

Высшее профессиональное образование

Э. Ч. Гини
А. М. Зарубин
В. А. Рыбкин

ТЕХНОЛОГИЯ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ЛИТЬЯ

Учебник



Машиностроение

УДК 621.74(075.8)
ББК 34.61я73
Г49

Рецензенты:

зав. кафедрой «Литейное производство» Московского государственного
индустриального университета, д-р техн. наук, проф. *Л. М. Романов*;
президент Российской ассоциации литейщиков,
д-р техн. наук, проф. *И. А. Дибров*

Гини Э. Ч.

Г49 **Технология литейного производства: Специальные виды
литья: Учебник для студ. высш. учеб. заведений / Э. Ч. Гини,
А. М. Зарубин, В. А. Рыбкин; Под ред. В. А. Рыбкина. — М.: Из-
дательский центр «Академия», 2005. — 352 с.**

ISBN 5-7695-1850-2

Освещены основы теории и технологии специальных видов литья. Рассмотрено литье по выплавляемым моделям, в кокиль, под давлением, автоклавное литье, центробежное литье, литье выжиманием, погружением форм в расплав и др. Изложены принципиальные особенности каждого из способов, основные операции технологического процесса и применяемое оборудование.

Для студентов вузов, обучающихся по специальности «Машины и технологии литейного производства». Может представлять интерес для специалистов литейного производства.

УДК 621.74(075.8)
ББК 34.61я73

УПРАВЛЕНИЕ ГОСУДАРСТВЕННОГО издания является собственностью Издательского
центра «Академия». Его воспроизведение любым способом без согласия
правообладателя запрещается

© Гини Э.Ч., Зарубин А.М., Рыбкин В.А., 2005
© Образовательно-издательский центр «Академия», 2005
© Оформление. Издательский центр «Академия», 2005

ISBN 5-7695-1850-2

ПРЕДИСЛОВИЕ

Литейное производство — один из старейших и до настоящего времени основных способов получения металлических изделий и заготовок для различных отраслей промышленности. Литые детали используются не только в машиностроении и приборостроении, они применяются в домостроении и дорожном строительстве, являются предметами быта и культуры. Это обусловлено тем, что этот способ позволяет получать заготовки и детали из разных сплавов практически любой конфигурации, с любыми структурой, макро- и микрогеометрией поверхности, массой от нескольких граммов до сотен тонн, с любыми эксплуатационными свойствами. При необходимости и экономической оправданности требуемые показатели достигаются без использования других технологических процессов (механической обработки, сварки, термической обработки и др.).

Основным направлением совершенствования любого производства является модернизация известных и создание новых технологических процессов, позволяющих уменьшить расход материалов, снизить затраты труда и энергии, улучшить условия труда, устранить или уменьшить вредное воздействие на окружающую среду и, в конечном счете, повысить эффективность производства и качество продукции. В этом отношении литейное производство не является исключением.

В настоящее время для получения литых деталей уже используется несколько десятков технологических процессов и их вариантов, обладающих достаточно широкой универсальностью или пригодных для изготовления узкой номенклатуры определенных отливок. Исторически сложилось деление этих способов на обычные, под которыми чаще всего подразумевают литье в песчано-глинистые формы, и специальные — это все остальные виды литья. С увеличением числа методов и вариантов получения отливок все острее ощущается необходимость в более четкой и детальной их классификации по основным общим признакам с целью систематизации изложения сущности разных методов, с тем чтобы облегчить понимание заложенных в них принципов и создание новых более эффективных способов литья.

Главными признаками обычного традиционного метода литья в песчано-глинистые формы можно считать такие важнейшие характеристики литейной формы — основного инструмента технологического процесса, как то, что она *разовая* и *разъемная*. Литей-

ная форма выполняется из дисперсных огнеупорных материалов, упрочняемых при изготовлении механическими, химическими, физическими или комбинированными способами.

Дополнительным, но обязательным признаком литья в песчано-глинистые формы является то, что заполнение формы расплавом ведется обычным гравитационным методом сверху из ковша через общепринятую литниковую систему.

Другие характеристики формы (объемная, оболочковая, опочная, безопочная, кесонная и т.д.) — составы и свойства формовочных смесей, способы их уплотнения или упрочнения, характеристики отливок и сплавов для их изготовления, масштабы производства и пр. — определяют лишь варианты этого технологического процесса и типы оборудования для выполнения конкретных операций.

Указанный технологический процесс литья в песчано-глинистые формы и варианты его осуществления являются предметом рассмотрения первой части дисциплины — «Технология литейного производства: Литье в песчаные формы»¹.

Из многочисленных разнообразных специальных видов литья в первую очередь целесообразно выделить способы, обладающие характерными признаками, отличными от обычной традиционной технологии литья в песчано-глинистые формы.

Сначала отметим процессы с резко отличными признаками инструмента — литейной формы.

Первая группа — литье в разовые неразъемные литейные формы из дисперсных материалов с сохранением гравитационного метода заполнения формы сверху из ковша через литниковую систему, как в традиционном способе.

Отличительной особенностью этих методов является использование разовой модели, которую для удаления из неразъемной формы разрушают каким-либо способом до заполнения формы расплавом или даже в процессе заполнения формы. В эту группу входят методы литья по выплавляемым, выжигаемым, растворимым, газифицируемым моделям. Наиболее распространенным в настоящее время в этой группе является литье по выплавляемым моделям, а новым и развивающимся процессом — литье с использованием моделей из фотополимерных материалов.

Вторая группа — литье в полупостоянные или постоянные разъемные формы с сохранением гравитационного метода заполнения формы сверху из ковша через литниковую систему.

Общей характеристикой этих методов является разборная литейная форма, состоящая из полупостоянных или постоянных и

¹ Технология литейного производства: Литье в песчаные формы / Под ред. А. П. Трухова (Авторы: А. П. Трухов, Ю. А. Сорокин, М. Ю. Ершов, Б. П. Благоврахов, А. А. Минаев, Э. Ч. Гини). — М.: Изд. центр «Академия», 2005.

разовых элементов. Конструкция формы должна позволять извлекать из нее отливку без повреждения многократно используемых элементов формы. Основным методом в данной группе — *литье в кокиль*. Известен также метод литья в углеродные (графитовые) формы. Могут, видимо, применяться и другие материалы для многократно используемых элементов литейной формы.

Характерными признаками третьей группы методов являются дополнительные воздействия на расплав при заполнении формы и затвердевании отливки. Тип и конструкция литейной формы определяются в этих случаях требованиями к отливкам и параметрами воздействия на расплав и кристаллизующиеся отливки, главным образом, тонкостенные или отливки, сочетающие массивные и тонкие части. В числе этих требований следующие:

а) запрессовка металла в форму с высокими скоростями поршневой системой — *литье под давлением*. Этот способ предусматривает применение лишь металлических разъемных литейных форм (пресс-форм), не исключается применение стержней и формообразующих вставок из дисперсных огнеупорных материалов;

б) способы литья при регулируемом, относительно невысоком газовом давлении — *литье под низким давлением, с противодавлением, вакуумным всасыванием* и др. В этих способах можно использовать разъемные и неразъемные литейные формы из любых материалов, обладающих достаточными огнеупорностью и прочностью;

в) *центробежное литье фасонных отливок* также связано с возможностью использования разнообразных известных конструкций литейных форм. Однако при центробежном литье тел вращения (труб, втулок, гильз и др.) обычно применяются формы специальной конструкции — изложницы;

г) к способам, основанным на других принципах заполнения форм, относятся *литье выжиманием, литье погружением форм в расплав* и др.

Воздействия на заливаемый в форму расплав, отмеченные в пунктах а), б), в) и г), продолжают и после заполнения формы, что способствует определенному повышению плотности отливок и улучшению качества их поверхности.

Аналогично можно выделить методы, в которых наиболее значимо воздействие на расплав в период кристаллизации; их используют для получения особо плотных отливок и со специальной микроструктурой.

Четвертая группа — *литье под всесторонним газовым давлением (автоклавное литье)* с использованием литейных форм из различных материалов; *литье с кристаллизацией под давлением (жидкая штамповка)*, в котором чаще всего используют металлические формы.

Пятая группа — методы литья, использующие воздействие на расплав, оказывающее существенное влияние на формирование микроструктуры отливок. В их числе методы с использованием электрического и электромагнитного воздействия на расплав до, во время или после поступления расплава в форму, обработка его ультразвуком и др.

Шестую группу образуют методы, основанные на формировании свойств отливок при непрерывных и полунепрерывных процессах литья. К этим процессам можно отнести: *непрерывное литье* с использованием стационарных и подвижных кристаллизаторов; *литье вытягиванием из расплава* и *полунепрерывное литье*, используемые для получения отливок постоянного профиля по длине; *электрошлаковое литье*; *литье с последовательным заполнением*; *литье намораживанием* и др. для получения фасонных отливок.

Седьмая группа — методы получения отливок с различными специальными свойствами, к которым можно отнести: *армирование отливок*; *изготовление отливок из композиционных материалов* и др.

В производстве литых заготовок специальные виды литья в настоящее время занимают уже значительное место, хотя 70...75 % общего объема производства отливок (в тоннах) получают обычным методом литья в песчаную форму и только 25...30 % «специальными» методами (это далеко не точно характеризует значение объема производства специальными видами литья). Методами специального литья изготавливают некрупные отливки из черных сплавов и подавляющее большинство, как правило, более легких отливок из цветных сплавов. Поэтому по числу получаемых отливок специальные методы не уступают обычному методу литья в песчаные формы.

Конечно, удельное влияние специальных видов литья в промышленности не одинаково, они обладают разной универсальностью, а отдельные из упомянутых выше методов находятся в стадии разработки или освоения. Описать все известные методы в рамках разумного объема одного учебника невозможно. Это задача справочной и другой специальной литературы.

Учебник составлен в соответствии с программой подготовки дипломированных специалистов в высших учебных заведениях, обучающихся по направлению «Машиностроительные технологии и оборудование», специальностям «Машины и технология литейного производства», «Литейное производство черных и цветных металлов»; в нем рассмотрена вторая часть дисциплины «Технология литейного производства» — специальные виды литья. Отражение нашли наиболее распространенные в промышленности методы из отмеченных семи групп, при этом акцент сделан на физическую и физико-химическую суть процессов той или иной технологии, на особенности формирования качества отливок, вы-

бора материалов, конструкции оснастки, назначения технологических режимов, на применяемое оборудование и средства автоматизации.

Материал, изложенный с учетом опыта чтения указанного курса и его усвоения студентами МГТУ им Н. Э. Баумана, отражает многолетние педагогические традиции, которые были заложены первым в стране учебным пособием на данную тему профессора Н. Н. Рубцова «Специальные виды литья» 1955 г. издания, более поздними изданиями учебников, созданных его учениками — профессорами Г. Ф. Баландиным и Ю. А. Степановым, а также другими преподавателями кафедры литейного производства МГТУ им. Н. Э. Баумана в учебниках по этой дисциплине 1970 и 1983 гг. издания.

Главы 1, 6 (кроме подраздела 6.1) написаны В. А. Рыбкиным; главы 2, 4, подраздел 6.1 — Э. Ч. Гини; глава 3 — А. М. Зарубиным; глава 5 — В. А. Рыбкиным и А. М. Зарубиным. В написании предисловия участвовали все авторы.

ЛИТЬЕ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ

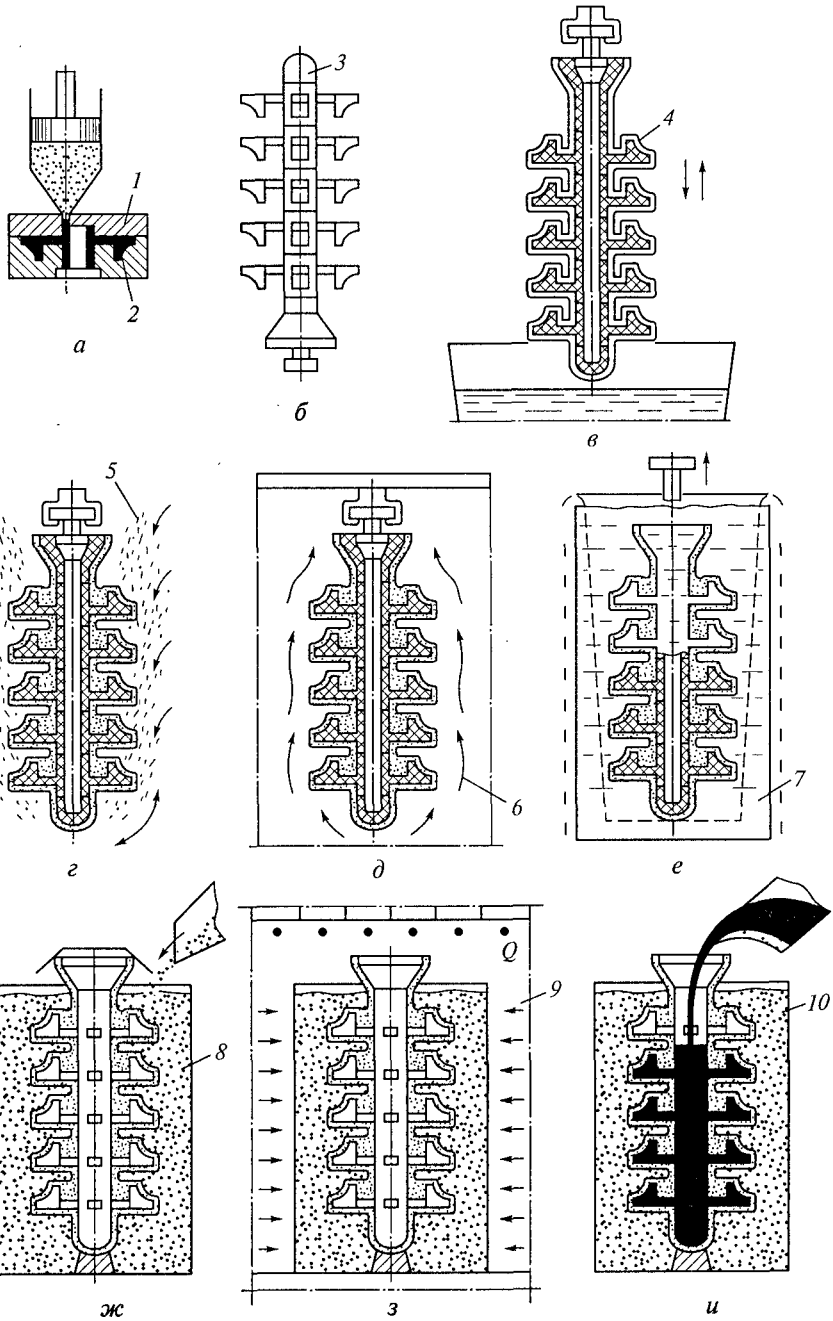
1.1. Суть процесса. Основные операции. Область использования

Литье по выплавляемым моделям — это процесс, в котором для получения отливок применяются разовые точные неразъемные керамические оболочковые формы, получаемые по разовым моделям с использованием жидких формовочных смесей. Перед заливкой расплава модель удаляется из формы выплавлением, выжиганием, растворением или испарением. Для удаления остатков модели и упрочнения формы ее нагревают до высоких температур. Прокалкой формы перед заливкой достигается практически полное исключение ее газотворности, улучшается заполняемость расплавом.

