13.1. Технологические основы литейного производства

Литейная форма представляет собой конструкцию, состоящую из элементов, образующих рабочую полость, заполнение которой расплавом обеспечивает получение отливки заданных размеров и конфигурации. Литейные формы подразделяют по количеству заливок на разовые и многократные, по материалу — на песчаные, песчано-цементные, гипсовые, металлические, из высокоогнеупорных материалов и др.

Металлические формы из чугуна и стали являются многократными (постоянными), поскольку выдерживают сотни и тысячи заливок.

Песчаные, оболочковые формы со смоляным связующим и формы, изготовленные по выплавляемым моделям, являются разовыми. Разовые литейные формы получают с помощью специальных приспособлений — моделей. Процесс изготовления литейных форм из формовочных смесей называют формовкой.

Литейная форма должна обладать прочностью (выдерживать силовые нагрузки), газопроницаемостью (пропускать газы, образующиеся в литейные) форме), податливостью (уменьшаться в объеме при усадке отливки), огнеупорностью» (не оплавляться под действием теша жидкого металла) и др.

Комплект приспособлений, используемых для изготовления отливок, называют литейной оснасткой. Часть оснастки, включающая все приспособления, необходимые для образования рабочей полости литейной формы при ее формовке, называется модельным комплектом. В комплект вход модели отливки и элементов литниковой системы, модельные и сушильные плиты, стержневые ящики, формующие, контрольные и сборочные шаблоны для конкретной отливки. Существует также понятие «формовочный комплект», под которым подразумевается полный комплект оснастки, используемый для получения разовой формы. В него дополнительно входят с приспособлениями модельного комплекта) необходимые при формовке опоки, наполнительные рамки, штыри, скобы и др.

Модель (рис. 13.1) — это часть модельного комплекта, предназначенная для образования отпечатка в литейной форме, соответствующего наружной конфигурации и размерам отливки. При этом размеры модели увеличивают по сравнению с соответствующими размерами отливки с учетом линейной усадки сплава (0,8—2%) и припусков на механическую обработку. Модели изготавливают из древесины, металлических и специальных модельных сплавов, а также из пластмасс. Различают модели разовые и многократные. Деревянные модели отличаются простотой изготовления, относительно малой массой и невысокой стоимостью. Однако они недолговечны.

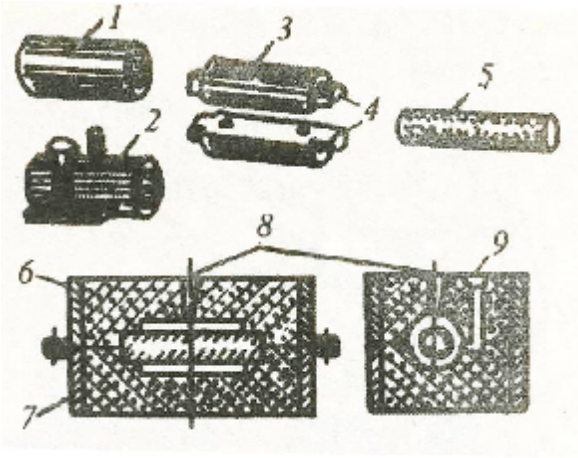

Рис. 13.1. Деталь, отливка, элементы формовочного комплекта и песчаная форма:
1 — готовая деталь; 2 — отливка; 3 — разъемная модель; 4 — стержневые знаки; 5 — стержень; 6,7 — верхняя и нижняя опоки; 8 —выпор; 9— литиковая система

По сравнению с деталью модель имеет выступающие части (так называемые стержневые знаки), посредством которых стержень, оформляющий, внутреннюю полость, крепится в форме (рис. 13.1). Стержень, являясь элементом литейной формы, служит для образования отверстия, полости или иного сложного контура в отливке.

Модельная плита (рис. 13.2, а) обеспечивает формирование поверхности разъема литейной формы и несет на себе различные части модели, включая литниковую систему. При машинной формовке часто используют металлические модельные плиты в сочетании с быстросменной модельной оснасткой, которые вместе образуют модельные комплекты.

