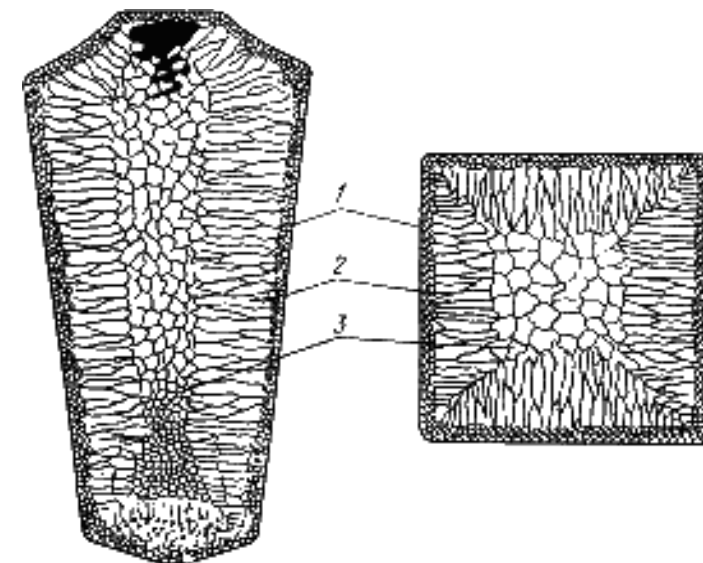
АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

Реальный процесс затвердевания стального слитка. В изложнице (форме) сталь не может затвердеть одновременно во всем объеме из-за невозможности создания равномерной скорости отвода тепла. Поэтому процесс кристаллизации стали начинается у холодных стенок и дна изложницы, а затем распространяется внутрь жидкого металла.

При соприкосновении разливаемого металла с поверхностью изложницы происходит очень быстрое, практически мгновенное и глубокое переохлаждение расплава ниже точки ликвидуса. В результате этого на поверхности изложницы из жидкого металла формируется большое число зародышей - центров кристаллизации, которые в дальнейшем растут, мешая друг другу, образуя множество мелких неориентированных равноосных кристаллов. Так образуется внешний слой слитка, называемый корковой зоной (**первая зона слитка**).

Так как объем твердого металла меньше жидкого, между стенкой изложницы и застывшим металлом образуется воздушная прослойка и сама стенка нагревается от соприкосновения с металлом, поэтому скорость охлаждения металла и продвижения фронта кристаллизации снижаются. При этом новые зародыши кристаллов уже не могут образовываться и продолжается лишь рост ранее образовавшихся кристаллов в направлении отвода теплоты, т.е. перпендикулярно стенкам изложницы. Так образуется слой крупных, ориентированных кристаллов, называемых столбчатыми (**вторая зона слитка**) или дендритами.

В момент, когда температура жидкости у оси слитка становится близкой к температуре ее кристаллизации, градиент температур в жидкой сердцевине слитка становится близким нулю, и рост столбчатых кристаллов прекращается. Начинается формирование **третьей структурной зоны** слитка - зоны крупных, равноосных, неориентированных кристаллов. Эти кристаллы растут равномерно во всех направлениях и достигают большой величины, поскольку в своем росте они не мешают друг другу. Протяженность данной зоны растет с уменьшением температуры заливки.



- 1 – мелкокристаллическая корковая зона;
- 2 – зона столбчатых кристаллов;
- 3 – внутренняя зона крупных равноосных кристаллов.

Формирование структурных зон слитка



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

В отдельную структурную зону выделяют конусообразную зону в нижней придонной части слитка, называемую "**конусом осаждения**". Формирование данной зоны объясняется захлаживающим действием поддона и образованием застойной зоны, металл из которой наиболее слабо перемешивается с вышележащим расплавом.

В верхней части слитка, которая затвердевает в последнюю очередь, образуется **усадочная раковина** вследствие уменьшения объема металла при охлаждении. Под усадочной раковиной металл получается рыхлым из-за большого количества усадочных пор.

Для получения изделий используют только часть слитка, удаляя усадочную раковину и рыхлый металл слитка для последующего переплава.

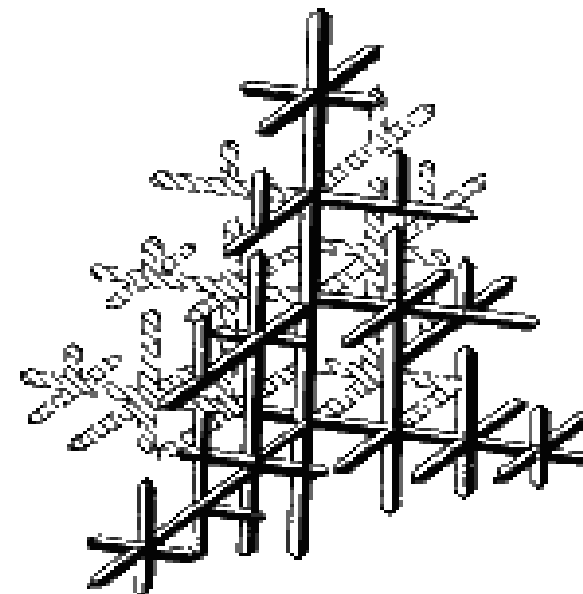
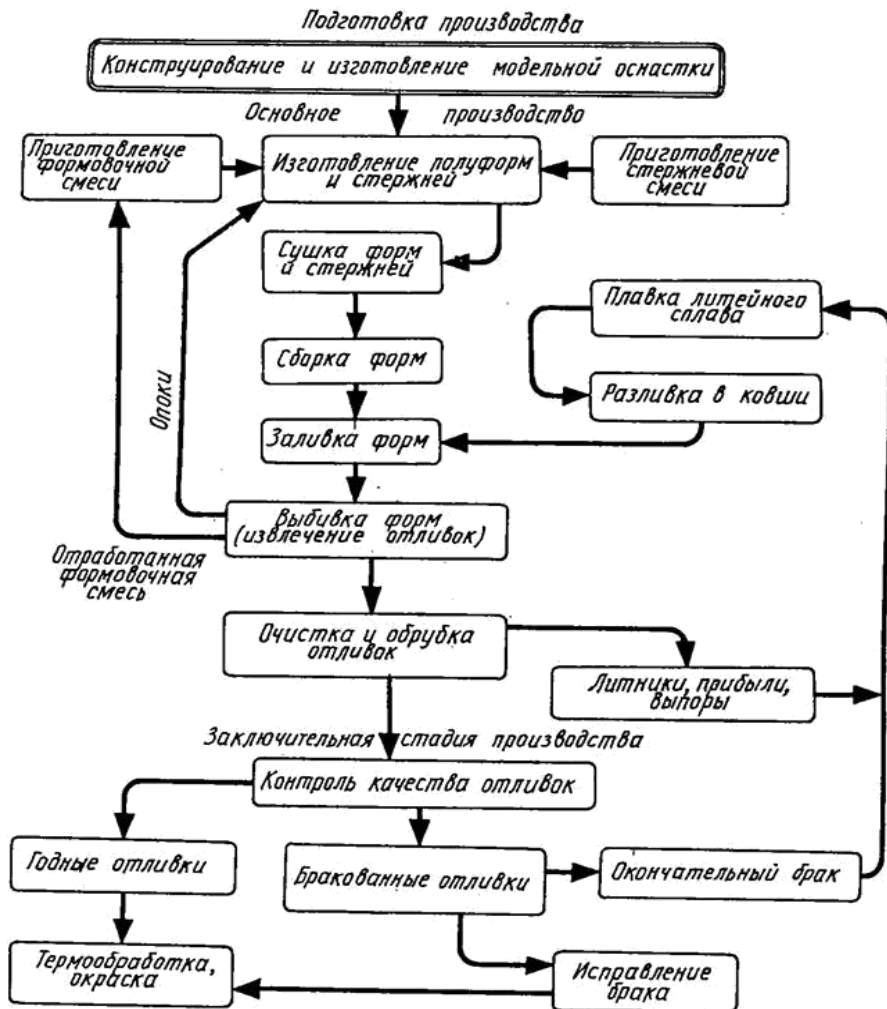