Основные операции технологического процесса можно проследить по рис. 1.1. Модель или звено моделей 2 изготавливают в разъемной пресс-форме 1, рабочая полость которой имеет конфигурацию и размеры отливки с припусками на усадку (модельного состава и материала отливки) и обработку резанием (рис. 1.1, *а*). Модель изготавливают из материалов, либо имеющих невысокую температуру плавления (воск, стеарин, парафин), либо способных растворяться (карбамид) или сгорать без образования твердых остатков (полистирол). Готовые модели или звенья моделей собирают в блоки 3 (рис. 1.1, *б*), имеющие модели элементов литниковой системы из того же материала, что и модель отливки. Блок моделей состоит из звеньев, центральная часть которых образует модели питателей и стояка. Модели чаши и нижней части стояка изготавливают отдельно и устанавливают в блок при его сборке. Блок моделей погружают в емкость с жидкой формовочной смесью — суспензией для оболочковых форм, состоящей из пыле-

Рис. 1.1. Последовательность изготовления многослойной оболочковой формы по выплавляемым моделям:

а — запрессовка модельного состава в пресс-форму; *б* — сборка блока; *в* — нанесение на блок суспензии; *г* — обсыпка огнеупорным зернистым материалом; *д* — сушка; *е* — удаление модели; *ж* — засыпка опорным материалом; *з* — прокалка в печи; *и* — заливка формы расплавом; 1 — пресс-форма; 2 — модель; 3 — блок моделей отливок и литниковой системы; 4 — слой суспензии; 5 — огнеупорный зернистый материал; 6 — пары аммиака; 7 — горячая вода; 8 — опорный материал; 9 — печь; 10 — прокаленная форма; *Q* — подвод теплоты



видного огнеупорного материала, например пылевидного кварца или электрокорунда, и связующего (рис. 1.1, *в*). В результате на поверхности модели образуется тонкий (менее 1 мм) слой 4 суспензии. Для упрочнения этого слоя и увеличения толщины на него наносят слои огнеупорного зернистого материала 5 (мелкий кварцевый песок, электрокорунд, зернистый шамот) (рис. 1.1, *г*). Операции нанесения суспензии и обсыпки повторяют до получения на модели оболочки требуемой толщины (3—10 слоев).

Каждый слой покрытия высушивают на воздухе или в парах аммиака 6, что зависит от связующего (рис. 1.1, *д*). После сушки оболочковой формы модель удаляют из нее выплавлением, растворением, выжиганием или испарением. Например, в процессе удаления выплавляемой модели в горячей воде 7 ($t_{\text{воды}} \leq 100^\circ\text{C}$) получают многослойную оболочковую форму по выплавляемой модели (рис. 1.1, *е*). С целью упрочнения перед заливкой ее (форму) помещают в металлический контейнер и засыпают огнеупорным материалом 8 (кварцевым песком, мелким боем использованных оболочковых форм) (рис. 1.1, *ж*). Для удаления остатков моделей из формы и упрочнения связующего контейнер с оболочковой формой помещают в печь 9 для прокаливания (рис. 1.1, *з*). Прокалку формы ведут при температуре 900...1100 °С, далее прокаленную форму 10 извлекают из печи и заливают расплавом (рис. 1.1, *и*). После затвердевания и охлаждения отливки до заданной температуры форму выбивают, отливки очищают от остатков керамики и отрезают от них литники.

Во многих случаях оболочки прокаливают в печи до засыпки огнеупорным материалом, а затем для упрочнения их засыпают предварительно нагретым огнеупорным материалом. Это позволяет сократить продолжительность прокаливания формы перед заливкой и сократить энергозатраты. Так, например, организуется технологический процесс на автоматических линиях для массового производства отливок (см. подразд. 1.7).

Малая шероховатость поверхности формы при достаточно высокой огнеупорности и химической инертности материала позволяет получать отливки с поверхностью высокого качества. После очистки от остатков оболочковой формы шероховатость поверхности отливок составляет от $Rz = 20$ мкм до $Ra = 1,25$ мкм.

Отсутствие разъема формы, использование для изготовления моделей материалов, позволяющих не разбирать форму для их удаления, высокая огнеупорность материалов формы, нагрев ее до высоких температур перед заливкой — все это способствует улучшению заполняемости, дает возможность получать отливки сложнейшей конфигурации, максимально приближенной или соответствующей конфигурации готовой детали, практически из всех известных сплавов. Достигаемый коэффициент точности отливок по массе ($K_{\text{ТМ}} = 0,85...0,95$) способствует резкому сокращению

объемов обработки резанием и отходов металла в стружку. Точность отливок может соответствовать классам точности 2—5 по ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989), припуски на обработку резанием для отливок размером до 50 мм обычно не превышают 1 мм, а для отливок размером до 500 мм — около 3 мм. *Поэтому литье по выплавляемым моделям относится к прогрессивным материало- и трудосберегающим технологическим процессам обработки металлов.*

Краткие исторические сведения. Прообразом современного процесса литья по выплавляемым моделям является литье в формы, полученные по восковым моделям. Уже в Древнем Эламе и Вавилоне около 4 тыс. лет назад использовали восковые модели для изготовления литых украшений и других предметов быта. Этот способ был известен в Древнем Китае и Древней Индии. Позже он получает распространение в Европе. Находки отливок свидетельствуют о поразительном расцвете художественной обработки металлов у древних племен Кавказа 2,5...3 тыс. лет назад.

В эпоху Возрождения великие художники и скульпторы использовали восковые модели для отливок художественных изделий — скульптур, украшений.

Восковые модели использовались и мастерами России как в статуарном литье, так и при литье колоколов, пушек, церковной и домашней утвари. Примерами высокого мастерства литейщиков прошлого является статуя Персея с головой Медузы в руке во Флоренции, исполненная скульптором Бенвенуто Челлини, или скульптурная группа в Санкт-Петербурге «Укротители коней», модели и отливки которой выполнил скульптор П. К. Клодт (с его именем связаны первые в истории отечественного литейного искусства статуарные работы; литейное дело изучал у известного мастера В. П. Екимова).

Позже литейный процесс стал использоваться в зубопротезном и ювелирном производствах. Его использованию в промышленности препятствовала низкая огнеупорность использовавшихся тогда формовочных материалов (скульптурной глины, которая наносилась слоями на модель и служила материалом формы).

Лишь в 1929 г. К. Прангль и Р. Ердл впервые применили огнеупорную суспензию, в которой в качестве связующего они использовали спиртовой коллоидный раствор кремниевого ангидрида. Сначала этот процесс нашел применение в стоматологии США, а позже — в массовом производстве мелких отливок из стали и тугоплавких сплавов.

Начало широкого освоения данного способа в промышленности России связано с необходимостью получения лопаток авиационных двигателей. Первая промышленная партия таких отливок из сплавов на кобальтовой и никелевой основе была получена в 1944 г. В конце 1940-х гг. освоено производство литых стальных деталей стрелкового оружия, швейных машин, бурового и метал-

лорезущего инструментов. Дальнейшее развитие этого процесса способствовало его использованию в других отраслях машиностроения и в приборостроении. Таким способом стали получать отливки из разных сплавов, толщина стенки которых была менее 1 мм, а шероховатость поверхности и точность размеров позволяли значительно сократить объем обработки резанием или отказаться от нее. С этой целью стали производиться средства механизации и автоматизации процесса, на базе которых созданы автоматизированные литейные цехи по производству точных отливок.

Однако литье по выплавляемым моделям — процесс многооперационный. Манипуляторные операции при изготовлении и сборке моделей, нанесении суспензии на модель и другие достаточно сложные и трудоемки, что усложняет автоматизацию процесса. Процесс состоит из ряда длительных операций, определяющих производительность, таких, как послойное формирование и сушка слоев оболочковой формы на модели, прокалка формы. Из-за большого числа операций и технологических факторов, влияющих на размеры полости формы и соответственно отливки, может снижаться точность отливок. Качество отливок, получаемых данным способом, существенно зависит также от стабильности свойств исходных материалов для изготовления моделей, суспензии, формы и режимов технологического процесса. Это усложняет автоматизацию управления технологическим процессом.

Указанные особенности технологического процесса изготовления отливок в керамических оболочковых формах определили три основные проблемы его развития: 1) сокращение числа операций технологического процесса и их длительности наряду с упрощением манипуляторных операций с целью их автоматизации; 2) реализация резервов повышения точности моделей, форм и отливок, которыми обладает данный процесс; 3) создание систем автоматизированного управления технологическим процессом. †

Особенности формирования отливок и их качество. Получение отливок в оболочковой форме сопряжено с рядом особенностей, в частности, перед заливкой форму нагревают до сравнительно высоких температур. Это определяет следующие технологические моменты.

Небольшая теплопроводность, теплоемкость и плотность материалов оболочковой формы и повышенная температура формы снижают скорость отвода теплоты от расплава, что способствует улучшению заполняемости формы. Благодаря этому возможно получение сложных стальных отливок с толщиной стенки 0,8...2 мм со значительной площадью поверхности. Улучшению заполняемости формы способствуют также и малая шероховатость ее стенок, возможность использования внешних воздействий на расплав, таких, как поле центробежных или электромагнитных сил, заливка с использованием вакуума и др.

Невысокая интенсивность охлаждения расплава в нагретой оболочковой форме приводит к снижению скорости затвердевания отливок, укрупнению кристаллического строения, возможности появления в центральной части массивных узлов и толстых (6... 8 мм) стенок усадочных дефектов — раковин и рыхла. Тонкие же стенки (1,5... 3 мм) затвердевают достаточно быстро, и осевая пористость в них не образуется. Для уменьшения усадочных дефектов необходимо создавать условия для направленного затвердевания и питания отливок. Для улучшения кристаллического строения отливок используют термическую обработку.

Повышенная температура формы при заливке способствует развитию на поверхности контакта отливка — форма физико-химических процессов, результатом которых может быть как желательное изменение структуры поверхностного слоя отливки, так и нежелательное, т. е. приводящее к появлению дефектов поверхности.

Например, на отливках из углеродистых сталей характерным дефектом является окисленный и обезуглероженный поверхностный слой глубиной до 0,5 мм. Причина окисления и обезуглероживания отливок заключается во взаимодействии кислорода воздуха с металлом отливки при ее затвердевании и охлаждении. Эти процессы достаточно подробно рассмотрены в работах [10, 13]. Основные факторы, влияющие на процесс обезуглероживания, — это состав газовой среды, окружающей отливку, температура отливки и формы, содержание углерода в отливке.

С увеличением содержания в среде, окружающей отливку, газов-окислителей O_2 , CO_2 и паров H_2O при высоких температурах отливки и формы процессы обезуглероживания интенсифицируются. Поэтому небольшая скорость охлаждения отливки в нагретой оболочковой форме способствует увеличению глубины обезуглероженного слоя отливки. Увеличение содержания углерода в стали повышает интенсивность обезуглероживания поверхностного слоя отливки. Для уменьшения глубины обезуглероженного слоя используют специальные технологические приемы, основанные на предотвращении или уменьшении контакта кислорода воздуха с затвердевающей отливкой, на создании вокруг отливки восстановительной газовой среды и на быстром охлаждении, т. е. сокращении длительности реакции.

На отливках из легированных сталей следствием физико-химического взаимодействия материалов формы и отливки при высоких температурах являются точечные дефекты (питтинги), приводящие к снижению коррозионной стойкости, жаростойкости и жаропрочности отливок и их браку.

Предупредить появление этого дефекта можно созданием восстановительной газовой среды в форме; проведением заливки форм

в вакууме, в нейтральной или защитной среде; уменьшением или устранением взаимодействия оксидов отливки и формы; заменой ее огнеупорного материала, например кремнезема, высокоинертными основными (магнезитовыми, хромомagneзитовыми).

Наконец, стремление получить отливки с чистой гладкой поверхностью вызывает необходимость использования огнеупорных материалов с малыми размерами зерна основной фракции (менее 0,05 мм). Это снижает газопроницаемость оболочковой формы до нескольких единиц, создает опасность образования воздушных «мешков» в форме при ее заполнении, приводит к снижению заполняемости формы и образованию дефектов отливки из-за незаполнения формы.

Эффективность производства и область применения. Исходя из производственного опыта можно выделить ряд преимуществ способа литья в оболочковые формы по выплавляемым моделям: 1) возможность изготовления практически из любых сплавов отливок сложной конфигурации, тонкостенных, с малой шероховатостью поверхности, высоким коэффициентом точности по массе, минимальными припусками на обработку резанием, с резким сокращением отходов металла в стружку; 2) возможность создания сложных конструкций, объединяющих несколько деталей в один узел, что упрощает технологию изготовления машин и приборов; 3) возможность экономически выгодного осуществления процесса в единичном (опытном) и серийном производствах, что важно при создании новых машин и приборов; 4) уменьшение расхода формовочных материалов для изготовления отливок, снижение материалоемкости производства; 5) улучшение условий труда и уменьшение вредного воздействия литейного процесса на окружающую среду.

Наряду с преимуществами данный способ обладает и следующими недостатками: 1) процесс изготовления формы многооперационный, трудоемкий и длительный; 2) большое число технологических факторов, влияющих на качество формы и отливки, и соответственно связанная с этим сложность управления качеством; 3) большая номенклатура материалов, используемых для получения формы (материалы для моделей, суспензии, обсыпки блоков, опорные материалы); 4) сложность манипуляторных операций изготовления моделей и форм, сложность автоматизации этих операций; 5) повышенный расход металла на литники и поэтому невысокий технологический выход годного (ТВГ).

Указанные преимущества и недостатки определяют эффективную область использования литья в оболочковые формы по выплавляемым моделям, а именно:

1) изготовление отливок, максимально приближающихся по конфигурации к готовой детали, с целью снизить трудоемкость обработки труднообрабатываемых металлов и сплавов резанием,

сократить использование обработки давлением труднодеформируемых металлов и сплавов, заменить трудоемкие операции сварки или пайки для повышения жесткости, герметичности, надежности конструкций деталей и узлов;

2) изготовление тонкостенных крупногабаритных отливок повышенной точности с целью уменьшить массу конструкции при повышении ее прочности, герметичности и других эксплуатационных свойств;

3) изготовление отливок повышенной точности из сплавов с особыми свойствами и структурой.