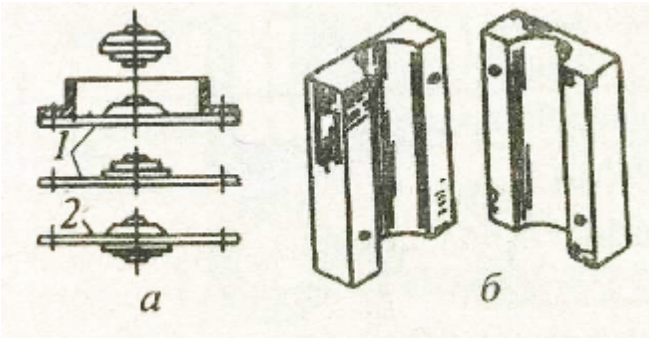

Рис. 13.2. Элементы модельного комплекта: *а* — разновидности модельных плит *1* — односторонняя; *2* — двусторонняя; *б* — разъемный стержневой ящик

Модельные плитыподразделяют на односторонние (часть модели с одной стороны) и двусторонние (части модели располагаются с двух сторон плиты, рис. 13.2, *а*). Односторонние плиты используются при раздельной формовке полуформ. Стержневые ящики (неразъемные — выпряхные —и разъемные) предназначены для изготовления стержней (рис. 13.2,*б*).

При их изготовлении, в основном, используют те же материалы, что и при производстве моделей. Для удержания формо- войной смеси при изготовлении литейной формы, а также при транспортировке последней и ее заливке жидким металлом используют опоки представляющие собой сварные, литейные или сборные жесткие металические рамы различной конфигурации» (см. рис. 13.1).

Литниковая система представляет собой систему каналов элементов литейной формы, обеспечивающих подвод расплавленного металла в полость формы и заполнение, а также питание отливки при затвердевании (р 13.3).

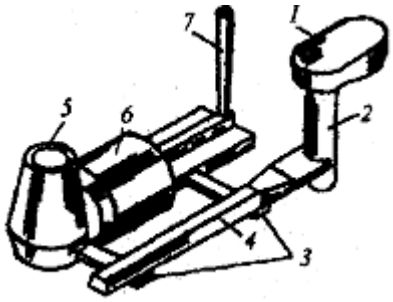

Рис. 13.3. Отливка с литниковой системой: 1— литниковая чаша; 2 — стояк; 3 — питатели; 4 — шлакоуловитель; 5 —прибыль; б — отливка; 7—выпор

По способу подвода металла и расположению в форме литников системы подразделяют; на горизонтальные, вертикальные, верхние, дождевые, сифонные (нижние), ярусные и «по разъему» (рис. 13.4, табл. 13.1).

Вертикально-щелевая (этажная) система является разновидностью ярусной и применяется, в частности, при стопочной формовке мелких отливок (рис. 13.4, *г*) Для отделения крупных шлаковых включений литниковую чашу иногда устанавливают фильтры (например, керамические сетки).

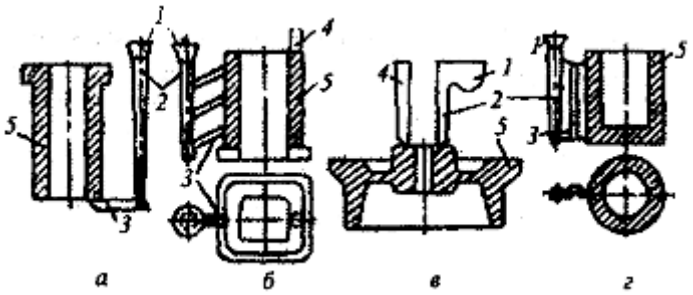

Рис.13.4. Виды литниковых систем: *а* – симфонная; *б* – ярусная; *в* – верхняя; *г* – вертикально-щелевая; 1– литниковая чаша; 2 – стояк; 3 – питатель; 4 – выпор; 5 – отливка.

К литниковой системе относят также выпоры и прибыли. Выпор предназначен для вывода газов и всплывающих шлаков из полости формы: он же сигнализирует о конце заливки появлением избытка металла. Прибыли компенсируют усадку отливки, поэтому их располагают над массивными частями отливки (рис. 13.5). При этом конфигурацию и размеры прибылей подбирают таким образом, чтобы процесс кристаллизации отливки завершался именно в них.