Схема дендрита

Процесс литья в одноразовые формы



Технологический процесс получения отливок в разовых формах складывается из следующих основных операций:

- изготовление модельных комплектов
- приготовление формовочных и стержневых смесей
- изготовление стержней и их сушка
- подготовка литейных приспособлений (опок)
- формовка по моделям
- плавка металла и заливка форм
- выбивка и очистка отливок

Модельный комплект – это комплект формовочных приспособлений, необходимых для изготовления литейной формы. Он включает литейную модель, стержневой ящик, модель литниковой системы, опоки, подмодельную плиту, формовочные и сборочные шаблоны для конкретной отливки.

Формовочные и стержневые смеси



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

Для получения качественных отливок в песчаных формах большое значение имеют формовочные смеси, качество которых зависит от качества исходных материалов.

Формовочная смесь состоит из наполнителя (песок, порошок), связующего (применяют огнеупорную глину, портландцемент, жидкое стекло, синтетические смолы; для изготовления стержней – жидкое стекло с порошкообразными и жидкими отвердителями, фенолфурановые, фенолформальдегидные, карбамидно-фурановые, а также фосфатные связующие и специальных добавок (тонкодисперстные порошки, увеличивающие плотность смеси. Добавки повышают прочность смеси за счет активации системы «наполнитель – связующее», препятствуют проникновению металла в форму как порозаполнители).

Свойства смесей делятся на **технологические, рабочие и общие**.

К технологическим свойствам смесей относятся прочность во влажном и упрочненном состояниях, выбиваемость, осыпаемость, текучесть, живучесть и долговечность.

К рабочим – прочность в нагретом состоянии, огнеупорность, податливость, газотворность и газопроницаемость, поверхностная прочность, склонность к пригару и теплофизические характеристики смесей.

Общие свойства зависят от свойств исходных формовочных материалов и определяют объемную массу, пористость, зерновой, минералогический и химический составы. От комплекса свойств смесей наравне с технологическими особенностями зависит качество отливок.

Модельный комплект: литейная модель



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

Литейные модели выполняются с учетом припуска на механическую обработку. Т.к. все металлы при охлаждении уменьшают свои линейные размеры, модели делаются больше отливки на величину усадки. Деревянные модели покрывают лаком для предотвращения попадания влаги, пристаивания формовочной смеси и придания гладкой поверхности. Стержни образуют сквозные отверстия, полости или углубления в отливке.

Литейная модель (см. рисунок) 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.

Деревянные модели выдерживают лишь несколько десятков формовок. Модели могут быть цельные и разъемные в зависимости от конфигурации и размеров детали.



Модельный комплект: литниковая система и пр.



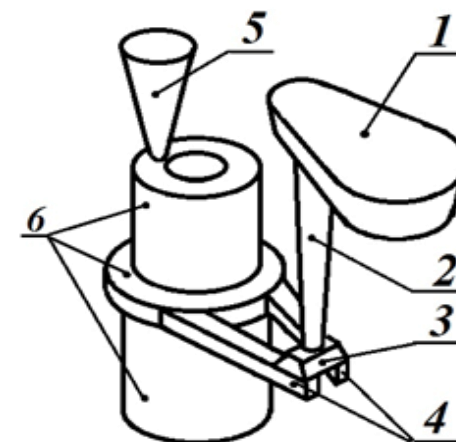
АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

Литниковая система – система каналов и элементов формы для подвода в ее полость расплавленного металла. Она обеспечивает заполнение и питание отливки при затвердевании, в также служит для улавливания шлака, попадающего вместе с металлом.

- литниковая чаша – служит для приема расплавленного металла из ковша и подачи его в форму
- стояк – вертикальный или наклонный канал, предназначенный для подачи расплавленного металла из литниковой чаши к другим элементам системы
- шлакоуловитель – служит для задержки шлака и кусочков формовочной смеси, а также для подвода расплавленного металла от стояка к питателям
- питатель – служит для подвода расплавленного металла в полость литейной формы
- выпор – предназначен для вывода газов из формы при заливке, контроля заполнения формы расплавленным металлом и для слива холодного металла из верхней части полости формы
- прибыль – предназначена для питания жидким металлом той части отливки, в которой из-за усадки металла может образоваться раковина. В этом случае раковина образуется не в отливке, а в прибыли, которая в последствии удаляется. Поэтому прибыль располагают в наиболее толстых частях отливки

Стержневой ящик – приспособление 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



1 – чаша; 2 – стояк; 3 – шлакоуловитель;
4 – питатель; 5 – выпор; 6 – отливка

Модельный комплект

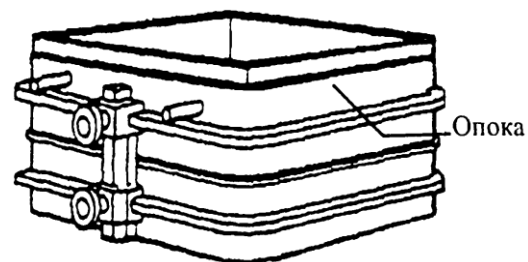
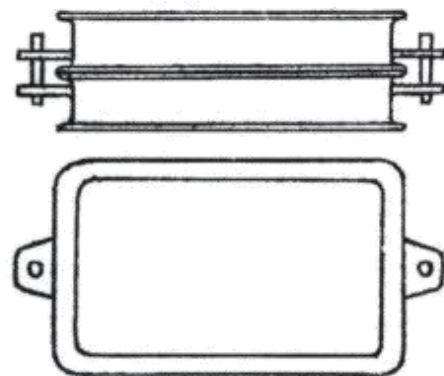


АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

Стержневой ящик – приспособление 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