Производство отливок по выплавляемым моделям находит широкое применение в разных отраслях машиностроения и в приборостроении. Использование литья в оболочковые формы для получения заготовок деталей машин взамен изготовления их из кованных заготовок или проката приводит к снижению в среднем на 34...90% отходов металла в стружку. При этом трудоемкость обработки резанием уменьшается на 25...85%, а себестоимость изготовления деталей — на 20...80%. Однако следует учитывать, что *экономическая эффективность существенно зависит от выбора номенклатуры отливок, изготавливаемых этим способом*. Только при правильном выборе номенклатуры деталей достигается высокая экономическая эффективность данного производства.

1.2. Пресс-формы

Требования к пресс-формам. Пресс-форма — это инструмент для изготовления модели. От требований к точности модели зависит необходимая точность размеров полости формы и соответственно размеров отливки. Поэтому главное требование к пресс-форме заключается в том, чтобы в ней можно было получить модели отливки с заданными точностью размеров и шероховатостью поверхности.

Точность размеров модели и качество воспроизведения ее конфигурации зависят от точности размеров полости пресс-формы и ее конструкции; чем меньше разъемов имеет пресс-форма, тем выше точность моделей. Поэтому всегда стремятся использовать минимальное число разъемов. Однако для получения сложных моделей приходится делать несколько разъемов, чтобы модель можно было извлечь из пресс-формы.

Для хорошего заполнения полости пресс-формы модельным составом она должна иметь соответствующие литниковую систему, а также вентиляционную систему, обеспечивающую удаление воздуха из полости пресс-формы при заполнении ее модельным составом.

Конструкция пресс-формы должна быть такой, чтобы модель можно было легко и быстро без деформаций и повреждений из-

влекать из рабочей полости пресс-формы. Большинство модельных составов имеют низкую теплопроводность, а поэтому медленно охлаждаются в пресс-форме. Для обеспечения достаточной скорости охлаждения модельных составов в пресс-форме предусмотрена система охлаждения водой или другими теплоносителями. Такие пресс-формы часто используют в массовом производстве, где важно обеспечить высокую производительность оборудования. При этом для получения с помощью каждой пресс-формы достаточного числа качественных моделей она должна обладать необходимой долговечностью. Наконец, пресс-форма должна иметь такую конструкцию, чтобы ее можно было просто и быстро изготовить, а материалы для нее не должны быть дефицитными.

По конструкции и методам изготовления обычно различают пресс-формы для единичного и мелкосерийного, серийного и массового производства.

Пресс-формы для единичного и мелкосерийного производства. При отработке технологического процесса при изготовлении мелких серий в единичном производстве опытных отливок подготовка производства отливок должна занимать минимальное время. Поэтому экономически целесообразно быстро изготавливать отливку упрощенной конфигурации с припусками на обработку резанием, используя простую по конструкции пресс-форму. Увеличение объема обработки резанием для небольшого числа отливок более выгодно, чем усложнение конструкции пресс-формы.

В единичном и мелкосерийном производстве применяют пресс-формы из цемента, гипса и дерева, пластмасс и эластичных материалов. Такие пресс-формы просты в изготовлении и позволяют получать от нескольких десятков до нескольких сотен точных моделей. Их долговечность невелика, что связано с изнашиванием центрирующих элементов, отъемных частей и стержней, с изменением геометрии рабочих поверхностей пресс-форм.

Пресс-формы изготавливают с одной рабочей полостью (гнездом), т. е. для получения одной модели. Конструкцию пресс-формы упрощают уменьшением числа (или исключением) вспомогательных элементов и механизмов. Сборку, установку стержней, разборку пресс-формы и удаление моделей выполняют вручную.

Цементные и гипсовые пресс-формы (рис. 1.2, а) изготавливают по модели-этalonу (мастер-модели). Эталон может состоять из двух, а иногда и более частей. Его нередко выполняют из дерева и покрывают лаком, поверхность модели покрывают тонким разделительным слоем масла и помещают на модельную плиту 9. Затем на нее устанавливают рамку б, в которую заливают водную суспензию гипса с добавлением пылевидного кварца, кварцевого песка. Для повышения прочности гипсовую пресс-форму армируют металлической проволокой или в состав суспензии вводят поливинилацетатную эмульсию. После схватывания гипса модель из-

влекают, пресс-форму подсушивают, покрывают лаком. Аналогично изготавливают вторую половину пресс-формы (рис. 1.2, б). Пресс-форму собирают и, накрыв плитой 12, через канал 11 заполняют модельным составом 10 (рис. 1.2, в).

Если модель имеет на поверхности мелкий рельеф, а требования к точности размеров отливок невысокие, то пресс-формы изготавливают из жидких холоднотвердеющих компаундов на основе синтетических смол. Синтетическую смолу смешивают с катализатором твердения и заливают в рамку на модель-эталон. После полимеризации смола переходит в твердое состояние, и модель легко удаляется, даже если она имеет выступающие части, поднутрения и т. п. Аналогично изготавливают пресс-формы из эпоксидных и акриловых смол, которые, полимеризуясь, также переходят в твердое состояние; в смесь смолы и катализатора твердения обычно вводят наполнитель (алюминиевый, железный порошок и др.). Такие пресс-формы имеют высокую прочность.

Пресс-формы по модели-эталону изготавливают также из сплавов на основе свинца, олова, цинка, алюминия. Пресс-формы для сложных моделей иногда изготавливают методами гальванопластики с последующей металлизацией. В этом случае применяют модели-эталон из алюминиевых или цинковых сплавов [13].

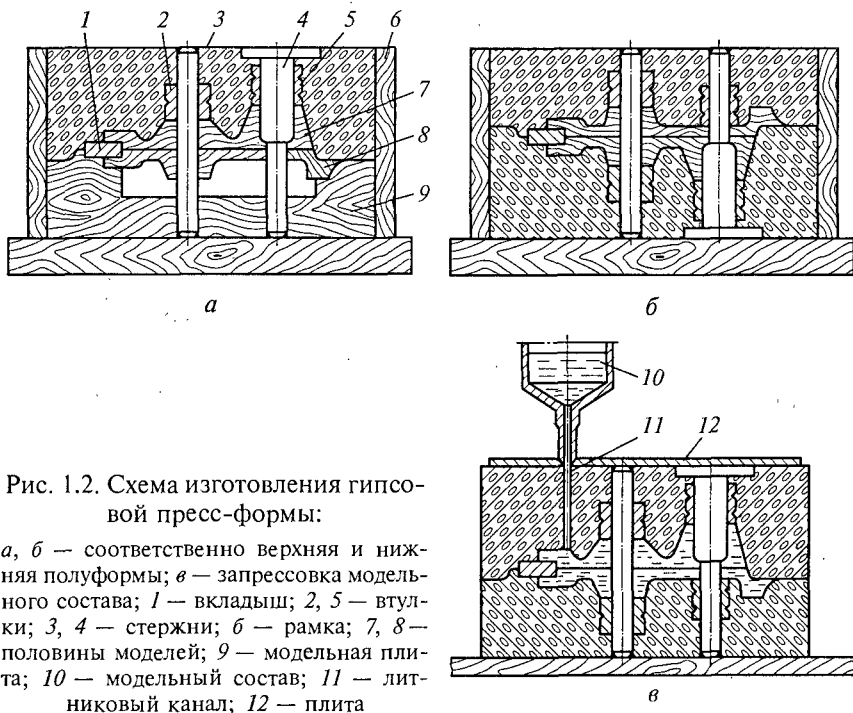


Рис. 1.2. Схема изготовления гипсовой пресс-формы:

а, б — соответственно верхняя и нижняя полуформы; в — запрессовка модельного состава; 1 — вкладыш; 2, 5 — втулки; 3, 4 — стержни; б — рамка; 7, 8 — половины моделей; 9 — модельная плита; 10 — модельный состав; 11 — литниковый канал; 12 — плита

Пресс-формы из эластичных материалов чаще используют при производстве сложных художественных отливок и отливок ювелирного назначения.

Пресс-формы для серийного и массового производства. В серийном и массовом производстве применяют многогнездные пресс-формы. В серийном производстве пресс-формы изготавливают из стали и алюминиевых сплавов. Детали пресс-формы получают обработкой резанием. Как правило, пресс-формы имеют горизонтальную поверхность разъема для удобства извлечения моделей, так как сборку, разборку, извлечение и сьем моделей выполняют вручную.

Пресс-форма (рис. 1.3, а) для двух моделей состоит из нижней 1 и верхней съемной 2 матриц. Нижняя матрица имеет вставки 3, которые оформляют сложную часть модели. Вставки крепят к нижней матрице винтами. Цилиндрическое отверстие в модели (рис. 1.3, б) оформляется подвижным стержнем 4 (см. рис. 1.3, а). Точность соединений матриц обеспечивается направляющими штырями 10. Скрепляют матрицы откидными болтами с барашками. Модельный состав запрессовывают (или заливают) через литниковый канал 5 и питатели 6. После затвердевания моделей удаляют стержни и снимают верхнюю матрицу. Чтобы освободить модели, которые удерживаются толкателями 7, нужно извлечь фиксатор 8 и опустить нижнюю матрицу 1 до плиты основания 9.

В массовом производстве для моделей сложной конфигурации применяются стальные пресс-формы. Простые детали пресс-формы изготавливают обработкой резанием, сложные — литьем с последующей доводкой обработкой резанием, шлифованием. Перемещение стержней, матриц и запирающие пресс-форм осуществляются реечными, винтовыми, пневматическими механизмами. Пресс-формы, как правило, выполняют с вертикальным разъемом.

В матрицах монтируют сменные вкладыши с формообразующими полостями, что удлиняет продолжительность эксплуатации пресс-формы. Для сокращения длительности цикла изготовления модели в стенках пресс-форм выполняют каналы водяного охлаждения. Полости сложной конфигурации, глухие карманы пресс-форм вентилируют с помощью узких каналов по разъему или по стержням.

Пресс-форма (рис. 1.4) состоит из подвижной 9 и неподвижной 7 матриц, неподвижных стержней 5, выполняющих отверстия и полости в моделях, плиты 2 выталкивателей моделей, плиты 1 стержней, стоек 3, трубчатых толкателей 4, каналов 8 для заполнения полости пресс-формы модельным составом, каналов 6 системы термостатирования пресс-формы. При раскрытии пресс-формы звено моделей остается в неподвижной матрице и удаляется из нее толкателями после того, как подвижная матрица будет на расстоянии, большем высоты моделей. Такие пресс-формы устанавливают на карусельных автоматах изготовления моделей.

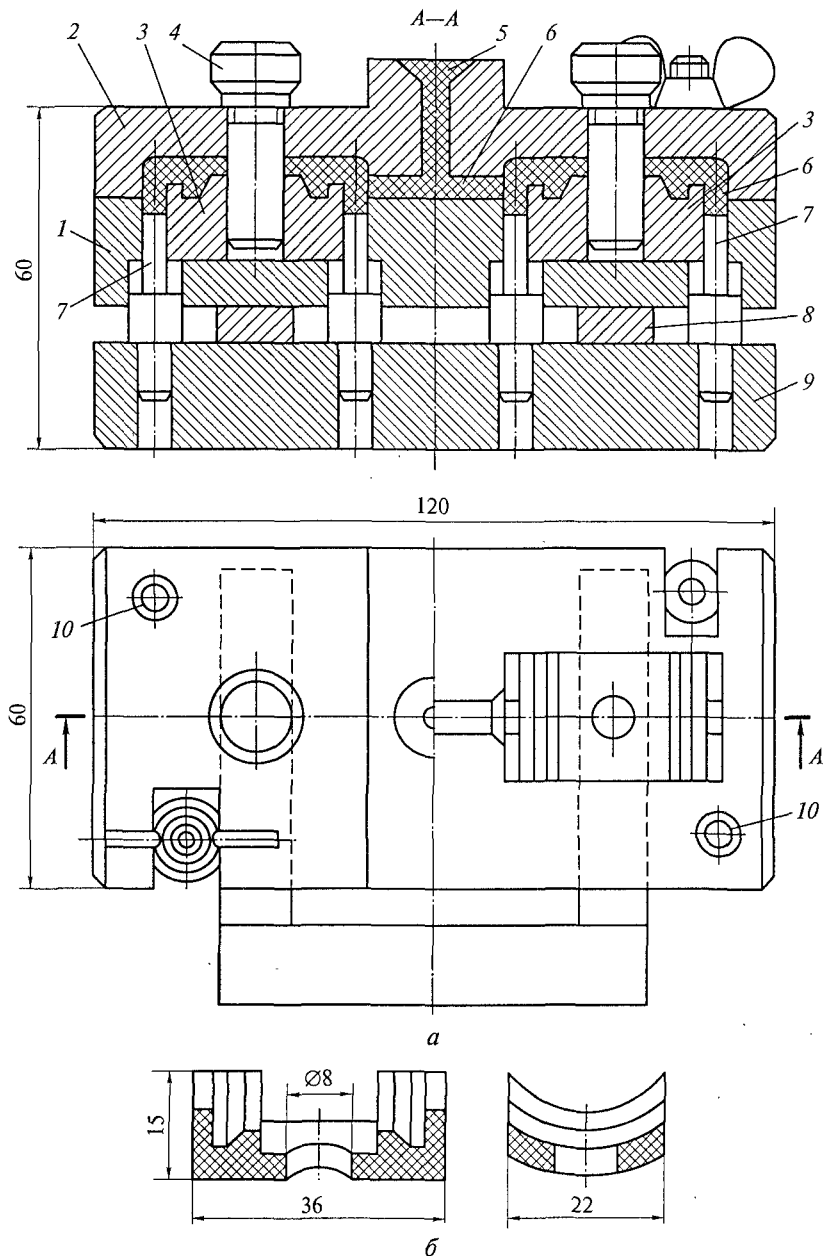


Рис. 1.3. Пресс-форма (а) для изготовления моделей (б) в серийном производстве:

1 — нижняя матрица; 2 — верхняя съемная матрица; 3 — вставки; 4 — подвижный стержень; 5 — литниковый канал; 6 — питатели; 7 — толкатели; 8 — фиксатор; 9 — плита основания; 10 — направляющие штыри

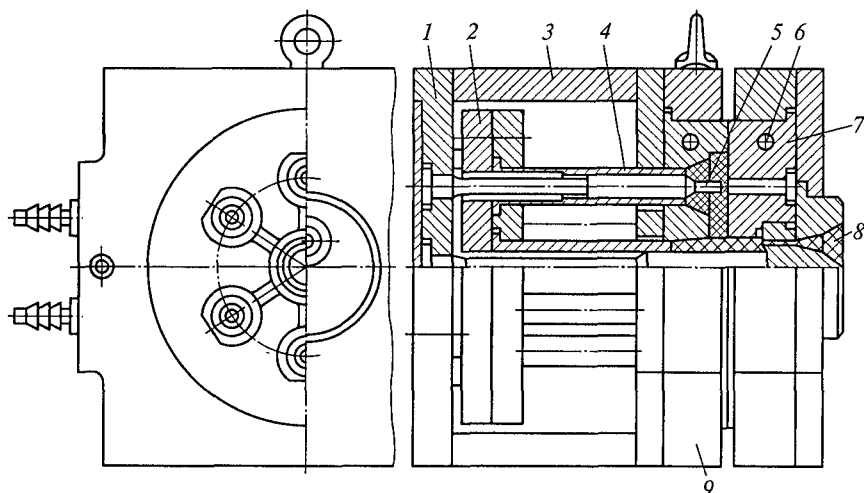


Рис. 1.4. Пресс-форма для изготовления моделей в массовом производстве:

1 — плита стержней; 2 — плита выталкивателей; 3 — стойка; 4 — трубчатый толкатель; 5 — стержень; 6 — канал системы термостатирования пресс-формы; 7 — неподвижная матрица; 8 — канал для подачи модельного состава; 9 — подвижная матрица

Матрицы и вставки, оформляющие рабочие полости, изготовляют из сталей 35, 45, 40X; стержни, выталкиватели, литниковые втулки — из стали У8А; плиты выталкивателей, стойки, основания — из стали 35.