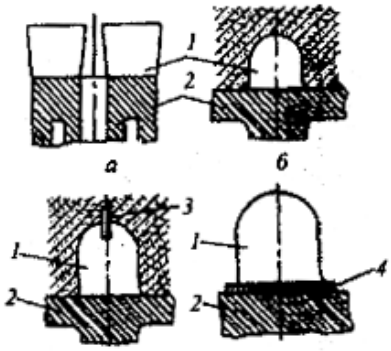

Рис. 13.5. Разновидности прибылей: *а* — коническая открытая; *б* — полушаровая закрытая; *в* — находящаяся под газовым давлением; *г* — легко отделимая; *1* — прибыль; *2* — отливка; *3* — заряд газотворного вещества; *4* — разделительные пластины.

Так, например, толщина прибыли всегда больше толщины отливки в том месте, над которым ставят прибыль (см. рис 13.3). Различают открытые (прямого питания), закрытые (шаровой и конической формы), работающие под газовым давлением (заряд газотворного вещества размещен в полости прибыли), а также легко отделяемые прибыли (рис. 13.5, *а—г*) и др. Простота отделения прибыли (рис. 13.5, *г*) обеспечивается применением диафрагм (разделительных пластин), выполненных из шамотно-глинистых смесей.

Таблица 13.1. **Основные разновидности литниковых систем**

Литниковая система	Характеристика литниковой системы
Горизонтальная	Расположение питателей в горизонтальной плоскости разъема формы
Вертикальная	Расположение питателей в вертикальной плоскости разъема формы на нескольких уровнях (или вертикально)
	Подача расплава в полость формы сверху
Дождевая	Вертикальная, верхняя, с подводом расплава сверху через ряд питателей (отверстий малого диаметра)
	Вертикальная, с подачей расплава на нескольких уровнях
Сифонная	Горизонтальная или вертикальная, с подачей металла снизу (через основание формы)
По разъему	Подвод расплава по плоскости разъема формы

13.2. Технологические особенности литья в песчаные формы

При литье в песчаные (песчано-глинистые) формы отливки получают посредством свободной заливки форм расплавленным металлом. Песчаные формы изготавливают ручной или машинной формовкой смесей.

Формовочные я стержневые смеси. Формовочные смеси классифици- руют: по назначению (для отливок из чугуна, стали и цветных сплавов), составу (песчано-глинистые, содержащие быстротвердеющие специальные), по применению при формовке (единые, облицовочные, наполнительные), по состоянию форм перед заливкой в них сплава (сырь сухие, подсушиваемые и химически твердеющие).

Песчано-глинистые смеси. Основным компонентом формо- вочных и стержневых смесей является кварцевый ($Si0_2$) или цирконовый ($ZrO_2 \cdot SiC_2$) песок. Вторым основным компонентом смеси (до 16%) является глина. Широко применяют бентонитовые (на основе $Al_2O_3 \cdot 4Si0_2 \cdot H_2O + nH_20$) и каолиновые (на основе $Al_2O_3 \cdot Si0_2 \cdot 2H_20$) глины, которые обладают высокой связующей способностью и обеспечивают тем самым прочность и податливость форм. В формовочные и стержневые смеси вводят также в небольших количествах дополнительные связующие (1,5—3%); их подразде- ляют на органические и неорганические, растворимые и нерастворимый воде (сульфитно-спиртовая барда, битум, канифоль, цемент, жидкое стекло, термореактивные смолы и др.).

Стержневые смеси. К стержневым смесям предъявляют более жесткие требования по огнеупорности, поверхностной твердости, податливости, низкой гигроскопичности, высокой газопроницаемости, лучшей выбиваемости чем к формовочным смесям. Среди стержневых смесей, не требующих тепловой ообработки, наиболее распространены песчано-жидкостекольные смеси, а также холоднотвердеющие смеси на синтетических смолах, в которых в качестве связующего используют карбамидные, фенолофурановые и другие смолы. Среди стержневых смесей, отверждаемых тепловой обработкой, можно выделить песчано-масляные (связующее — раствор растительных масел и канифоли в уайтспирте), песчано-глинистые и песчано-смоляные (связующее — синтетические смолы КФ-90, ОФ-1, пульвербакелит и др.).