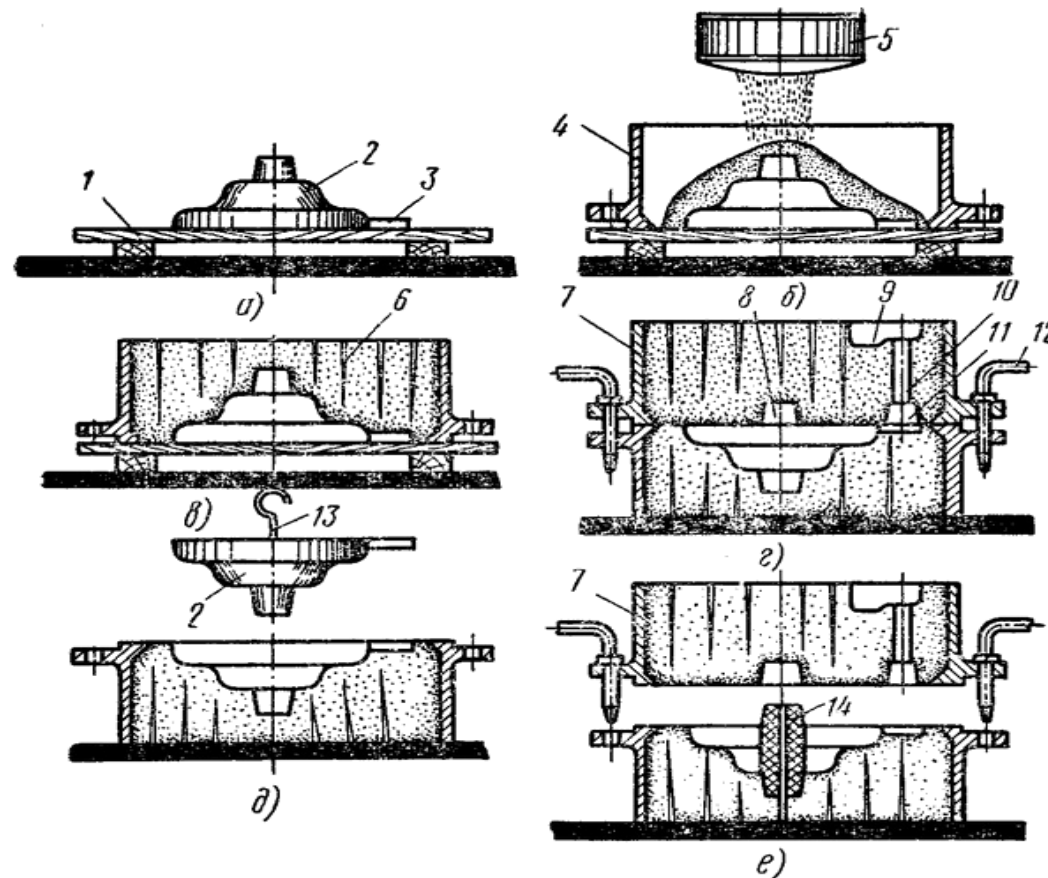
Опока – металлические рамки (ящики без дна), которые служат для удержания формовочной смеси и образования песчано-глинистой формы



Последовательность операций при ручной формовке



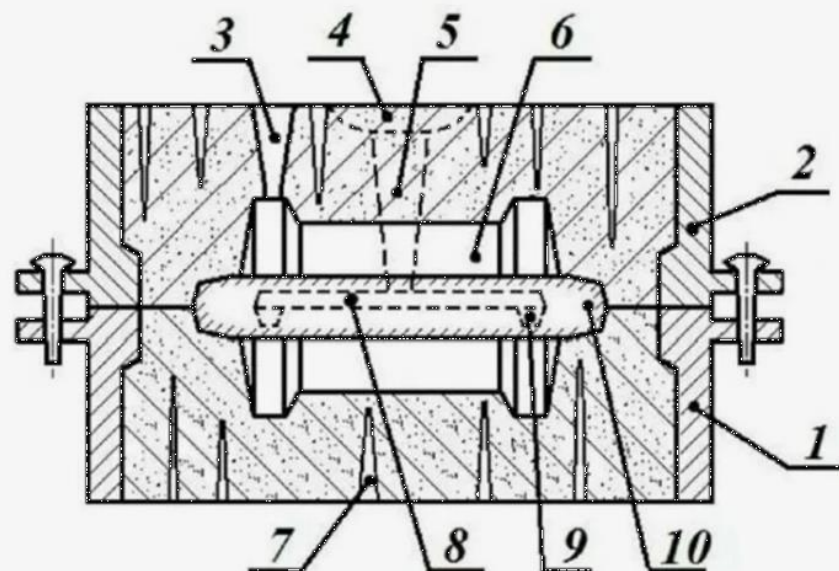
АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ



- 1 – подмодельная плита
- 2 – модель отливки
- 3 – модель питателя
- 4 – нижняя опока
- 5 – сито
- 6 – газоотводные каналы
- 7 – верхняя опока
- 8 – знак модели
- 9 – модель литниковой чаши
- 10 – модель стояка
- 11 – модель шлакоуловителя
- 12 – направляющий штырь
- 13 – подъем
- 14 – стержень

*а – подготовка к набивке формы,
б – набивка нижней полуформы, в – набивка верхней полуформы, д –
извлечение модели из нижней полуформы, е – сборка формы;*

Формовка



- 1,2 - нижняя и верхняя опоки; 3 - выпор;
4 - литниковая чаша; 5 - стояк;
6 - полость формы; 7 - наколы;
8 - шлакоуловитель; 9 - питатель;
10 - стержень

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.

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.

Заливка металла может осуществляться либо в **сырую форму, либо просушенную**.

Заливка в сырую форму более экономически выгодна (не требуется длительная просушка). Но не всегда возможна, тем более для крупногабаритных деталей: прочность сырых форм для крупногабаритных деталей оказывается недостаточной.

Высушенные формы покрывают внутри формовочными красками, порошками, жидким стеклом

Стержни находятся в более тяжелых условиях, чем стенки формы. При заливке они почти полностью находятся в жидком металле, а из затвердевших отливок они должны легко удаляться, поэтому необходимо чтоб стержни обладали повышенной прочностью, огнеупорностью, податливостью и газопроницаемостью.

Заливка форм расплавленным металлом осуществляется из ковшей. После выпуска из печи сталь выдерживается в ковше в течение 10-15 минут. Во время выдержки металла в ковше происходят всплывание неметаллических включений, выделение значительного количества растворенных газов, выравнивание температуры по объему ковша.

Литейный сплав расплавляют в плавильных печах. Ориентировочно принимается следующая температура заливки расплава: сталь (1500 ÷ 1600) °С; серый литейный чугун (1260 ÷ 1400) °С; бронзы (1100 ÷ 1150) °С. Целесообразно назначать температуру на (100 ÷ 150) °С выше температуры плавления: низкая температура увеличивает опасность незаполнения формы, захвата воздуха, ухудшения питания отливок; при высокой температуре металл больше насыщен газами, сильнее окисляется, возможен пригар на поверхности отливки. Заливку ведут непрерывно до полного заполнения литниковой чаши.

Температуру заливки конкретного литейного сплава определяют по его перегреву относительно температуры ликвидуса. Температура заливки зависит от толщины стенок изделия: чем меньше толщина стенки, тем выше температура.

Чем выше температура заливки металла, тем лучше концентрируется усадочная раковина и пористость в прибыли, уменьшаются газовые и неметаллические включения, что обеспечивает более высокие механические свойства отливок. При пониженных температурах снижается объем усадочной раковины и уменьшается пригар. Это может быть использовано при создании таких условий заливки, когда металл в прибыли будет иметь более высокую температуру, чем сама отливка. Практически это достигается доливкой прибылей горячим металлом, засыпкой открытой поверхности прибыли малотеплопроводным материалом, применением экзотермических прибылей и т.д.

Охлаждение в форме и выбивка



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

Остывание – взаимодействие литейной формы с затвердевшей охлаждающейся отливкой. Продолжительность этапа от часов до нескольких суток.