Механизмы перемещения стержней. Стержни, оформляющие отверстия, оси которых перпендикулярны плоскости разреза пресс-формы, чаще всего делают неподвижными. Отверстия, оси которых расположены параллельно плоскости разреза, выполняют подвижными стержнями. Нежелательно располагать подвижные стержни под другими углами к плоскости разреза, так как механизмы для их удаления усложняют конструкцию пресс-формы.

Для перемещения подвижных стержней применяют копирные механизмы, механизмы с зубчатыми передачами, наклонным пальцем, с винтовыми канавками. Такие механизмы позволяют перемещать стержни на любую длину хода и развивать значительные усилия при удалении стержней. Однако эти механизмы увеличивают габаритные размеры пресс-формы.

Размеры рабочей полости пресс-формы рассчитывают с учетом усадки модельного состава, расширения керамической формы при прокаливании и заливке, а также усадки металла отливки. Шероховатость поверхности рабочей полости пресс-формы должна быть в пределах $Ra = 0,16 \dots 0,04$ мкм. Меньшая шероховатость поверхности удорожает стоимость изготовления пресс-формы и практически не улучшает качества поверхности отливки.

1.3. Технология изготовления моделей

Технологический процесс получения моделей и блоков моделей состоит из приготовления модельных составов, изготовления моделей отливок и литниково-питающих систем, отделки и контроля моделей, сборки моделей в блоки.

Требования к модельным составам. Качество моделей зависит от свойств и технологии приготовления модельного состава.

Для получения моделей используют различные модельные составы: выплавляемые, растворяемые, выжигаемые. Любой модельный состав должен удовлетворять определенным требованиям.

В расплавленном состоянии модельный состав должен обладать хорошей жидкотекучестью для четкого воспроизведения конфигурации модели при заполнении полости пресс-формы и легкого и полного удаления из оболочковой формы. Температура плавления модельного состава должна быть невысокой (60... 140 °С), что облегчает изготовление моделей и их удаление из оболочковой формы. Температура размягчения модельного состава должна быть 35... 45 °С, т. е. превышать температуру помещений, где изготавливают, хранят, собирают модели в блоки. Усадка состава при охлаждении и его расширение при нагреве должны быть минимальными и стабильными, чтобы точность моделей, а соответственно, и отливок была высокой. Модельный состав не должен прилипать к поверхности пресс-формы; химическое взаимодействие его с материалом пресс-формы недопустимо. После затвердевания в пресс-форме модельный состав должен обладать прочностью и твердостью, достаточными для того, чтобы модели не деформировались и не ломались на последующих операциях технологического процесса.

Модельный состав должен обеспечивать соединение частей моделей либо сборку в блоки пайкой или склеиванием. Модельный состав должен смачиваться суспензией, но не растворяться в составляющих суспензии для оболочковых форм, не вступать с ними в химическое взаимодействие, иначе будет ухудшаться качество поверхности отливок. Зольность (твердый остаток) состава при нагреве оболочковых форм в процессе прокаливания должна быть минимальной. Плотность состава также должна быть минимальной, что облегчит работу с моделями, блоками моделей, особенно в случае больших их размеров. Так как модельный состав должен быть выплавлен в горячей воде и без лишних трудовых затрат возвращен в производство моделей, его плотность должна быть ниже плотности воды (1000 кг/м³). Свойства модельного состава не должны изменяться перед повторным использованием, т. е. он должен быть пригодным для многократного использования. Кроме того, модельный состав должен быть безвредным для жизни людей и для окружающей среды на всех этапах технологичес-

кого процесса, не должен содержать дефицитных компонентов, а технологии его приготовления и изготовления из него моделей должны быть просты.

В зависимости от требований к качеству отливок и характера производства (единичное, серийное, массовое) те или иные свойства модельного состава становятся наиболее важными, определяющими. Поэтому в соответствии с конкретными условиями производства применяют различные модельные составы.

Исходные материалы для модельных составов. Для приготовления модельных составов наибольшее применение в производстве нашли следующие исходные материалы.

Парафин — смесь углеводородов предельного ряда (алканов) с общей формулой химического состава $C_nH_{(2n+2)}$. Получают его при возгонке нефти, бурого угля, сланцев. По внешнему виду это белая масса с кристаллической структурой. Парафин пластичен, недорог, недефицитен. Температура размягчения около 30°C .

Стеарин — смесь жирных кислот; продукт переработки растительных и животных жиров. Это дорогой и дефицитный материал. Стеарин склонен к взаимодействию с формовочным материалом.

Церезин — смесь углеводородов метанового ряда; получают его переработкой озокерита из нефтяных церезиновых отложений на стыках нефтепроводов, а также путем реакции соединения CO и H_2 с последующей поликонденсацией. Это аморфный материал светло-желтого цвета, так называемый «горный воск». В соответствии с температурой каплепадения церезин маркируют как натуральный — марки 65 (температура каплепадения $65\dots 70^\circ\text{C}$), 70, 75, 80; синтетический — марки 90, 93, 100. Он обладает повышенной пластичностью и теплостойкостью, но имеет высокую линейную усадку (до 1,1%), невысокие прочность и твердость. Для изготовления модельных составов чаще применяют более тугоплавкий синтетический церезин.

Буроугольный воск — продукт переработки бурого угля, смесь воска, смолы, асфальтоподобных веществ. Это однородный материал темно-бурого цвета, с температурой каплепадения около 90°C , обладает высокими прочностью и твердостью, но хрупкий, высоковязкий в жидком состоянии.

Канифоль — твердая составляющая смолы хвойных деревьев, представляет собой смесь смоляных кислот. Это хрупкое стекловидное вещество желтого или коричневого цвета, имеет плотность $1000\dots 1200\text{ кг/м}^3$. Канифоль размягчается в интервале температур $52\dots 70^\circ\text{C}$.

Полистирол блочный — термопластичный материал, получаемый полимеризацией стирола ($\text{C}_2\text{H}_5-\text{CH}=\text{CH}_2$). Для изготовления модельных составов применяют блочный полистирол с низкой зольностью (около 0,04%). Плотность полистирола 1050 кг/м^3 , теплостойкость $70\dots 80^\circ\text{C}$, усадка 0,2...0,8%. Полисти-

рол — водостойкий материал, не растворяется в кислотах и щелочах, спиртах и бензине, растворим в эфирах и ароматических углеводородах, обладает высокой прочностью.

Полистирол вспенивающийся — бесцветные гранулы, содержащие основу — полистирол и порообразователь — изопентановую фракцию с температурой кипения 30... 40 °С. При нагреве до температур 80... 100 °С полистирольная основа гранул размягчается, а порообразователь испаряется, и пары его оказывают изнутри давление на стенки гранул, в результате чего гранулы увеличиваются в объеме, а их плотность уменьшается до 30 кг/м³. Этот материал используют для изготовления выжигаемых моделей.

Полиэтилен — термопластичный материал, получаемый полимеризацией этилена ($H_2C = CH_2$). Высокомолекулярный полиэтилен (молекулярная масса $M_r = 35\,000$) твердый, прочный, эластичный, имеет температуру размягчения 108... 115 °С; теплостойкость его составляет 90 °С. Полиэтилен не взаимодействует с гидрированным раствором этилсиликата.

Полиэтиленовый воск — низкомолекулярный полиэтилен ($M_r = 200... 3000$). Это гранулированный материал белого цвета с температурой плавления 95... 105 °С, хорошо растворяется в парафине, придает модельным составам прочность.

Кубовый остаток термического крекинга парафина — смесь предельных и непредельных углеводородов с температурой размягчения 35 °С; обладает высокой пластичностью и низкой прочностью.

Карбамид $CO(NH_2)_2$ — полный амид угольной кислоты (техническая мочеви́на) — кристаллический, хорошо растворимый в воде материал. Он плавится при 129... 134 °С и обладает в расплавленном состоянии высокой жидкотекучестью, т. е. хорошо заполняет пресс-формы. После затвердевания образует прочную и точную модель. Усадка карбамида ниже 0,1 %. При нагреве карбамид не имеет стадии размягчения, поэтому модели не деформируются вплоть до 100 °С. Используют карбамид для изготовления растворяемых моделей.

Этилцеллюлоза — продукт переработки древесины, белый порошок с температурой плавления 160... 180 °С, хорошо растворяется в стеарине и церезине. Прочность его до 0,14 Н/мм², линейная усадка до 1,2 %.

Модельные составы и их свойства. Изготовленные модельные составы классифицируют: по составу в зависимости от содержания основных компонентов; по свойствам в зависимости от прочности, температуры плавления и размягчения; по состоянию при введении в пресс-форму — жидкие, пастообразные, твердые; по способу удаления из оболочковых форм — выплавляемые, растворяемые, выжигаемые, испаряемые.

Некоторые употребляемые

Марка модельного состава*1	Содержание компонента, мас. %							
	Парафин	Церезин	Стеарин	Буроугольный воск	Канифоль	Карбамид	Полистирол	Полиэтиленовый воск
ПС50-50	50	—	50	—	—	—	—	—
ПЦБКo70-12-13-5 (Р-3)	68... 70	12... 14	—	11... 13	—	—	—	—
ПБТТэ25-35-35-5 (ВИАМ-102)	25	—	—	35	—	—	—	—
ПЦБПэв40-45-10-5 (К-1)	40	45	—	10	—	—	—	5
ПЦБПэвТэ25-35-30-5-5 (М-1)	25	35	—	30	—	—	—	5
ПЦПэв67-25-8 (МВС-3А)	67	25,5	—	—	—	—	—	7,5
К50Пс30Ц20	—	20	—	—	50	—	30	—
К6ПвсМс95,5-2-2,5 (МПВС-2)	—	—	—	—	—	94... 96,5	—	—

*1 В скобках — встречающаяся в литературе маркировка.

*2 у' — усадка расплава; у'' — усадка пасты.

В зависимости от требований к качеству отливок, серийности производства используют разные модельные составы (табл. 1.1).

Парафин-стеариновые модельные составы, приготовленные на основе парафина и стеарина, относятся к легкоплавким. Эти модельные составы хорошо смачиваются суспензией на связующих растворах этилсиликата. Они имеют невысокую температуру плавления (50... 60 °С), низкую зольность, достаточную жидкотекучесть, однако и низкую температуру размягчения, невысокие прочность (1,6... 2 Н/мм²) и твердость, нестабильную и высокую усадку, пригодны для многократного использования (возврат после выплавления составляет до 98 %). Применяют модельный состав ПС50-50, реже ПС70-30. Присутствие в модельном составе стеарина, омыляющегося при выплавлении в горячей воде, приводит к взаимодействию модели с гидролизован-

МОДЕЛЬНЫЕ СОСТАВЫ

Улучшающие добавки	Свойства модельного состава*2					Область применения
	Температура каплепадения, °С	Теплоустойчивость, °С, не ниже	$\sigma_{изг}$ при 20 °С, Н/мм ² , не менее	Зольность, %, не более	γ' , % (γ'' , %)	
—	47,5...53	30	2,4	0,03...0,10	1,3...1,5 (0,8...1,0)	Мелкие отливки средней сложности
4...6 кубового остатка	77...80	31	3,0	0,02	1,2...1,4 (0,6...0,9)	То же
Торфяной воск 35, триэтанол-амин 5	75...85	40	4,8	0,15	1,3...1,5 (0,8...0,9)	»
—	75...85	35	5,0	0,15	1,1...1,3 (0,7...0,8)	»
Триэтанол-амин 5	80...90	43	5,0	0,10	1,3...1,9 (0,7...0,9)	»
—	75...80	40	5,0	0,02	1,3...1,5 (0,9...1,1)	Мелкие, средние, крупные отливки
—	140	40	7,5...8,0	0,03	1,4 (0,9)	Сложные особо точные отливки
Поливинил-ловый спирт 1,5...3	110	68...73	12...17	0,10...0,15	0,2 (—)	Крупные точные отливки

ным раствором этилсиликата (связующего в суспензии) и ухудшению качества форм.

Парафин-стеариновые модельные составы используют в жидком и пастообразном состояниях. В жидком состоянии модельный состав заливают в пресс-форму. Шероховатость поверхности моделей при таком способе их изготовления получается хорошая, но модели имеют усадочные дефекты. Для устранения усадочных дефектов модельный состав при его приготвлении доводят до пастообразного состояния за счет воздуха, содержание которого доводят до 7...10 об. % и более. Пасту под давлением запрессовывают в пресс-форму. После снятия давления воздух, содержащийся в пасте, стремится расшириться и компенсирует усадку модельного состава. Парафин-стеариновые пастообразные модельные составы с добавлением воздуха обладают хорошими тех-

нологическими свойствами, поэтому их широко используют в условиях массового автоматизированного производства, а также в серийном производстве.

Для повышения прочности и температуры размягчения модельных составов на основе парафина и стеарина в них вводят добавки 2...3% этилцеллюлозы или до 20 мас. % буроугольного воска. Упрочняющие добавки — буроугольный и торфяной воски — повышают хрупкость моделей, поэтому для увеличения пластичности в парафин-стеариновые составы вводят пластифицирующие добавки: 3...8 мас. % кубового остатка термического крекинга парафина или церезин. Последним можно заменить стеарин, что улучшает свойства модельных составов.