Припылы и краски. Противопригарные материалы (припылы и краски) наносят тонким слоем на поверхность форм и стержней для: предотвращения пригара металла к формовочной смеси и повышения чистоты поверхности отливок. В качестве припылов применяют порошкообразную смесь оксида магния, древесного угля и бентонита; порошкообразный графит, пылевидный кварц, циркон. Противопригарные краски представляют собой суспензии, этих материалов с добавками связующих. В красках используются те же связующие добавки, что и в смесях.

Изготовление песчаных форм. Различают ручную и машинную формовку. Ручная формовка применяется в мелкосерийном производстве и может осуществляться, например, в двух опоках по разъемной модели (рис. 13.6). Технологический процесс формовки состоит из нескольких стадий:

I. Изготовление нижней полуформы: установка нижней половины модели *2* внутри нижней опоки *3* на подмодельной плите *1;* заполнение опоки (***с*** покрытием в первую очередь модели) последовательно облицовочной и наполнительной смесями с одновременным их уплотнением трамбовкой; формирование газоотводных вентиляционных каналов (наколов) *4* посредством накалывания иглой уплотненной смеси.

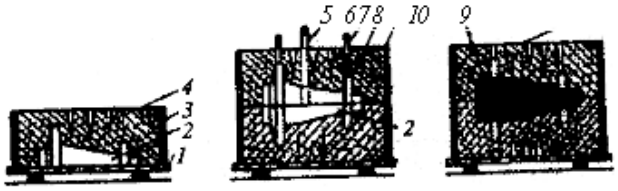

Рис.13.6. Ручная формовка по разъемной модели:
последовательное изготовление нижней (*а*) и верхней (*б*) полуформ; *в* – собранная форма (со стержнем); *1*- подмодельная плита; *2* – нижняя половина модели; *3* – нижняя опока; *4* – вентиляционные каналы (наколы); *5*- модель стояка; *6* – модель выпора; *7* – верхняя половина модели; *8* – верхняя опока; 9- литниковая чаша; *10* – стержень

II. Изготовление верхней полуформы: поворот нижней опоки с полуформой на 1800 и ее установка на подмодельной плите 1; фиксирование на нижней половине модели 2 верхней половины модели 7; установка моделей стояка 5, выпора 6 и других элементов литниковой системы; фиксирование верхней опоки 8 на нижней опоке 3; нанесение на поверхность нижней полуформы слоя разделительного песка; засыпка верхней опоки с моделями отливки и элементов литниковой системы сначала облицовочной, а затем наполнительной смесью, уплотнение ее и формирование в ней вентиляционных наколов; выравнивание наружной поверхности верхней полуформы; создание вокруг верхней части модели стояка 5 литниковой чаши 9 (эта операция не нужна при установке на поверхности формы — над стояком — отдельной литниковой чаши — нарощалки); удаление моделей стояка и выпора из верхней полуформы.

III. Подготовка полуформ к сборке: съем верхней полуформы с нижней; удаление из обеих полуформ двух половин модели отливки и моделей элементов литниковой системы; прорезание (если не были установлены модели шпателя, шлакоуловителя и др.) в нижней полуформе канала — питателя, соединяющего стояке внутренней полостью формы, т. е. с будущим телом отливки; нанесение на рабочие поверхности полуформ тонкого слоя припыла или краски.

IV. Сборка формы: размещение в нижней полуформе стержня *10* (см. рис. 13.6); установка (с фиксацией штырями) верхней полуформы на нижнюю полуформу; скрепление верхней и нижней опок.

Машинная формовка позволяет многократно повысить производительность труда, увеличить выход годных изделий и качество литейных форм.

Машинная формовка имеет следующие разновидности.

Уплотнение прессованием, осуществляемое в машинах с верхним (*1а, Па*) и нижним (*1б, 11б*) прессованием (рис. 13.7).