Отливка и литейная форма охлаждаются как единое целое. После затвердевания отливку выдерживают в форме для охлаждения до температуры выбивки. Чем выше температура выбивки, тем короче технологический цикл изготовления отливки и больше производительность формовочно-заливочного участка. Однако высокая температура выбивки нежелательна из-за опасности разрушения отливки, образования дефектов или ухудшения ее качества. Вблизи температуры кристаллизации сплавы имеют низкие прочностные и пластические свойства, поэтому опасность разрушения отливок особенно велика. Кроме того, на воздухе отливки остывают быстрее, чем в форме. При этом неравномерность охлаждения массивных и тонких сечений усиливается, и уровень внутренних напряжений в отливке возрастает. Ранняя выбивка может привести к образованию трещин, короблению и сохранению в отливке высоких остаточных напряжений. Длительная выдержка в форме с целью охлаждения до низкой температуры нецелесообразна с экономической точки зрения, так как удлиняет технологический цикл изготовления отливки. Поэтому выбивку стремятся производить при максимально высокой допустимой температуре. Она зависит от природы сплава, а также от конструкции (сложности) отливки, может быть рассчитана или определена экспериментально. В зависимости от природы сплава и конструкции отливки время выдержки в песчаной форме составляет от нескольких минут до суток и даже недель.

Для сокращения продолжительности охлаждения отливок иногда используют методы принудительного охлаждения.

Стальные отливки рекомендуют охлаждать в форме до $(500 \div 700)^\circ\text{C}$, чугунные до $(400 \div 500)^\circ\text{C}$. Сложные отливки, склонные к образованию трещин, охлаждают в форме до $(200 \div 300)^\circ\text{C}$, а отливки, не склонные к образованию трещин, до $(800 \div 900)^\circ\text{C}$. Температура выбивки отливок из бронз составляет $(300 \div 500)^\circ\text{C}$, из алюминиевых и магниевых сплавов соответственно $(200 \div 300)^\circ\text{C}$ и $(100 \div 150)^\circ\text{C}$.

Специальные способы литья



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

Специальные способы литья позволяют получать отливки повышенной точности, с малой шероховатостью поверхности, минимальными припусками на механическую обработку, а иногда полностью исключают ее, что обеспечивает высокую производительность труда. Каждый специальный способ литья имеет свои особенности, определяющие области применения.

Поиски лучших методов литья привели к решению: делать модели не из дерева или металла, а из особого легкоплавкого воскообразного вещества.

Литье по выплавляемым моделям – процесс получения отливок из расплавленного металла в формах, рабочая полость которых образуется благодаря удалению (вытеканию) легкоплавкого материала модели при ее предварительном нагревании. Такую модель покрывают огнеупорной керамической оболочкой и заформовывают в опоку. Горячий металл расплавляет воск (парафин, стеарин) и занимает его место.

Смысл способа в том, что модель не надо извлекать из формы, она сама выплавляется. Поэтому такой способ и называют литьем по выплавляемым моделям. Это позволяет получать из чугуна, стали и бронзы очень точные отливки с толщиной стенки (0,5 ÷ 5) мм.

Недостатком является сложность и длительность процесса производства отливок, применение специальной дорогостоящей оснастки.

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.

Специальные способы литья



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

Литье в оболочковые формы - процесс получения отливок из расплавленного металла в формах, изготовленных по горячей модельной оснастке из специальных песчано-смоляных смесей.

Литье в оболочковые формы обеспечивает высокую геометрическую точность отливок, малую шероховатость поверхностей, снижает расход формовочных материалов (высокая прочность оболочек позволяет изготавливать формы тонкостенными) и объем механической обработки, является высокопроизводительным процессом.

В оболочковых формах изготавливают отливки массой ($0,2 \div 100$) кг с толщиной стенки ($3 \div 15$) мм из всех литейных сплавов.

На рисунке приведена схема получения оболочковой формы.

Нагретую до 150-200 °С одностороннюю металлическую плиту 2 с

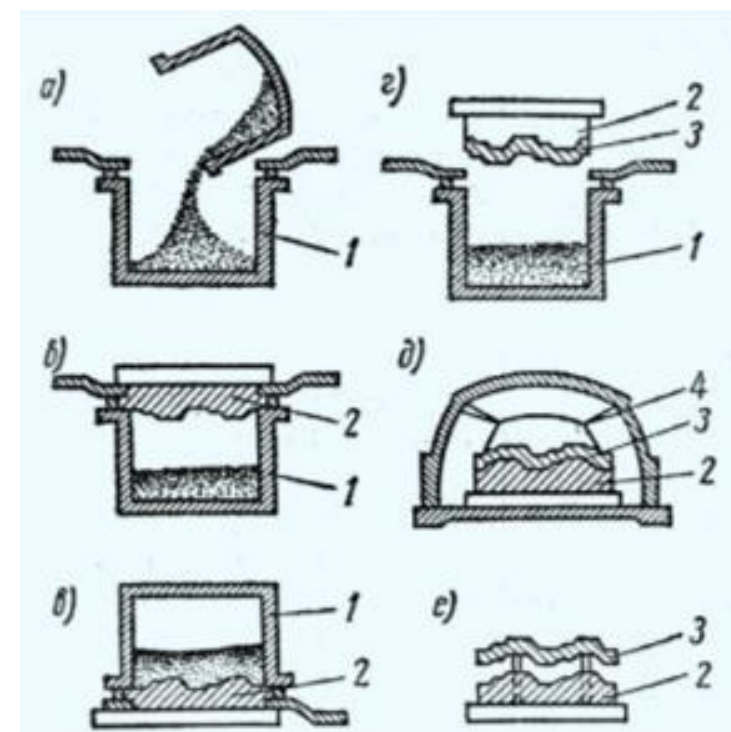
металлическими моделями закрепляют над бункером (б) и переворачивают вместе с ним (в).

Под действием нагретой плиты смола в слое, покрывающем плиту, плавится и спекает песок. При обратном повороте устройства на форме остается спеченная оболочка 3 (г), а избыток смеси остается в бункере.

Для завершения операции оболочку вместе с плитой помещают на 30 - 40 сек в печь 4 (д), нагретую до 250 - 300 °С.

Затвердевшую оболочку снимают с плиты толкателем (е) и соединяют с другой оболочкой (полуформой) зажимами.

Готовую оболочку заливают металлом, после затвердевания отливки легко освобождаются.



Специальные способы литья



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

Литье в металлические формы (кокили) получило большое распространение. Этим способом получают более 40 % всех отливок из алюминиевых и магниевых сплавов, отливки из чугуна и стали.

Кокиль - французское слово, в переводе на русский язык означает "раковина". Это толстостенная металлическая форма. Ее применяют, когда необходимо изготовить много одинаковых отливок.

Формирование отливки происходит при **интенсивном отводе теплоты от расплавленного металла, от затвердевающей и охлаждающейся отливки к массивному металлическому кокилю**, что обеспечивает более высокую плотность металла и механические свойства, чем у отливок, полученных в песчаных формах.

Перед заливкой металла в одну из половин кокиля вставляют стержни. Затем две половины кокиля соединяют и плотно скрепляют. В собранный кокиль заливают жидкий металл. Здесь он очень быстро затвердевает. Через несколько минут после заливки деталь можно уже вынуть. Затем внутреннюю поверхность кокиля продувают сжатым воздухом, прокрашивают, и процесс начинается снова. Таким образом, в один и тот же кокиль можно многократно заливать металл и получить сотни и даже тысячи одинаковых отливок.