Парафин-церезиновые модельные составы с добавками буроугольного или торфяного воска обладают высокими прочностью и теплостойкостью. Эти модельные составы используют обычно в пастообразном состоянии. Наиболее широко применяют составы Р-3, Р-3А (по содержанию основных компонентов они близки к составам марки ПЦБКуб0-22-12-6), имеющие прочность при изгибе 3...4 Н/мм², температуру каплепадения 81...84 °С, температуру запрессовки 54...55 °С, усадку 0,8...1,1%. При изготовлении из них моделей вследствие увеличенной вязкости требуется повышенное давление прессования (0,2...0,4 Н/мм²). Модельные составы Р-3 и Р-3А широко используют в массовом автоматизированном и серийном производствах отливок общего машиностроения.

Парафин-стеариновые и парафин-церезиновые модельные составы с добавками до 1,5 мас. % этилцеллюлозы имеют повышенную температуру размягчения, в 1,5—2 раза более высокую прочность по сравнению с парафин-стеариновыми составами. Составы с этилцеллюлозой склонны к утяжинам в массивных местах моделей. При изготовлении моделей их используют в жидком и пастообразном состояниях.

Модельные составы на основе канифоли и полистирола также относятся к тугоплавким и высокопрочным. Их используют для изготовления особо точных сложных моделей лопаток газовых турбин. Эти составы обладают усадкой до 1%, прочностью, в 2—4 раза превышающей прочность составов парафин-стеариновой группы ($\sigma_{изг} = 7...8 \text{ Н/мм}^2$), имеют достаточно высокую температуру плавления. Составы типов КПсЦ (с церезином) и КПсП (с парафином) имеют низкую жидкотекучесть, поэтому возврат модельного состава при выплавлении составляет не более 60%, высокая вязкость их требует повышенного давления прессования (0,6...1 Н/мм²). Иногда их используют как выжигаемые составы, особенно часто при изготовлении тонкостенных отливок сложной пространственной конфигурации. Для устранения хрупкости в модельные составы вводят пластификатор (2 мас. % дибутилфталата).

Составы на основе карбамида имеют малую и стабильную усадку, поэтому их применяют для изготовления моделей тонкостенных точных крупногабаритных отливок, а также растворимых в воде стержней, по которым выполняют полости сложной конфигурации в легкоплавких и тугоплавких моделях небольших размеров. Основным компонентом служит карбамид $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ — техническая мочеви́на. Карбамид плавится при температуре 129°C , хорошо растворяется в воде, имеет высокую жидкотекучесть, затвердевает и охлаждается практически без усадки. Плотность карбамида $1,3 \text{ г/см}^3$. В качестве пластификатора в карбами́д вводят гидроксид бора $\text{B}(\text{OH})_3$ в количестве $0,3 \dots 3 \text{ мас.}\%$. Распространенным растворимым модельным составом на основе карбамида является состав марки К6ПвсМс95,5-2-2,5 (см. табл. 1.1).

Из числа выжиговых модельных составов наибольшее распространение получили полистирол типа ПСВ-ЛД и блочный полистирол с добавками. Полистирол ПСВ-ЛД — вспенивающаяся композиция, из которой изготавливают модели с использованием термопластавтоматов. Плотность моделей $0,24 \dots 0,3 \text{ г/см}^3$, $\sigma_{\text{изг}} = 10 \dots 14 \text{ Н/мм}^2$, усадка этих составов $0,2 \dots 0,3 \%$. Такие модельные составы используют для изготовления моделей мелких и средних отливок в массовом и крупносерийном производстве.

Приготовление модельных составов. Легкоплавкие и модельные составы готовят расплавлением составляющих в водяных или масляных банях с электрическим обогревом. Исходные материалы перед загрузкой измельчают до кусков размером $30 \dots 50 \text{ мм}$ для ускорения плавления, загрузку ведут в порядке возрастания температур плавления или растворимости материалов. Расплавленный модельный состав перемешивают и фильтруют через металлическое сито № 02. Готовый модельный состав используют для изготовления моделей или разливают в изложницы для последующего употребления.

Парафин-стеариновые составы с добавками и составы с буроугольным воском марки Р-3 перемешивают особенно тщательно. Если составы содержат этилцеллюлозу, то сначала расплавляют материалы, в которых этилцеллюлоза хорошо растворяется (например, церезин, стеарин). При этом доводят температуру состава до $120 \dots 140^\circ\text{C}$ и при непрерывном перемешивании вводят этилцеллюлозу, просеянную через сито № 02. После растворения этилцеллюлозы вводят остальные материалы. Модельный состав тщательно перемешивают и фильтруют через сито № 02.

Пастообразные модельные составы готовят охлаждением жидкого состава при непрерывном перемешивании в специальных смесителях, при этом удается замесить в модельный состав $8 \dots 12 \text{ об.}\%$ воздуха. Для этой цели используют лопастные, поршневые, шестеренные смесители, наибольшее применение нашли шестеренные и поршневые смесители.

Поршневые смесители менее производительны, так как они периодического действия и процесс замешивания воздуха протекает в них около 20 мин. Поэтому их используют в основном в серийном и мелкосерийном производстве. Шестеренные смесители непрерывного действия (рис. 1.5) имеют два вала 1, на которых смонтированы шестерни 2. Каждая пара шестерен отделена от соседней перегородкой 3. В каждой паре одна из шестерен свободно насажена на вал, а другая закреплена на валу на шпонке, в соседней паре — наоборот. Валы вращаются от общего привода 5 в одном направлении, поэтому на одном валу четные, а на другом нечетные шестерни вращаются с валом, приводя свободно насаженные парные шестерни в движение. Смежные пары шестерен вращаются в разные стороны. Ширина каждой пары шестерен уменьшается в направлении движения модельного состава для создания напора и перемещения пасты. Жидкий модельный состав подается в горловину смесителя вместе с воздухом и после перемешивания первой парой шестерен выдавливается через отверстие 4 в перегородке 3 в соседнюю секцию, где перемешивается в обратном направлении и перемещается вверх, к отверстию 4 в следующей перегородке. В процессе перемешивания модельный состав интенсивно охлаждается, переходя в пастообразное состо-

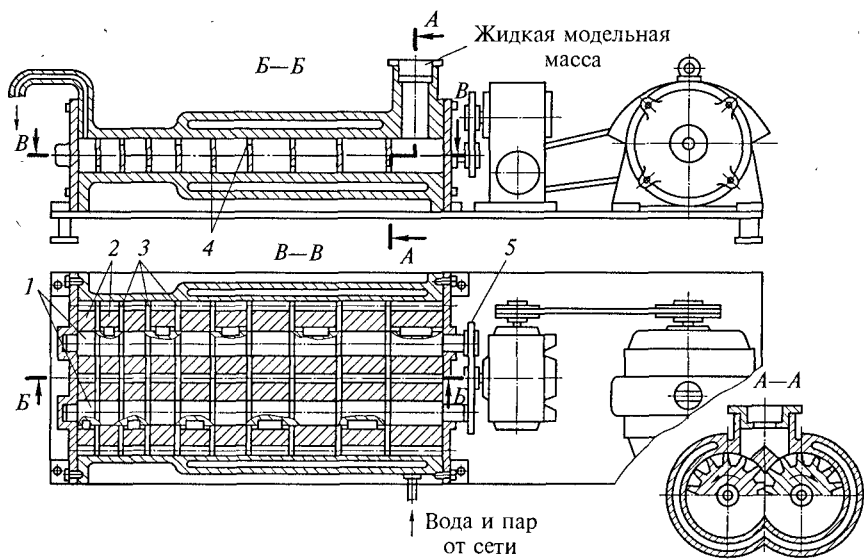


Рис. 1.5. Схема шестеренного смесителя для приготовления пастообразного модельного состава с воздухом:

1 — валы; 2 — шестерни; 3 — перегородки; 4 — выпускные отверстия;
5 — привод смесителя

яние. Эти смесители имеют большую производительность и надежность, обеспечивая получение пасты высокого качества.

Тугоплавкие модельные составы готовят в тигельных поворотных электропечах с терморегуляторами; тигли изготовляют из коррозионно-стойких сталей, не взаимодействующих с модельным составом. Для приготовления модельных составов типа канифоль-полистирол-церезин сначала плавят церезин, затем вводят канифоль, нагревают состав до 140... 150 °С. Полученный расплав фильтруют, нагревают до 220 °С и, постепенно перемешивая, засыпают полистирол. Затем модельный состав выдерживают 30... 40 мин, охлаждают до 180 °С, снова выдерживают до полного выделения пузырей газа и заливают в пресс-формы.

Растворимые модельные составы готовят сплавлением составляющих в тигельных электропечах. Перед расплавлением карбамид высушивают при температуре 100... 110 °С для удаления влаги. Высушенную соль расплавляют совместно с гидроксидом бора (пластификатором) в металлических тиглях из коррозионно-стойкой стали при температуре 120... 130 °С. Расплав фильтруют и заливают в пресс-формы. Высокая по сравнению с легкоплавкими составами теплопроводность модельного состава способствует быстрому затвердеванию моделей в пресс-форме. Процесс получения растворимых моделей менее длительный и малооперационный.

Карбамидные составы гигроскопичны, поэтому воздух в помещении, где модели должны храниться, должен быть сухим.

Выжигаемые модельные составы готовят перемешиванием гранул вспенивающегося полистирола со смачивателем и пластификатором. Вначале в гранулы вводят 10 %-ный спиртовой раствор бутилового эфира стеариновой кислоты (бутилстеарат) при содержании 0,03... 0,05 мас. % полистирола. После тщательного перемешивания вводят смачиватель — 0,01... 0,03 % 10 %-ного водного раствора полиэтиленоксида.

Качество моделей, а следовательно, и отливок, надежность технологических процессов изготовления моделей и оболочковых форм зависят от свойств модельных составов. Поэтому в процессе производства систематически контролируют свойства модельных составов.

Важнейшими показателями свойств модельных составов являются усадка, прочность, стойкость к деформациям при комнатной температуре, плавкость, твердость, зольность, термическое расширение, текучесть, содержание воздуха в пасте. Некоторые из перечисленных свойств определяют при разработке новых составов и исследованиях, в производстве чаще контролируют усадку, прочность на изгиб, содержание воздуха в пасте.

Усадку, %, модельного состава определяют по изменению длины образца в определенном интервале температур и вычисляют по формуле

$$y = [(h_0 - h)/h_0]100,$$

где h_0 и h — длина образца в начале испытания и в конце.

Изменение длины образца обычно определяют по методике НИИТавтопрома с помощью специального измерительного стен-

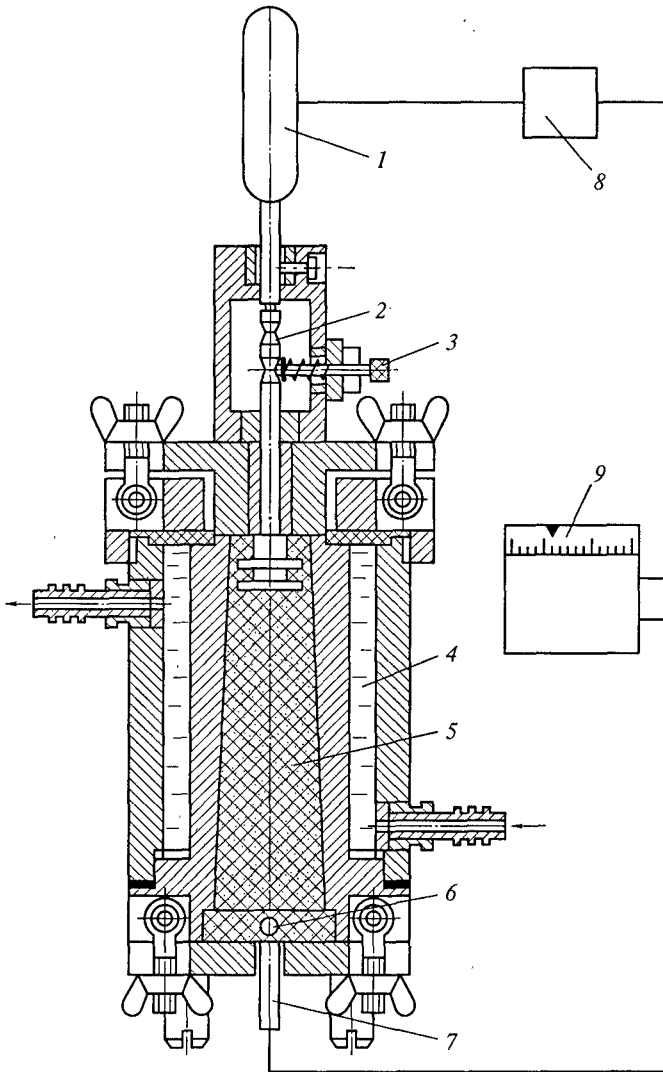


Рис. 1.6. Схема стенда для определения усадки модельного состава:

1 — датчик перемещения; 2 — захват; 3 — защелка; 4 — пресс-форма; 5 — рабочая полость пресс-формы; 6 — отверстие для запрессовки модельного состава; 7 — термопара; 8 — преобразователь; 9 — многоканальный регистрирующий прибор

да (рис. 1.6). Этот стенд состоит из охлаждаемой пресс-формы 4 для конического образца и регистрирующей аппаратуры. Захват 2 устанавливают в крайнее верхнее положение и фиксируют защелкой 3. При этом шток датчика перемещения 1 поджимается пружиной к захвату. В полость 5 пресс-формы запрессовывают модельный состав через отверстие 6 и отжимают защелку 3. Температуру образца фиксируют термопарой 7. Сигналы от датчика 1 через преобразователь 8 и от термопары 7 поступают на регистрирующий прибор 9. Запись сигналов продолжается до тех пор, пока показания прибора будут оставаться неизменными (около 30 мин). Усадка двух образцов от одной и той же пробы должна иметь колебания не более 0,08%, в противном случае испытания повторяют.

Прочность на изгиб определяют на образцах квадратного сечения 6×6 мм длиной 60 мм. Образцы изготовляют в специальной пресс-форме. Образцы могут испытываться только через 24 ч после изготовления. Испытания проводят при температуре 18...22 °С в течение не более 2 ч. Испытывают не менее шести бездефектных образцов, используя любую испытательную машину с ценой деления не более 0,5 Н, оснащенную специальным приспособлением. При испытаниях фиксируют нагрузку, вызвавшую разрушение образца, ширину и толщину образца в месте излома с точностью 0,01 мм. Далее по известным зависимостям определяют величину изгибающих напряжений в образце.

Содержание воздуха в пасте определяют по разности объемов испытуемого образца до и после расплавления, т.е. после удаления из него воздуха. Для этого в пресс-форме изготовляют цилиндрический образец. Погружая образец в мерный цилиндр с водой, определяют его объем. Затем образец вставляют обратно в пресс-форму и погружают ее в кипящую воду. Образец расплавляется и воздух из него удаляется. После затвердевания вновь определяют его объем. По разности объемов образца рассчитывают содержание воздуха в пасте, %:

$$a_v = [(V_v - V)/V_v]100,$$

где V_v и V — объемы образца соответственно с воздухом и без воздуха.