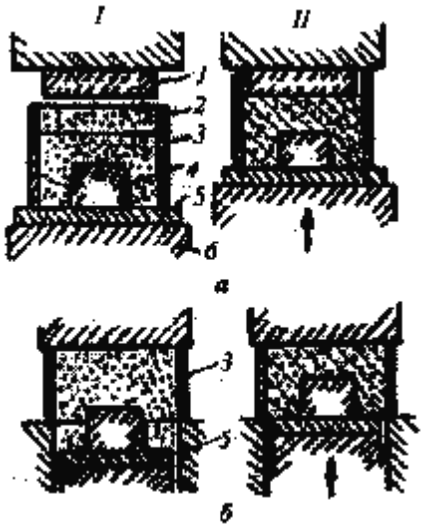

Рис 13.7. Принципиальные схемы верхнего *(а)* и нижнего *(б)* прессования:
I - исходное состояние; *II*—конечное состояние; *1*—прессовая колодка; *2*—наполнительная рамка; *3*- опока; *4*— модель; *5* — модельная плита; 6 — стол

В машинах с верхним прессованием прессовая колодка *1* при подъеме стола *6* запрессовывает смесь сверху в наполнительную рамку *2* и опоку 3. В случае нижнего прессования формовочную смесь уплотняет снизу сама модель *4* с модельной плитой 5.

Уплотнение смеси встряхиванием, осуществляемое за счет появления инерционных сил при циклическом подъеме и падении стола с закрепленными на нем моделью и опокой.

Вакуумная (пленочно-вакуумная) формовка осуществляется в опоках сухим песком без связующего с использованием постоянных моделей. Песок, удерживаемый а опоке с помощью синтетических полимерных пленок, уплотняется вибрацией и упрочняется внешним атмосферным давлением вследствие вакуумирования формы (рис. 13,8). Это осуществляют следующим образом. Молельная плита *2* сообщается с вакуумной полостью *1* сквозными отверстиями. Модель отливки *3* (изготовленную из дерева, металла или пластмасс) пронизывают по всему объему сквозные отверстия *6* диаметром 0,5—1 мм, перпендикулярные ее базисной плоскости и совпадающие с аналогичными отверстиями в модельной плите. Благодаря этому поверхность модели напрямую связана с вакуумной полостью *1* . В процессе формовки модельную плиту *2* вместе с моделью *3* накрывают натянутой на рамку 7 разогретой полимерной пленкой *5* толщиной до 0,1 мм. Затем полость *1* и связанную с ней отверстиями область, под пленкой *5* вакуумируют (вакуум — 40—50 кПа). Этим обеспечивается плотное прилегание пленки к поверхности модели и модельной плиты. Затем на бобышке *8* устанавливают модель стояка *11.* Последнюю предварительно обертывают пленкой, закрепляя ее края, а также стык модели стояка с бобышкой клейкой лентой. Аналогично герметизируют и модель выпора *4.* После этого производится установка на модельной плите опоки *9* (рис. 13.8, *б*).

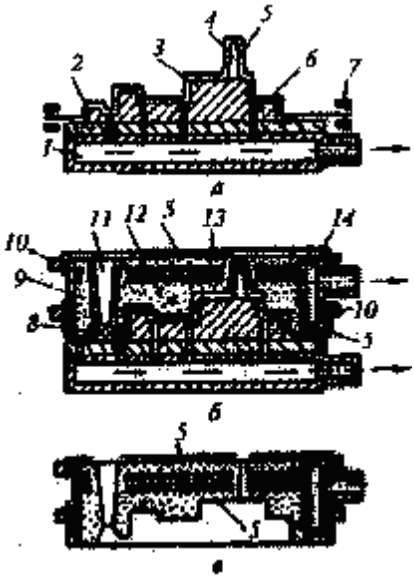

Рис.13.8. Уплотнение литейной формы посредством вакуумной формовки: *а*—нанесение полимерной пленки на модель и модельную плиту; *б*— установка опоки на модельную плиту и проведение формовки, *в* — готовая полуформа; *1*— вакуумная волость, *2*— модельная плита; *3*— модель отливки; *4*—модель выпора; 5 —полимерная пленка; 6 - сквозные отверстия; 7 — рамка; *8* — бобышка, *9*— опока; *10*— магнит, // — модель стояка; *12*— сухой кварцевый песок; *13*— воздухозаборная перфорированная трубка; *14*-- воздухоотводящий коллектор для вакуумирования