Этот способ имеет много преимуществ перед литьем в земляные формы. Не требуются формовочные смеси, отпадает необходимость в землесмесительных и формовочных машинах, кранах и т. д. Улучшаются условия труда, повышается производительность, а отливки не нуждаются в дальнейшей обработке на станках. Но зато на производство самих кокилей приходится затрачивать много дорогостоящего металла, труда и времени.

Применяют в массовом и серийном производствах для изготовления отливок из чугуна, стали и сплавов цветных металлов с толщиной стенки $(3 \div 100)$ мм, массой от нескольких граммов до нескольких сотен килограммов

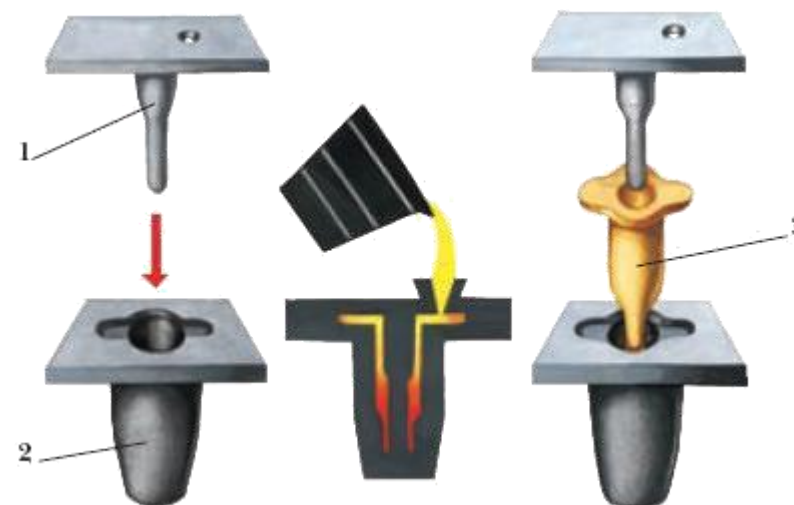


Схема литья в кокиль: стержень (1) вставляется в кокиль (2); через отверстие в промежутке между кокилем и стержнем заливается металл и деталь готова (3)

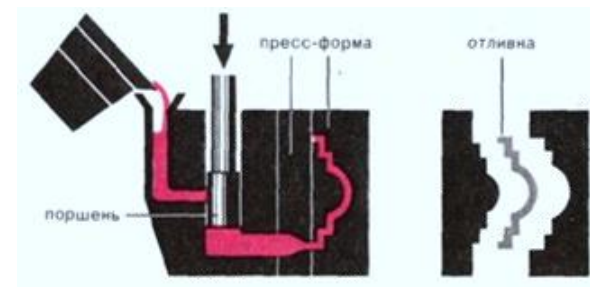
Специальные способы литья



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

Литье под давлением

Литейные сплавы отличаются разной степенью жидкотекучести. Если подвергнуть слой жидкого металла большому давлению (до нескольких десятков МПа), то металл можно заставить течь быстрее. Обыкновенные кокили не выдерживают высокого давления и разрушаются. Поэтому формы для литья под давлением изготавливают из специальной стали, их называют пресс-формами, а литье под давлением иногда называют еще пресс-литьем



При этом методе литья жидкий металл входит в форму не под действием силы тяжести, а вводится в нее под давлением до 100 МПа сжатого воздуха или поршня и заполняет все пустоты формы.

Перед заливкой пресс-форму нагревают до $(120 \div 320)^\circ\text{C}$. После удаления отливки рабочую поверхность пресс-формы обдувают воздухом и смазывают противпригарными материалами для предупреждения приваривания отливки. Воздух и газы удаляются через каналы, расположенные в плоскости разъема пресс-формы или вакуумированием рабочей полости перед заливкой металла.

Литьем под давлением отливают детали размерами до 300мм (с заливкой в форму до 2 л металла) с резьбой, отверстиями и выступами. Таким способом можно получать отливки с очень тонкими стенками (минимальной толщиной стенок 0,8 мм) и высокой точностью размеров, малой шероховатостью поверхности.

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

Недостатки: высокая стоимость пресс-формы и оборудования, ограниченность габаритных размеров и массы отливок, наличие воздушной пористости в массивных частях отливки.

Центробежный способ литья



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

При этом способе металл заливают в металлическую форму, вращающуюся **горизонтально или вертикально**. Способ основан на использовании центробежной силы, прижимающей металл к стенкам формы, и позволяет получать отливки высокого качества с обеспечением высокой плотности металла. При этом скорость вращения формы должна обеспечивать одинаковую толщину стенок по всему сечению.

Формы могут быть металлические, оболочковые, выплавляемыми. Заливку выполняют на центробежных машинах с горизонтальной и вертикальной осью вращения.

Центробежным литьем изготавливают отливки из чугуна, стали, сплавов титана, алюминия, магния и цинка изделия, имеющие форму тел вращения (трубы, втулки, кольца, подшипники качения, бандажные железнодорожных и трамвайных вагонов).

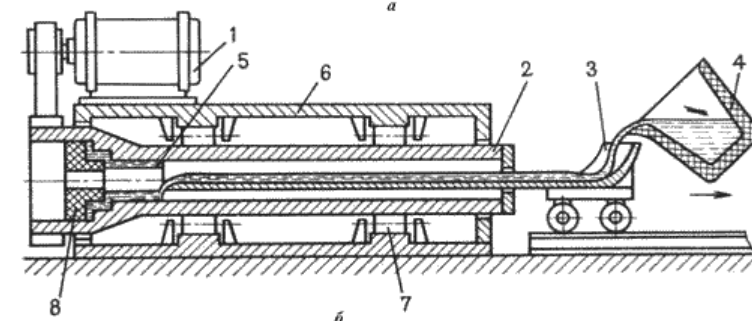
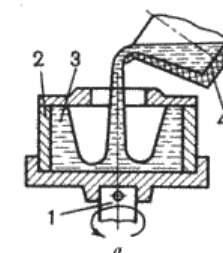
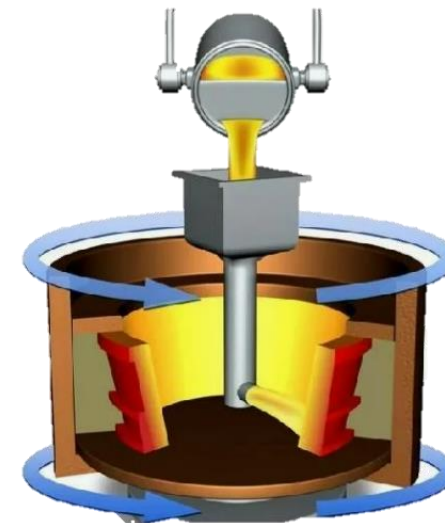
При получении отливок на машинах с вращением формы вокруг вертикальной оси металл из ковша заливают во вращающуюся форму, укрепленную на шпинделе, который вращается от электродвигателя.

Под действием центробежных сил металл прижимается к боковой стенке изложницы. Литейная форма вращается до полного затвердевания отливки. После остановки формы отливка извлекается.

Отливки имеют разностенность по высоте – более толстое сечение в нижней части. Применяют для получения отливок небольшой высоты – коротких втулок, колец, фланцев.