Плавокость, твердость, зольность модельных составов определяют по методикам, предусмотренным соответствующими нормативными документами.

Исследования воздушнонаполненных составов показали, что на величину и стабильность усадки влияют не только способ введения и количество воздуха, замешанного в модельный состав, но и характер распределения, а также размер газовых пузырей в объеме моделей. Резервы повышения точности моделей могут быть реализованы путем управления структурой модели.

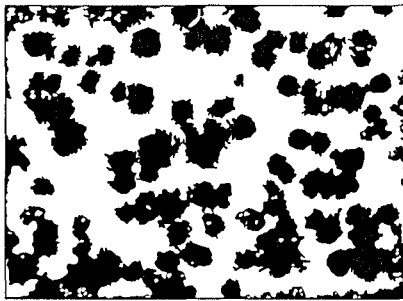


Рис. 1.7. Микроструктура выплавляемой модели (размер пузырей воздуха 30...50 мкм)

В МГТУ им. Н. Э. Баумана разработан один из способов изготовления выплавляемых моделей с повышенным (до 35 об. %) содержанием воздуха, который находится в диспергированном состоянии и равномерно распределен в объеме модели (рис. 1.7).

При запрессовке модельный состав транспортируется в полость пресс-формы под давлением. Это способствует тому, что воздушные включения при расширении компенсируют усадку охлаждающейся модели. Распределение по модели и объем воздуха в ней определяют эффективность этой компенсации.

Необходимым условием для требуемой воздушнонаполненности является поддержание модельного состава при определенной температуре во время его подготовки и запрессовки в полость пресс-формы. Это ограничение обусловлено вязкостью, при которой возможны интенсивное замешивание воздуха в модельный состав и его диспергирование, а также устойчивость состава после завершения перемешивания. Для легкоплавких модельных составов Р-3 и МВС-3А температура подготовки должна соответствовать $(0,7...0,72)t_{пл}$ (где $t_{пл}$ — температура плавления модельного состава, °С), так как время, затрачиваемое при этом на насыщение модельного состава воздухом и его диспергирование, минимально. В зависимости от состава и температуры, массы модельного состава, конструкции и мощности смесителя это время составляет 5...10 мин.

Эффективная вязкость двухфазной системы воздух—модельный состав ниже вязкости компактного модельного состава при данной температуре, что позволяет заполнять узкие полости пресс-форм при пониженном давлении запрессовки 0,08...0,2 МПа.

Для реализации способа изготовления воздушнонаполненных выплавляемых моделей может быть применена конструкция установки с использованием в качестве смесителя быстроходного конусного агрегата, вращающегося при числе оборотов до 1500 мин^{-1} (рис. 1.8). Модельный состав перемещается в рабочей камере смесителя как в окружном направлении, так и по сложной тороидальной поверхности в результате взаимодействия модельного состава с боковыми лопастями. Это обеспечивает режим перемешивания модельного состава, близкий к объемному, высокую производительность замешивания воздуха и его диспергирования.

Запрессовка подготовленного модельного состава осуществляется подачей сжатого воздуха в камеру смесителя или вручную. Конст-

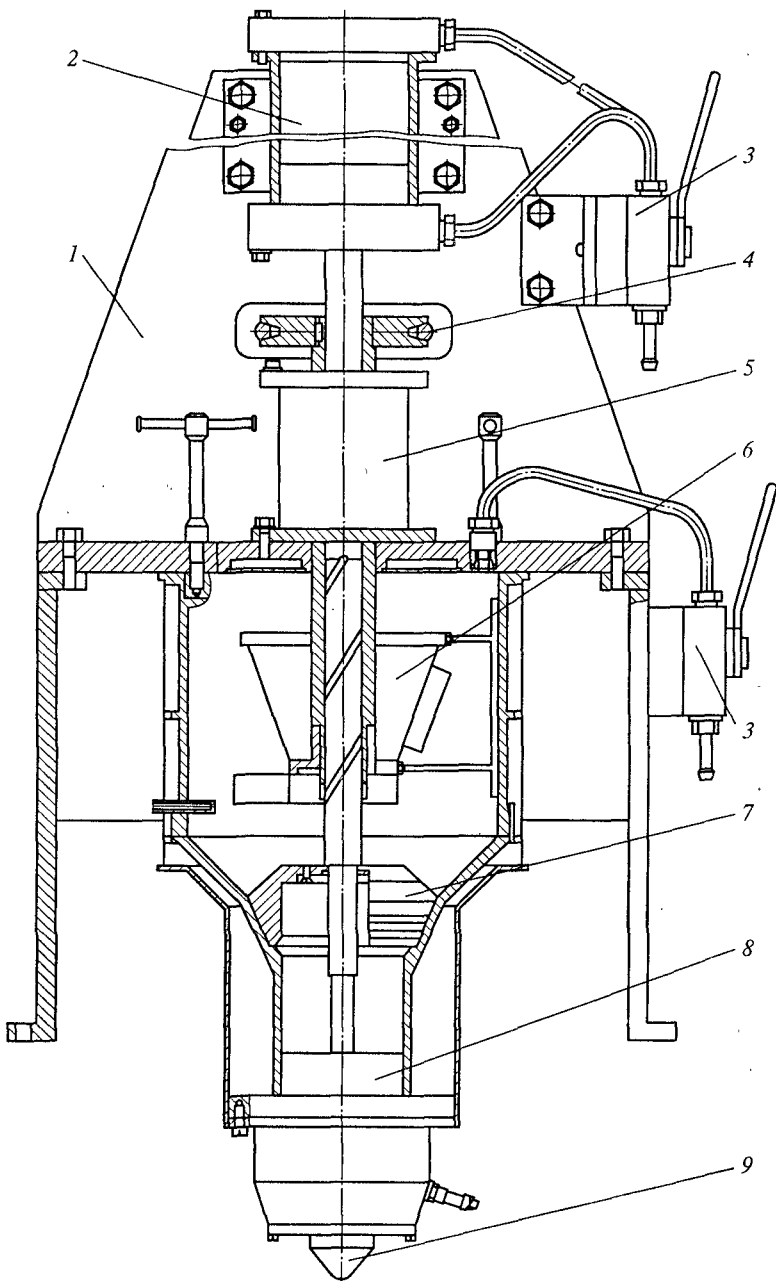


Рис. 1.8. Быстроходный конусный смеситель периодического действия:
 1 — станина; 2 — привод механизма запрессовки; 3 — распределители; 4 —
 приводной шкив; 5 — опорный узел; 6 — смеситель; 7 — поршень-разделитель;
 8 — поршень для запрессовки модельного состава; 9 — клапан

рукция установки позволяет использовать дополнительные устройства для механизированного выполнения других операций технологического процесса изготовления моделей.

Изготовление выплавляемых моделей осуществляется в условиях, подобных процессу литья под давлением. Действительно, поток материала принудительно транспортируется через систему каналов в замкнутую технологическую емкость — пресс-форму, которой отдает избыточную теплоту и которая, в свою очередь, формирует размер модели. Исходя из теории и практики этого процесса (см. гл. 3) для обеспечения качества выплавляемых моделей необходимо иметь представление о взаимосвязи конструкции литниково-питающей и вентиляционной систем, режимов течения материала с наличием или отсутствием дефектов моделей. Главная задача — сохранение заранее подготовленной структуры состава в моделях.

Анализ структуры модельного состава, подготовленного в шестеренном смесителе, показал, что распределение пузырей воздуха достаточно равномерное. В то же время в готовых моделях (после транспортирования по пастопроводу к автомату мод. 653) в отдельных случаях отмечены грубые включения воздушных пузырей, расположенные в объеме модели совершенно произвольным способом и свидетельствующие о неправильном назначении режимов подачи и запрессовки состава в пресс-форму, приводящих к высокой турбулентности потока (пасты) и появлению крупных воздушных включений в моделях.

Скоростная киносъемка (2000 кадров/с) процесса заполнения прозрачной пресс-формы подготовленным модельным составом показала (рис. 1.9, а), что при использованной конструкции литниковой и вентиляционной системы поток имеет высокую турбулентность. В модели образуются крупные воздушные пузыри даже в случае запрессовки модельного состава, в котором воздух находился на начальном этапе процесса в виде пузырей размером 20...30 мкм, равномерно распределенных в объеме материала.

Снижение скорости запрессовки устраняет такие дефекты в модели. Съемка показала (рис. 1.9, б), что заполнение пресс-формы в данном случае происходит сплошным потоком при направленном вытеснении воздуха из полости пресс-формы.

С целью определения размеров пузырей в модельном составе исследована микроструктура моделей. Образцы готовили с помощью микротомы в виде тонких срезов толщиной 0,1 мм. Микроструктура одного из образцов была приведена ранее (см. рис. 1.7). По фотографиям микроструктуры определены размеры пузырей на разных участках модели.

Статистическая обработка результатов измерений показала, что при среднем размере пузырей 25...30 мкм они распределены по сечению образца неравномерно. На участке образца, прилегающем к пресс-форме, вероятно, вследствие намораживания мо-

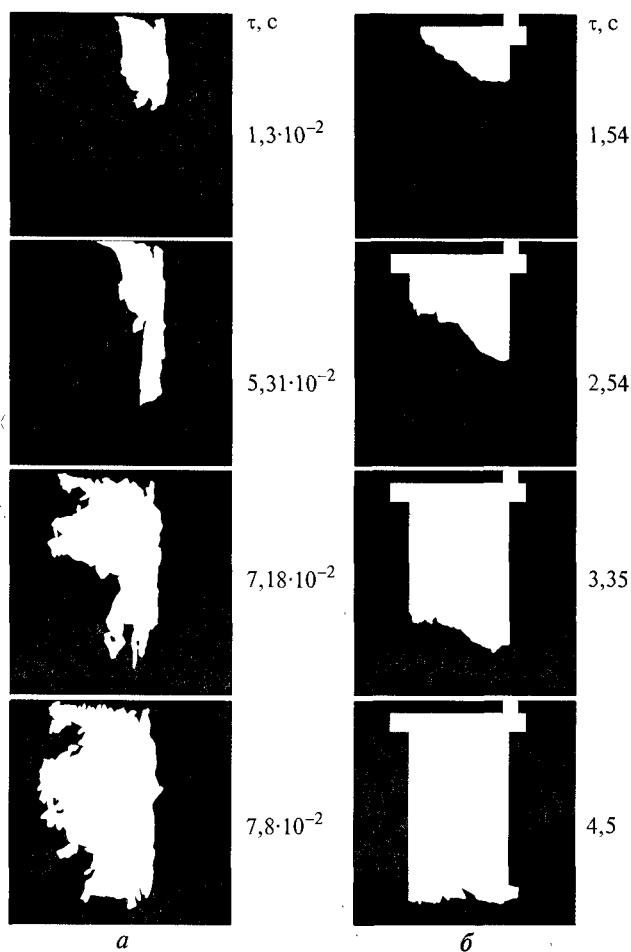


Рис 1.9. Кинограммы заполнения полости пресс-формы модельным составом:

a — 2000 кадров/с; *б* — 24 кадра/с

дельного состава средний размер пузырей менее 10 мкм, что свидетельствует о наличии в модели плотной корки, сообщающей поверхности модели более высокую твердость. Такой эффект наблюдается на моделях из пенополистирола, изготавливаемых на термопластавтоматах, и положительно действует на эксплуатационные характеристики моделей.

Измерения температуры теплоустойчивости моделей с повышенным содержанием воздуха выполнены по методике НИИТавтопрома, в качестве средства измерения прогиба образца применялся измерительный микроскоп с ценой деления 0,01 мм. Тем-

температура теплоустойчивости модельного состава МВС-3А, содержащего 35 об. % воздуха, составила 40,8 °С, что соответствует техническим условиям на данный модельный состав.

Применение модельного состава МВС-3А с содержанием воздуха 35 об. % опробовано при изготовлении партии тонкостенных отливок из жаропрочных сплавов со средней толщиной стенки 1,5 мм и с закладными стержнями из электрокорунда. Модельный состав запрессовывали в охлажденную ниже 15 °С пресс-форму. Готовые модели напайвали на стояки, дальнейшие операции выполняли по технологии МПО «Салют». Отливки признаны годными.

Очевидно, это связано с тем, что усадка модельного состава МВС-3А, подготовленного по обычной технологии, составляет от 0,8 до 1,2 % (содержание воздуха минимальное). При содержании воздуха 35 % и давлении запрессовки 0,25 Н/мм² усадка составляет (0,46 ± 0,04) %, а прочность при испытании по схеме трехточечного изгиба (образец 6 × 6 × 50 мм) 1,7 Н/мм².

Изготовление моделей. Процесс изготовления моделей включает в себя подготовку пресс-формы, заполнение пресс-формы модельным составом, выдержку для затвердевания и охлаждения модели, разборку пресс-формы и извлечение модели, выдержку модели до окончания усадки.

При подготовке пресс-формы ее рабочую полость и поверхность разъема очищают от остатков модельного состава, наносят на поверхность рабочей полости смазочный материал (трансформаторное масло) или распыляют сжатым воздухом эмульсию (касторовое масло и спирт в соотношении 1 : 1 по массе). Смазочный материал должен быть нанесен ровным слоем.

Получение качественных моделей зависит от температуры пресс-формы. При температуре ниже оптимальной модель имеет спаи, недоливы; при превышении оптимальной температуры увеличивается длительность цикла изготовления модели, возрастает усадка модели. Каждому модельному составу соответствует интервал температур пресс-формы, при котором получают качественные модели. Для типа парафин-стеариновых составов этот интервал 22... 27 °С.

Заполнение пресс-форм модельным составом в производстве чаще всего осуществляют свободной заливкой и заливкой под давлением жидкого модельного состава, а также запрессовкой пастообразного модельного состава. Реже используют запрессовку твердого модельного состава в пресс-формы.