К ней прикрепляют с помощью магнитов *10* загнутые вверх края пленки *5*, покрывающей модель и модельную плиту. В опоку засыпают сухой кварцевый песок *12* и уплотняют его вибрацией. Затем опока покрывается сверху разогретой полимерной пленкой *5.* Герметизированную пленкой опоку вакуумируют. Для этого в ней предусмотрена собственная система ва-куумирования, состоящая из воздухозаборной перфорированной трубки *13,* соединенной с ваздухоотводящим коллектором *14.* Для предотвращения попадания песка в трубку отверстия в ней закрывают сеткой. Уплотненный вибрацией песок, находящийся в разреженной опоке, дополнительно подпрессовывается внешним атмосферным давлением. При этом форма приобретает повышенные плотность, прочность и твердость. Затем из формы удаляют модель стояка *11,* предварительно надрезав верхнюю пленку *5.* Над моделью выпора *4* в пленке прорезают небольшое (с меньшим размером, чем верхний диаметр выпора) отверстие. Отключив вакуумную

полость *1* от насоса, готовую полуформу снимают с модельной плиты *2* (рис. 13.8, *в*). Подобным образом изготавливается вторая полуформ». Собранные и скрепленные между собой полуформы вакуумируют (с помощью воздухозаборной трубки *13* и коллектора *14*), а затем заливают металл. Заливка металла в вакууме приводит к газификации пленки. При этом газ, проникая под действием разрежения в поры формы, конденсируется на холодных зернах песка. Образовавшийся конденсат связывает песок поверхностного слоя рабочей полости формы в тонкую оболочку, плотно прилегающую (за счет разрежения) к основе. Этим возникшая оболочка обеспечивает сохранение заданной конфигурации как рабочей полости формы, так и отливки.

После завершения процесса литья и окончательного затвердевания отливки отключают вакуум. Песок и отливку удаляют из опок.

К достоинствам вакуумной формовки следует отнести обеспечение повышенной точности размеров и качества поверхности отливок, а также простоту технологий приготовления смеси и выбивки форм.

Заливка форм. Охлаждение, выбивка и очистка отливок. Перед заливкой верхнюю и нижнюю опоки скрепляют между собой с помощью скоб и других приспособлений, что предотвращает подъем верхней опоки статическим давлением расплава.

Заливку сплава в форму осуществляют посредством ковшей; при этом заливка производится без прерывания струи до полного наполнения литниковой чаши.

Продолжительность процесса охлаждения отливок может колебаться от минут до суток в зависимости от их массы, состава сплава и свойств формовочных материалов. По достижении определенной для каждого сплава температуры литейную форму разрушают, извлекая из нее отливку. Стержни из крупных отливок удаляют сильной струей воды (под давлением до 10МПа.) Обрубка (удаление литников, прибылей и дефектов) осуществляется с помощью дисковых и ленточных пил, пневматических зубил, а также электродуговой или газовой резкой и другими методами.

Очистка отливок производится следующими способами: а) во вращающихся барабанах за счет трения друг о друга деталей и «звездочек», загружаемых в барабаны вместе с отливками; б) в гидропескоструйных установках струей воды с песком под давлением до 3 МПа; в) дробеметных (дробеструйных) барабанах и камерах струей чугунной или стальной дроби.

Для литья в песчаные формы характерны следующие виды дефектов: газовые и усадочные раковины, «холодные» и «горячие» трещины (в зависимости от температурных интервалов их образования), заливы, недоливы, перекосы (искажение формы и размеров отливки из-за смещения полуформ), разностенность (из-за смещения стержней) , коробление отливок.

Литьем в песчаные формы получают отливки из чугуна, стали, алюминиевых, магниевых и цинковых сплавов.

Контрольные вопросы

1. Что представляет собой литейная форма?
2. Из каких материалов изготавливают литейные формы?
3. Как называется процесс изготовления литейных форм из формовочных смесей?
4. Какие приспособления входят в литейную оснастку?
5. Что такое литниковая система? Из каких основных частей она состоит?
6. Каковы основные компоненты песчано-глинистых смесей?
7. Что представляют собой припылы и краски?
8. Перечислите разновидности формовки.
9. Как осуществляются сборка и заливка форм?
10. Как производятся выбивка и очистка отливок?
11. Назовите основные дефекты при литье в песчаные формы.