При получении отливок типа тел вращения большой длины (трубы, втулки) на машинах с горизонтальной осью вращения (рисунок б) изложницу 2 устанавливают на опорные ролики 7 и закрывают кожухом 6. Изложница приводится в движение электродвигателем 1.

Расплавленный металл из ковша 4 заливают через желоб 3, который в процессе заливки металла перемещается, что обеспечивает получение равностенной отливки 5. Для образования раструба трубы используют песчаный или оболочковый стержень 8. После затвердевания металла готовую отливку извлекают специальным приспособлением.



Центробежный способ литья



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

Скорость вращения формы зависит от диаметра отливки и плотности сплава.

Масса отливок от нескольких килограммов до 45 тонн. Толщина стенок от нескольких миллиметров до 350 мм. Центробежным литьем можно получить тонкостенные отливки из сплавов с низкой текучестью, что невозможно сделать при других способах литья.

Недостатки:

- наличие усадочной пористости, ликватов и неметаллических включений на внутренних поверхностях
- возможность появления дефектов в виде продольных и поперечных трещин, газовых пузырей

Преимущества:

- получение внутренних полостей трубных заготовок без применения стержней
- экономия сплава за счет отсутствия литниковой системы
- возможность получения двухслойных заготовок, что получается поочередной заливкой в форму различных сплавов (сталь – чугун, чугун – бронза)

Литье по газифицируемым моделям



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

Метод запатентован в 1958 г. в США.

Литье по газифицируемым моделям (ЛГМ) – технологический процесс получения отливок, использующий пенополистирольную модель, которую газифицируют при заливке. Точность отливки получается как при литье по выплавляемым моделям, а затраты сопоставимы с литьем в песчано-глинистые смеси.

Преимущества пенополистирола

Механическая обработка пенополистирола может производиться на деревообрабатывающем оборудовании. Пенополистирол хорошо обрабатывается проволокой, нагреваемой электрическим током. Соединение отдельных элементов литейных моделей осуществляется склеиванием, сваркой и спеканием токами высокой частоты. Допустимо применение различных клеев, которые не разрушают полистирол, не влияют на газификацию модели и на химический состав металла, а также легко выгорают.

Технология процесса проста:

- изготавливается модель из пенопласта с малой плотностью и окрашивается
- окрашенная модель с литниковой системой помещается в опоку, которую заполняют песком или другим опорным материалом
- на газифицируемую модель заливают жидкий металл
- модель газифицируется от тепла металла и ее место занимает металл
- охлаждение
- выбивка, очистка и пр. финишные операции

Суть процесса: расплавленный металл заливают в специальный вакуумируемый литейный контейнер, в котором находится модель из пенополистирола, заформованная в сухом песке без связующих материалов. Во время заливки металл замещает полость, занятую моделью, в результате чего образуется отливка, точно повторяющая геометрию модели

Литье по газифицируемым моделям



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

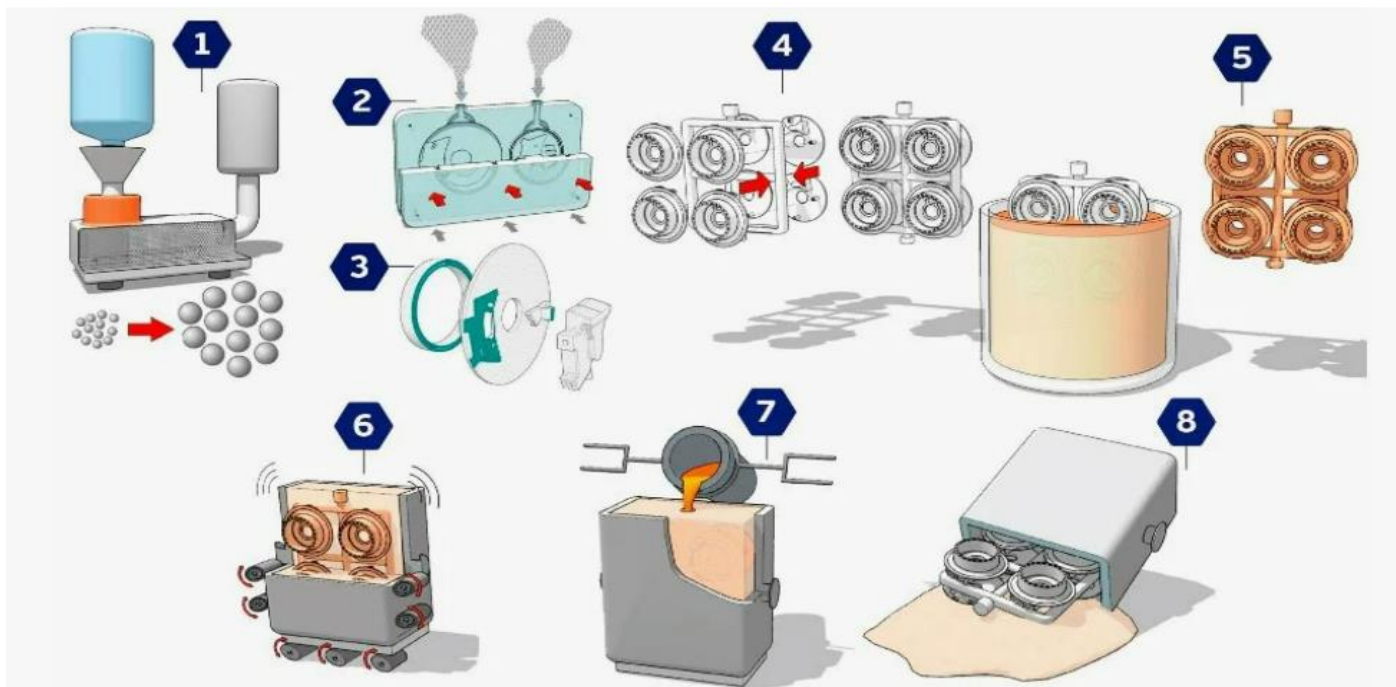


Схема литья по газифицируемым моделям: 1 - подвспенивание гранул полистирола; 2 - получение из гранул деталей модели; 3 - склейка деталей модели; 4 - сборка модельных кластеров (кустов); 5 - окрашивание кластеров окунанием; 6 - формовка в контейнере с сухим песком и его вибрацией; 7 - заливка формы металлом; 8 - остывание отливки и высыпание песка с отливкой

Литье по газифицируемым моделям



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

Подготовка полистирола (предварительное вспенивание) — обеспечивает получение модели заданной плотности

Изготовление модели — в зависимости от величины, геометрии и серийности это может быть автоклавный способ, метод теплового удара или вырезка модели из блочного пенополистирола с помощью режущего инструмента (даже станков ЧПУ)

Сборка моделей (если модель состоит из нескольких частей) и модельных блоков — моделей, собранных с литниковой системой.

Приготовление, нанесение и сушка противопригарного покрытия на поверхность модели

Формовка модельных блоков путём засыпки их кварцевым песком с последующим виброуплотнением

Подключение контейнеров к вакуумирующей системе и заливка жидкого металла (при этом продукты деструкции удаляются из формы, проходят через установку обезвреживания (степень очистки — 98%) и в атмосферу удаляются пары воды и CO₂).