Свободной заливкой изготавливают модели из легкоплавких, тугоплавких, растворимых модельных составов. Литниковые каналы пресс-формы должны быть короткими с большой площадью поперечного сечения. Для хорошего заполнения пресс-формы температура легкоплавких модельных составов должна поддерживаться в пределах: 80... 90 °С при изготовлении крупных моделей и моделей сложной конфигурации, 70... 75 °С при изготовлении моделей

Рис 1.10. Схема устройства для за-
прессовки жидкого модельного со-
става:

1 — пресс; 2 — поршень; 3 — запрес-
совочное устройство; 4 — жидкий модель-
ный состав

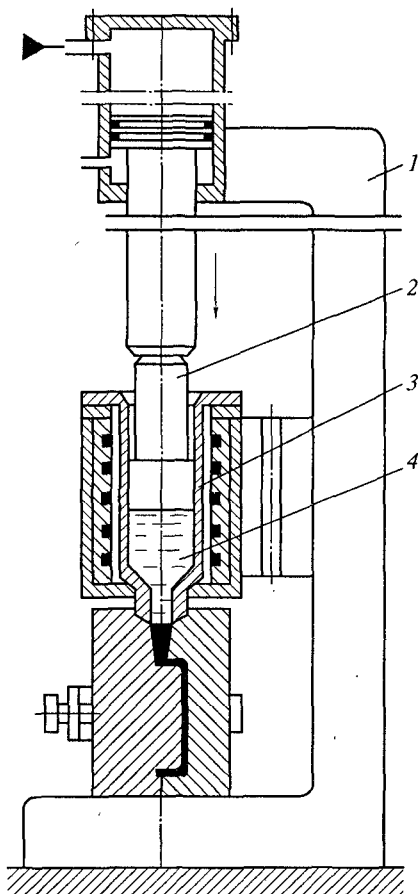
средних размеров и сложности
(температуры указаны для соста-
вов, подготовленных по обычной
технологии).

Способ свободной заливки
моделей редко применяют для
модельных составов с повыше-
нной усадкой из-за образова-
ния усадочных дефектов в моделях,
но широко используют для изго-
товления моделей из раство-
римых карбамидных и солевых
составов, обладающих малой
усадкой. Способ применяют в
единичном и серийном произ-
водстве, так как он прост в ис-
полнении.

Заливку под давлени-
ем жидкого модельного состава
в пресс-форму применяют при
изготовлении сплошных и пус-
тотелых моделей. Давление на
модельный состав осуществляют
поршнем или сжатым воздухом.

Используют рычажные, винтовые, пневматические и гидравлические прессы (рис. 1.10). Пресс 1 создает давление на поршень 2 запрессовочного устройства 3, в котором находится жидкий модельный состав 4. Способ заливки под давлением позволяет получать точные модели без усадочных дефектов из составов с пониженной жидкотекучестью, например составов с церезином КПсЦ и парафином КПсП в условиях серийного и массового производства.

Модели из вспенивающегося полистирола изготавливают на термопластавтоматах (рис. 1.11). В обогреваемый цилиндр 1 машины загружают предварительно подготовленный модельный состав в виде гранул 2. Гранулы, расплавляясь, образуют пену, состоящую из расплавленного полистирола и паров изопентана. Пена впрыскивается прессующим поршнем 3 под давлением 80... 100 МПа в полость пресс-формы 4. Расплавленный полистирол образует на стенках заполняющейся пресс-формы тонкую (0,2... 0,5 мм) пленку, которая при дальнейшем движении поршня 3 отслаивается от стенок пресс-формы 4 и скатывается в виде тонких листов.



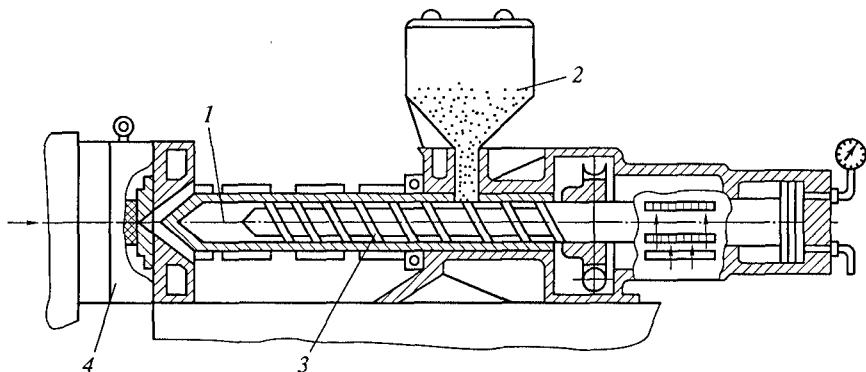


Рис. 1.11. Схема установки для изготовления пенополистироловых моделей под давлением:

1 — рабочий цилиндр; 2 — гранулы полистирола; 3 — прессующий поршень; 4 — пресс-форма

0,3 мм) плотную глянцевую корочку, внутри которой происходит затвердевание пены. При этом усадка моделей компенсируется давлением паров изопентана. После затвердевания пресс-форму раскрывают и модели извлекают. Модели из вспенивающегося полистирола имеют плотность $0,24 \dots 0,3 \text{ г/см}^3$, достаточную прочность, малую усадку.

Основное преимущество этого способа заключается в том, что при изготовлении модели в одном компактном агрегате одновременно осуществляются процессы приготовления модельного состава и изготовления моделей. При этом сокращается число единиц оборудования для изготовления моделей, экономятся производственные площади. Высокая термоустойчивость (80°C) моделей, небольшая плотность, малая усадка дают возможность получать точные отливки. Этот способ является одним из перспективных для получения моделей средней сложности и небольших размеров в массовом и крупносерийном производстве.

Изготовление моделей *з а п р е с с о в к о й* из пастообразного состава под давлением поршня может осуществляться ручными и автоматическими шприцами. В серийном производстве используют ручные шприцы (рис. 1.12), а в массовом — автоматические (рис. 1.13). Модельный состав по трубопроводу 1 заполняет полость 2. Поршень 7 пневмоцилиндром 9 отводится в крайнее левое положение. Крышка 8 отходит от поршня 7 при сжатии пружины 3, и модельный состав по каналам 6 поступает в левую часть полости 2. В это же время пружина 10 сжимается и цилиндр 11 перемещается влево; происходит отделение запрессовочного устройства от пресс-формы.

При обратном ходе поршня 7 запрессовочное устройство поджимается к пресс-форме пружиной 10, затем крышка 8 перекрывает

Рис. 1.12. Схема устройства ручного шприца для запрессовки пастообразных модельных составов:

1 — рукоятка; 2 — пружина; 3 — золотник; 4 — модельный состав; 5 — корпус; 6 — пресс-форма

каналы 6 и поршень 7 выдавливает модельный состав через отверстия 4 в пресс-форму. После заполнения пресс-формы излишки модельного состава поступают в левую часть полости 2 через обратный клапан 5 и отверстие в штоке поршня.

Автоматические шприцы обычно устанавливаются на карусельных автоматах для изготовления моделей. Этот способ широко используется для изготовления моделей средних сложности и размеров из легкоплавких модельных составов в массовом и серийном производстве.

Размеры моделей при охлаждении и даже после извлечения моделей из пресс-формы изменяются из-за продолжающейся усадки модельного состава. Если на поверхность модели нанесена суспензия, то вследствие усадки модели может произойти растрескивание созданной оболочки и ее отслаивание от модели. Поэтому для изготовления форм можно использовать только те модели, усадка которых завершена полностью. Для ускорения данного про-

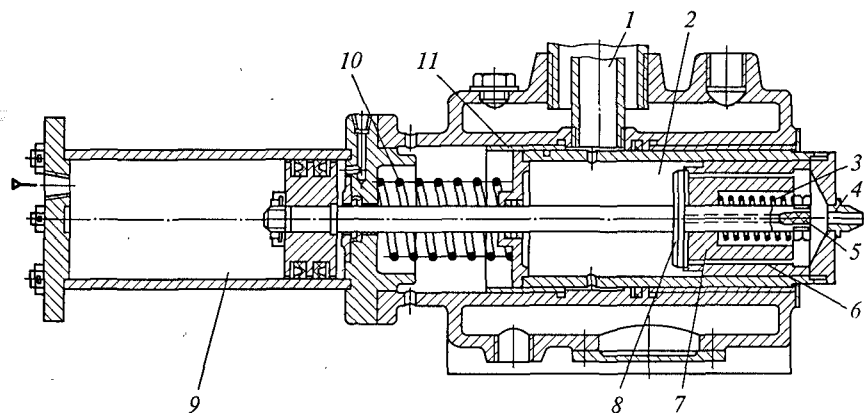
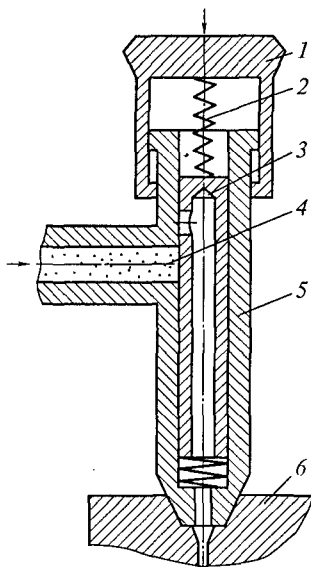


Рис. 1.13. Схема устройства автоматического шприца для запрессовки пастообразных модельных составов:

1 — трубопровод; 2 — рабочая полость; 3 — пружина клапана; 4 — выпускное отверстие; 5 — обратный клапан; 6 — подводный канал; 7 — поршень; 8 — крышка; 9 — пневмоцилиндр; 10 — прижимная пружина; 11 — рабочий цилиндр

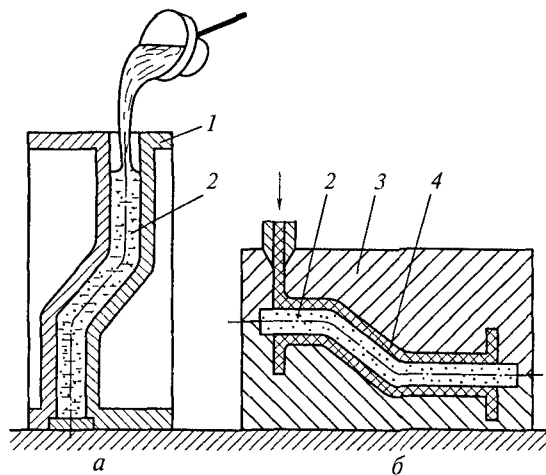


Рис. 1.14. Изготовление модели с растворимым стержнем:

а — заливка стержневого ящика; *б* — запрессовка модельного состава в пресс-форму; 1 — стержневой ящик; 2 — стержень; 3 — пресс-форма; 4 — модель

цесса мелкие несложные модели охлаждают в проточной воде или сжатым воздухом. При использовании воды последняя и охлаждает модели, и одновременно транспортирует их к месту сборки в блоки. Крупные модели так охлаждать нельзя, так как при ускоренном охлаждении возникнут неравномерности температур, которые приведут к внутренним напряжениям и, как следствие, к короблению. Поэтому крупные модели охлаждают медленно на воздухе в течение не менее 3 ч.

Существуют особые способы изготовления моделей, с помощью которых можно изготавливать сложные модели с полостями, отверстиями с криволинейной осью, выступающими тонкими частями. Например, используют разделение модели на части, получаемые в разных пресс-формах, с последующей сборкой модели в единое целое. Используют также растворимые карбамидные стержни, керамические стержни и гибкие резиновые пресс-формы.

Растворяемые карбамидные стержни изготавливают в металлических ящиках (рис. 1.14, *а*). После затвердевания и охлаждения стержень извлекают из ящика и по знакам устанавливают в пресс-форму для получения модели (рис. 1.14, *б*). Модель изготавливают из любого состава, нерастворяемого в воде и имеющего более низкую температуру плавления, чем состав карбамид-гидроксид бора. Модель со стержнем погружают в горячую воду, стержень растворяется, а в модели образуется полость требуемой конфигурации.

Для технологических целей модели собирают в блоки. Блок моделей называют модель отливки, соединенную в одно

Рис. 1.15. Сборка моделей в блок на стояке-каркасе:

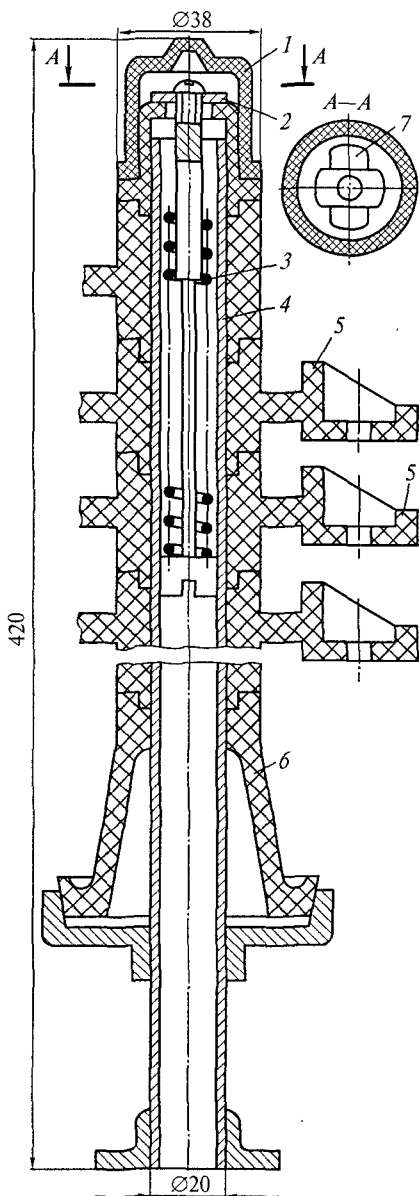
1 — колпачок; 2 — шпилька; 3 — пружина; 4 — стояк-каркас; 5 — звенья моделей; 6 — модель литниковой чаши; 7 — паз

целое с моделью литниковой системы. Сборку осуществляют пайкой в кондукторах, механическим скреплением, склеиванием.

Пайку применяют в единичном и серийном производствах. Для этого используют электрические паяльники с плоским широким жалом. Модели элементов литниковой системы изготавливают в пресс-формах (для стояков, прибылей и т. д.). Сборка в кондукторах обеспечивает точное взаимное расположение модели и литников. Модель и, например, стояк помещают в кондуктор, а место соединения заливают расплавленным модельным составом. Применение этого способа ограничено из-за высокой стоимости кондукторов, обычно его применяют для сборки в блоки моделей из плохо припаяющихся составов, например состава с церезином К50Пс30Ц20 (см. табл. 1.1).

Сборку моделей механическим скреплением широко применяют в условиях крупносерийного и массового производства.

Звенья моделей изготавливают в многоместных (двух-, трех-, четырехместных и т. д.) пресс-формах. Звено состоит из моделей отливок, питателей и центрального кольца (секции модели стояка). Перед сборкой (рис. 1.15) на стояк-каркас 4 нанизывают модель 6 чаши и звенья 5 моделей. Затем нажимают на каркас, при этом сжимается пружина 3 и стержень с поперечной шпилькой 2 выходит из трубы. На стержень надевают колпачок 1, покрытый модельным составом. Колпачок поворачивают на 90° , шпилька 2 за-



ходит в паз 7 колпачка. Затем снимают давление со стояка-каркаса, пружина разжимается и колпачок стягивает звенья моделей.