Выбивка контейнеров (после отключения от вакуумирующей системы, песок высыпается из контейнера и подаётся на установку регенерации, где очищается от продуктов деструкции пенополистирола, а отливки подаются на финишные операции).

Технологический процесс изготовления отливок по газифицируемым моделям находится в развитии.

Единственное ограничение для повсеместного распространения технологии **ЛГМ** — это невозможность использования её для крупносерийного и массового производства. ЛГМ применяется чаще для мелкосерийного и единичного производства.

Литье по газифицируемым моделям



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

Когда стоит выбрать ЛГМ:

- экологичность процесса: технология не предполагает применение ядовитых или опасных веществ. Самое вредное в ней – это процесс выжигания раскалённым металлом пенополистирола. Но с одной стороны, сгорая, пенополистирол превращается в углекислый газ, а с другой, при правильной организации производственного процесса, все продукты горения удаляются при вакуумировании. Количество токсичных продуктов горения, которые могут выделиться, в разы меньше, чем при классическом способе получения отливок. Кварцевый песок также легко регенерируется, так как не нужно удалять остатки связующих, а достаточно просто обеспылить
- универсальность материала отливок: этим способом можно получать отливки из практически всех марок чугуна, стали, а также цветных металлов и сплавов
- безотходность производства: только 3 % песка уходит из оборота, остальное используется повторно.
- Высокая точность и сложность отливок: получение сразу отливок высокой точности позволяет сэкономить на металлообработке, а порой даже отказаться от неё, особенно в случаях, когда такая обработка не показана (отливки турбинных лопаток).
- малогабаритное оборудование: оборудование для ЛГМ-технологии относительно небольшое и нетяжёлое. Отсутствуют целые переделы обычной технологии – смесеприготовительное отделение, земельная лаборатория.
- экономический расчёт: технология ЛГМ значительно снижает трудозатраты и финансовые издержки



Сложность технологического процесса производства литья, состоящего из многих, практически самостоятельных и не зависящих одна от другой операций – переделов (подготовка шихты и выплавка жидкого металла, смесеприготовление, изготовление форм и стержней, заливка, обрубка, очистка, термическая обработка, грунтовка и окраска), на каждой из которых возможны нарушения технологии и работают люди различной квалификации, не дает гарантии получения 100 % годности отливок. Брак отливок неизбежен. Он имеет место и при освоении нового технологического процесса, оборудования, новой марки сплава, а также в условиях установившегося технологического процесса при изменении качества исходных шихтовых и формовочных материалов, небрежности в работе. Дефекты подробно описаны в ГОСТ 19200-80.

Дефекты литых деталей можно разделить на несколько основных групп:

- несоответствие геометрических размеров
- внутренние дефекты (несплошности в теле отливки)
- дефекты поверхности

Несплошности в теле отливки

Группа «несплошности в теле отливки» относится к самому сложному разделу литейной технологии. В ее состав входят: разновидности трещин в отливках; газовые раковины; усадочные раковины.

Горячие трещины

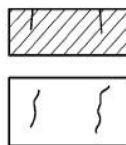
Основной причиной образования наружных горячих трещин являются силы сопротивления усадке отливок, создаваемые формой или возникающие вследствие разницы в скоростях охлаждения отдельных частей отливки.

При охлаждении залитого в форму металла у стенок образуется тонкая корочка твердой фазы, из которой внутрь жидкого металла начинают прорасти дендриты. Вокруг них располагаются пленки остаточного жидкого металла, глубоко заходящие в связи между кристаллами и образующие острые надрезы.

При возникновении в корочке напряжений вследствие торможения усадки формой или смежными элементами отливки наружная корочка, имеющая гораздо более низкую температуру, чем слой дендритов, пластически растягивается, а скелет дендритов, имеющий надрезы в виде глубоко проникающей в него жидкой фазы и лишенный из-за высокой температуры пластических свойств, дает трещину. По мере нарастания твердой корки в зависимости от величины затрудненной усадки трещина выходит на поверхность отливки или на отдельных участках остается под коркой металла.

Горячие наружные трещины – это поверхностные или сквозные разрывы тела отливки, имеющие неравномерную ширину и извилистый характер.

Основными факторами, влияющими на образование горячих наружных трещин на отливках, являются: свойства литейной формы (податливость, теплоаккумулирующая способность смеси); условия заливки металла в форму (температура, длительность, место подвода металла); конструкция отливки; химический состав стали.



а



б

Дефекты литых деталей



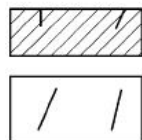
АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

Холодные трещины

Холодные трещины – это нарушение сплошности металла – разрывы тела отливки, имеющие длину большую, чем ширина. Поверхность излома – мелкозернистая, блестящая или покрытая цветами побежалости.

Причинами их появления являются часто является усадка металла, механические повреждения при выбивке формы, а также при очистке и обрубке литой заготовки. Т.е нарушения сплошности тела отливки, возникающие вследствие развития литейных напряжений (термических, фазовых и усадочных).

Холодные трещины чаще всего возникают в чугунных и стальных отливках замкнутой формы, с большим различием толщин стенок при недостаточной толщине ребер жесткости. Причинами образования этого дефекта могут явиться плохая податливость стержней, наличие массивных литых каркасов, заливки и другие факторы.



а



б

Дефекты литых деталей



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

Газовые раковины

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

По причине возникновения газовые раковины можно разделить на **металлургические** и **технологические**.

Металлургические образуют газы, расположенные в жидком металле.

Технологическую группу дефектов составляют источники газов, связанные с технологией литейной формы.

Технологических возникают по причине:

- неудовлетворительный вывод газов из стержней и форм; низкокачественные исходные материалы для изготовления смесей и красок
- некачественная сушка формы и стержней
- неправильно выполненная литниковая система
- некорректный режим заливки формы

По форме газовые раковины бывают следующих типов: шаровидные и округлые, вытянутые. Поверхность газовых раковин может быть окисленной (черной, темнокоричневой или бурой), и не окисленной (светлой). В обоих случаях встречаются раковины с гладкой или шероховатой поверхностью.



Дефекты литых деталей



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

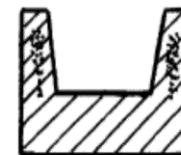
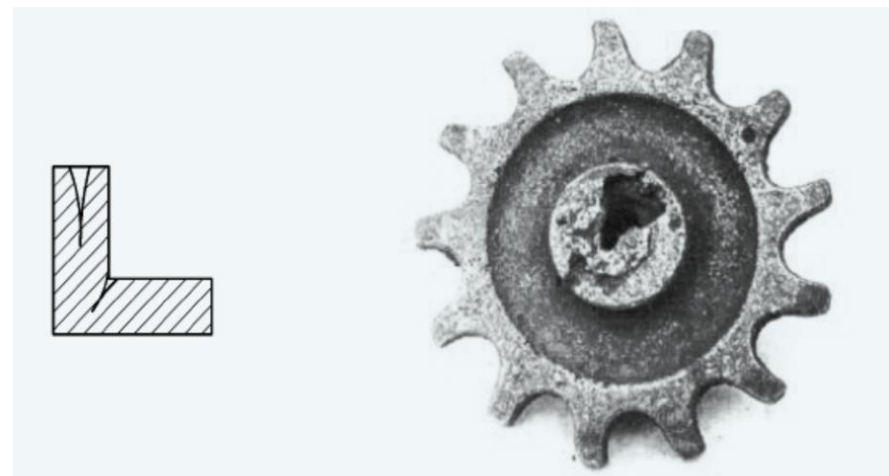
Усадочные раковины

Представляют собой внутренние полости неправильной формы с шероховатой поверхностью, сосредоточенные преимущественно в верхних, затвердевающих в последнюю очередь частях отливок. Образуются в утолщенных местах отливки из-за недостаточного «питания» металлом, а также при слишком высокой температуре заливаемого металла.

В большинстве случаев они имеют форму сужающейся книзу воронки с окисленной поверхностью, которая продолжается в виде отдельных замкнутых полостей.

Усадочные раковины могут быть открытыми и замкнутыми. К ним относятся газоусадочные раковины типа утяжин, располагающиеся обычно вблизи внутреннего узла или углубления и не обязательно в верхней по заливке части отливки.

Разновидностью усадочных раковин является усадочная пористость, в частности, осевая усадочная рыхлота. Основным способом борьбы с усадочными раковинами является осуществление принципа направленного затвердевания отливки, а также улучшение литейной технологичности отливок.



Дефекты литых деталей



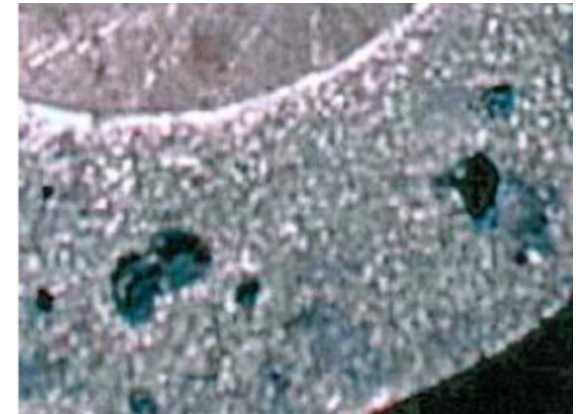
АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

Шлаковая раковина

Дефект в виде полости, полностью или частичная заполненной шлаком. Возникает из-за попадания шлака в форму во время заливки; неправильного расчета и конструкции литниковой системы и низкой вязкости шлака.

Для устранения шлаковой раковины необходимо:

- тщательно очищать ковш от остатков предыдущей плавки
- при заливке применять чайниковые или стопорные ковши или сгущать шлак
- проверять расчет литниковой системы
- применять литниковые системы с шлакоуловителем, питатели расширяющегося типа для отливок из стали
- литниковые чаши, обеспечивающие задержку шлака фильтровальные сетки в литниковой системе
- повышать вязкость шлака путем присыпки в ковш сухого кварцевого песка



Вопросы контроля качества литых заготовок и деталей



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

В атомной энергетике объем контроля регламентирован требованиями ПНАЭ Г-7-025-90 «Стальные отливки для атомных энергетических установок. Правила контроля», в газовой и нефтехимической промышленности – отраслевыми стандартами (ОТТ, СТО).

Отдельное внимание хотелось бы обратить на следующие нюансы:

- места срезки литейной прибыли являются концентраторами напряжения и подлежат обязательному контролю неразрушающими методами (имеют место случаи, когда именно в месте срезки образуются трещины, которые развиваются в процессе эксплуатации)
- метод неразрушающего контроля не позволяет выявить поры и неметаллические включения размером до 0,5 мм (и их скопления), которые оказывают существенное влияние на свойства отливки
- неметаллические включения: наиболее значительным для обеспечения надежности деталей арматуры является влияние неметаллических включений. При хрупком разрушении неметаллические включения опасны как первичный очаг. Хрупкое разрушение могут вызвать как крупные включения, так и скопление мелких. Неметаллические включения увеличивают анизотропию свойств, особенно показатели пластичности - относительное сужение и удлинение, и играют большую роль в усталостной прочности стали. Вблизи включений напряжения растут, что приводит к возникновению микротрещин. Микронапряжения в окрестностях включений, вызванные различием физических свойств металла и включений, достигают 250 МПа. Неметаллические включения, выходящие на поверхность изделия или залегающие вблизи нее, могут стать очагом усталостной трещины и создавать внутренние напряжения в металле

Конструктивные особенности при проектировании литых деталей



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

При конструировании отливок следует стремиться к созданию технологичных конструкций.

- Для предотвращения образования трещин при охлаждении отливки надо обеспечить её свободную усадку в форме. В связи с этим следует максимально снизить количество выступающих деталей
- Конструкция отливки должна предотвращать возникновение внутренних напряжений и трещин, для чего необходимо обеспечивать выравнивание скорости охлаждения отливки во всех сечениях. Для этого делают плавные переходы между различными сечениями, а также ребра жесткости в опасных сечениях. Предусматривают утолщение краев отливок и окон отбортовками
- Конструкция отливки должна способствовать одновременному или последовательно направленному затвердеванию металла. В первом случае необходима наибольшая равномерность сечений, во втором – постепенное увеличение массивности стенок в желательном направлении затвердевания с тем, чтобы было обеспечено постепенное уменьшение скорости затвердевания по мере приближения к прибыли
- Для увеличения жёсткости литой детали и предотвращения её коробления, некоторые элементы детали выполняют с рёбрами жёсткости, а стенки с большой поверхностью - утолщают буртиками
- При конструировании необходимо выбирать наиболее простую конфигурацию отливки. Если конструкция детали позволяет, то желательно модель будущей отливки делать неразъёмной. Тогда при изготовлении формы она будет располагаться в нижней полуформе, где качество и точность литья всегда выше. Если модель приходится делать разъёмной, то количество разъёмов должно быть минимальным, а сами они должны быть простыми, так как в противном случае теряется точность размеров изделия и затрудняется применение формовочных машин
- При конструировании внутренних полостей отливок, которые изготавливаются с помощью стержней, необходимо предусматривать минимальное их число. Это связано с тем, что на изготовление стержней уходит до 80% времени от времени изготовления отливки и стержневые смеси очень дороги
- При конструировании будущей отливки следует избегать отверстий небольшого диаметра и других мелких деталей - фасок, канавок и т. д., которые рациональнее выполнить при последующей механической обработке

Конструктивные особенности при проектировании литых деталей



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

Места скопления металла. У литых деталей, несмотря на стремление конструктора обеспечить равномерную толщину стенок, всегда имеются места скопления металла – металлотермические узлы.

Эти узлы образуются в местах пересечений и сопряжении стенок; местах расположения выступов, приливов и бобышек, а также за счет утолщения при назначении припусков на механическую обработку.

Такие горячие узлы **медленнее затвердевают**, и в них вследствие недостаточного питания жидким металлом в процессе затвердевания **образуются усадочные раковины и рыхлоты**. Особенно нежелательно наличие термических узлов у отливок из сплавов с повышенной усадкой. В связи с тем, что обеспечить равномерное затвердевание отливки бывает затруднительно, на практике применяют так называемый принцип направленного затвердевания. При этом литую деталь необходимо так конструктивно оформить, расположить в форме и подвести к ней жидкий металл, чтобы затвердевание началось в тонких местах, постепенно распространяясь на более толстые, и заканчиваясь в прибылях, установленных на самых массивных местах.

Спасибо за внимание

Семенова Елена

Semanova_es@aep.ru