Сборку с клееванием применяют редко, в основном для моделей из пенополистирола в единичном производстве отливок.

1.4. Изготовление оболочковых форм

Требования к формам. Оболочковая форма должна отвечать следующим требованиям: обладать достаточной прочностью, выдерживать динамический и статический напоры расплава, не деформироваться при заливке, затвердевании и охлаждении отливки; быть огнеупорной, т.е. не разупрочняться при прокаливании и особенно при заливке; иметь газопроницаемые стенки, чтобы в полостях формы не возникло противодавление воздуха (такое явление приводит к браку отливок по недоливу); быть химически инертной к модельному составу и металлу отливки; иметь достаточную податливость, чтобы не препятствовать усадке сплава; обеспечивать получение отливок с поверхностью требуемой шероховатости и высокой точности размеров, массы и конфигурации.

Материалами керамической оболочковой формы являются огнеупорная основа (две фракции — пылевидная менее 0,05 мм и «грубая» 0,1...0,3 мм) и связующее.

По химическому составу огнеупорных материалов керамические оболочковые формы разделяют на оксидные и углеродные. В свою очередь, оксидные материалы форм по химическому составу разделяют на кислые, основные, амфотерные.

Кислые оксидные материалы форм на основе кристаллического кварца (SiO_2) применяют наиболее широко. Они наиболее дешевы, недефицитны, используют их в массовом и крупносерийном производстве отливок средней сложности массой до 3...5 кг из углеродистых и низколегированных сталей.

Основные оксиды — MgO , CaO — применяют редко, только в производстве отливок из сплавов, химически высокоактивных к кислотным оксидам в жидком состоянии.

Амфотерные материалы на основе оксида алюминия Al_2O_3 широко применяют при изготовлении отливок из жаропрочных и антикоррозионных сплавов.

Углеродные формы применяют при изготовлении отливок из титановых сплавов.

Конструкция формы. Оболочковые формы, упрочненные сыпучим огнеупорным материалом, наиболее часто используют в производстве (рис. 1.16, а). Преимущества таких форм заключаются в том, что их использование не связано с выполнением высоких требований по прочности и термостойкости к собственно оболочковой форме. Их конструктивное решение исклю-

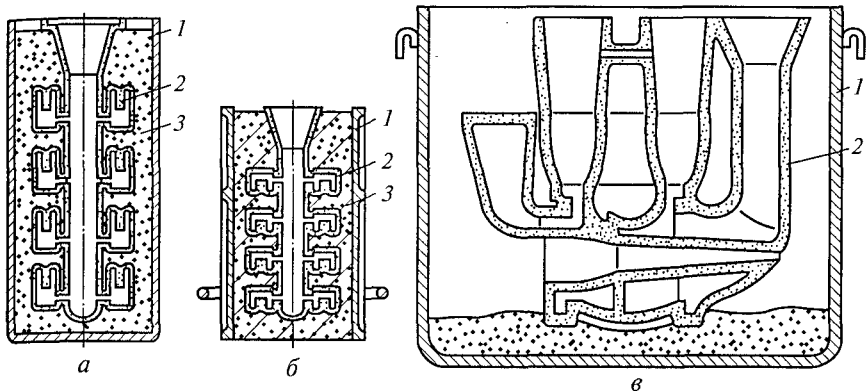


Рис. 1.16. Конструкции оболочковых форм:

а — с сыпучим опорным материалом; *б* — с прочным опорным материалом; *в* — истинно оболочковая форма; 1 — контейнер; 2 — оболочка; 3 — опорный материал

чает резкое охлаждение формы после прокалки перед заливкой. Оболочковую форму после удаления модели прокаливают, помещают в нагретый сыпучий огнеупорный материал, что позволяет снизить длительность операции прокаливания и энергозатраты на ее осуществление. Для уменьшения времени охлаждения оболочки и отливки до температуры выбивки после затвердевания залитого металла оболочку извлекают из опорного материала. В качестве опорных материалов используют кварцевый песок, шамотную крошку, бой форм. Способ используют в массовом производстве отливок небольших размеров.

При изготовлении оболочковых форм с прочным опорным материалом (рис. 1.16, *б*) оболочку помещают в опоку, в которую заливают жидкую смесь со связующим на основе цемента или жидкого силикатного стекла (ЖС). Иногда добавляют борную кислоту (рекомендуется современное название «гидроксид бора») или буру, которые при прокаливании форм способствуют упрочнению опорного материала, уменьшению давления на оболочку. Модель удаляют до или после упрочнения. Такой способ применяют в серийном производстве отливок, к которым предъявляются повышенные требования по точности размеров и геометрической точности. Процесс изготовления отливок данным способом длительный и энергоемкий, поэтому его используют редко.

Истинно оболочковую форму (рис. 1.16, *в*) прокаливают и заливают без опорных материалов, при этом сокращается продолжительность прокаливания форм, упрощается их выбивка. В направлении совершенствования и расширения использования

данного наиболее скоростного и наименее энергоемкого способа ведутся исследовательские работы.

Материалы для изготовления форм. Для изготовления оболочковой формы используют следующие огнеупорные материалы: мелкодисперсную основу суспензии, обсыпку и опорный материал. Общими требованиями к огнеупорным материалам для оболочковых форм являются: высокая огнеупорность (как правило, не ниже 1500°C); низкий температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР); отсутствие полиморфных превращений при нагревании и охлаждении; химическая стойкость при нагревании.

Не все огнеупоры удовлетворяют этим требованиям. Например, наиболее дешевый и недефицитный материал — кварц кристаллический, обладая достаточно высокой огнеупорностью, при нагревании претерпевает ряд полиморфных превращений, сопровождающихся объемными изменениями. Это является причиной образования в оболочках трещин и, как следствие, брака отливок.

Огнеупорные материалы различаются по размерам зерен. Обычно в суспензию вводят мелкозернистые огнеупоры — размер фракций $0,05 \dots 0,063$ мм. Для обсыпки применяют зернистые огнеупоры фракций $0,2 \dots 0,315$ мм для первого и второго слоев покрытия, $0,63$ мм для последующих слоев. В качестве опорного материала применяют огнеупоры более крупных фракций — крошку размером зерен $1 \dots 3$ мм. Материалы, используемые для изготовления оболочковых форм, и их свойства приведены в табл. 1.2.

Кварц SiO_2 — минерал с кристаллической структурой, плотностью 2650 кг/м^3 . Температура плавления 1713°C . Для изготовления оболочковых форм применяют пылевидный кварц природный и искусственный, кварцевые пески марок 1K_1 или 1K_2 (ГОСТ 29234.3—91), содержащие не менее 98% SiO_2 . При нагреве кварц претерпевает полиморфные превращения при 573°C ($\beta_{\text{кв}} \rightleftharpoons \alpha_{\text{кв}}$) и 1470°C (α -тридимит \rightleftharpoons α -кристобалит). Среднее значение ТКЛР в интервале температур $20 \dots 1200^{\circ}\text{C}$ составляет $(10 \dots 12) \cdot 10^{-6} \text{ 1/К}$. При нагреве до 573°C кварц расширяется и его линейные размеры увеличиваются на $1,4\%$.

В интервале температур $1470 \dots 1600^{\circ}\text{C}$ отмечено интенсивное расширение кварца на величину около $2,8\%$. Высокое и неравномерное значение ТКЛР кварца служит причиной низкой термической стойкости оболочковых форм, в которых этот минерал использован и в суспензии, и как обсыпочный материал.

Пы л е в и д н ы й кварц — огнеупорная основа суспензии. Используют его в виде природного (маршаллита) и искусственного материала. Маршаллит содержит $96 \dots 98\%$ SiO_2 . Этот полифракционный материал, имеющий нестабильный химический состав, содержит органические примеси. Искусственный пылевидный кварц

Таблица 1.2

Физико-химические свойства материалов основы оболочки

Материал	Химические свойства*1	Температура плавления $t_{пл}$, °С	Плотность ρ , кг/м ³	ТКЛР $\alpha \cdot 10^6$, 1/К	Условная стойкость в вакууме, баллы*2	Удельная поверхность пылевидного материала*3, см ² /г
Кварц	К	1713	2650	—	2	4000...6000
Дистенсиллиманит	КС	1575	3250	—	2	5000...6000
Циркон	КС	—	4500	5,1	3	7000...8000
Высокоглиноземистый шамот (муллит)	А	1810	3000	5,3	4	6000...7000
Электрокорунд (белый)	А	2120	4000	8,6	4	6000...7000
Диоксид циркония стабилизированный	А	2690	5730	7,2	5	8000...9000
Оксид магния (магнезит)	О	2800	3570	13,5	1	5000...6000
Шпинель	ОС	2135	3560	7,6	4	5000...6000
Оксид кальция спеченный	О	2600	3320	13	5	Около 5000

*1 Обозначения: К — кислый, КС — слабокислый, А — амфотерный, О — основной, ОС — слабоосновный.

*2 Балл 1 соответствует самой низкой стойкости.

*3 Размер зерен обсыпочногo материала в первом слое — 0,1...0,2 мм, в следующих — 0,315...0,63 мм.

получают измельчением кварцевого песка в струйных пневматических мельницах. После измельчения пылевидный кварц марки ПК-2 содержит до 0,4% Fe, которое в суспензии необходимо нейтрализовать введением H_2SO_4 . Осколочная форма частиц искусственного пылевидного кварца струйного измельчения не способствует достижению высокой прочности оболочки.

Кварцевый песок, применяемый для обсыпки слоя суспензии, должен содержать минимальное количество примесей: для первых двух слоев оболочки можно применять песок марок $1K_1O_1016$ и $1K_1O_102$, а для последующих слоев — более грубозернистый марок $1K_1O_303$, $2K_2O_303$ (ГОСТ 29234.3—91). При этом оболочка получается более прочной и термостойкой.

Вредными примесями в кварцевых песках являются оксиды железа, щелочных и щелочно-земельных металлов, снижающие огнеупорность кварца.

Плавленный кварц не испытывает полиморфных превращений, его ТКЛР ($0,5 \cdot 10^{-6}$ 1/К) почти в 20 раз меньше, чем у кристаллического кварца. Плавленный кварц дорог и дефицитен, его производство связано со значительными энергозатратами. Однако использование его для оболочковых форм перспективно и постоянно расширяется, так как позволяет повысить надежность процесса, получить истинно оболочковые формы и точные отливки.

Высокоглиноземистый шамот $3Al_2O_3 \cdot SiO_2$ — химически и термически стойкий материал, не имеющий полиморфных превращений. Получают этот материал обжигом огнеупорной глины и последующим дроблением и рассевом на фракции. В качестве пылевидной фракции используют тонкоизмельченный шамот, а для обсыпки — шамот обычно двух фракций (0,315 и 0,63 мм). Применение шамота приводит к снижению брака, повышению точности размеров отливок.

Электрокорунд ($\alpha-Al_2O_3$) — высокоогнеупорный, химически и термически стойкий материал. Температура его плавления $2120^\circ C$, он амфотерен. Суммарное расширение при нагреве от 20 до $2000^\circ C$ составляет 2%. Различают нормальный и белый электрокорунды, содержащие соответственно до 6 и до 1,5% примесей. Для первых слоев формы используют белый электрокорунд, для последующих — нормальный. Благодаря применению электрокорунда можно надежно заливать металл в формы без использования опорных материалов. Электрокорунд дорог и дефицитен, поэтому его применяют, главным образом, при производстве отливок ответственного назначения.

Циркон $ZrSiO_4$ используют в качестве огнеупорной основы суспензии и как обсыпочный материал. Диссоциирует он при температуре $1800^\circ C$ на воздухе, при $1540^\circ C$ в вакууме. Этот дорогой и дефицитный материал имеет ограниченное применение.

Оксид магния MgO целесообразно использовать при производстве отливок из высокомарганцовистых сталей.

Оксид кальция CaO обладает высокой химической стойкостью к расплавам титана, платины, урана. Оксиды магния и кальция на воздухе гидратируются и карбонизируются, поэтому формы, стержни хранят при повышенных температурах или в герметической упаковке.

Пористые материалы для термостойких керамических форм. Одна из распространенных причин брака отливок — разрушение оболочковых форм при заливке, что связано с их недостаточной термостойкостью. Эту проблему решают путем изменения структуры материала формы (рис. 1.17, *a—e*). Приведем примеры заводских вариантов многослойных оболочек: четыре слоя на ЭТС и один слой на ЖС (Ижевский машиностроительный завод); два слоя на ЭТС и два слоя на ЖС (Харьковский тракторный завод, Украина); пять слоев на ЭТС и отсутствует или один слой на ЖС (Рязанский центролит). Известно, что в материале, обладающем низкой термостойкостью, процесс катастрофического развития трещин может быть предотвращен увеличением размера пор, например, путем увеличения размера зерна огнеупорной основы. Этот принцип реализован в МГТУ им. Н. Э. Баумана путем использования пористых зерновых огнеупоров в качестве обсыпочногo материала форм, что позволило получать оболочковые керамические формы, обладающие высокой термостойкостью (см. рис. 1.17, *e*).

В качестве пористых обсыпочных материалов предложены пеношамот (отходы производства огнеупоров), керамзит, аглопорит, зольный гравий. Последние материалы получают из золы уноса ТЭЦ. В России ежегодный выход золы составляет более 50 млн т,

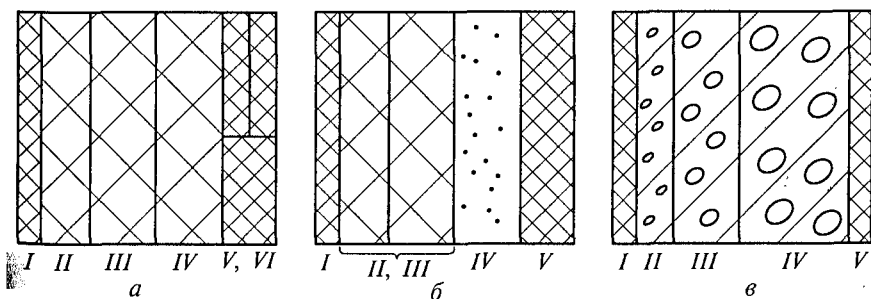


Рис. 1.17. Конструкции керамических многослойных оболочек:

a — стандартная керамика: *I* — облицовочный слой; *II—IV* — основные слои на этилсиликате (ЭТС); *V, VI* — упрочняющие слои на основе жидкого стекла (ЖС); *b* — по Писареву: *I* — облицовочный слой; *II—III* — основные слои на ЭТС; *IV* — слой с включением пластичной фазы; *V* — упрочняющий слой; *e* — вариант МГТУ им. Н. Э. Баумана: *I* — облицовочный слой; *II—IV* — основные слои с пористым огнеупором (в соответствии с увеличением размера пор и зерен огнеупора); *V* — упрочняющий слой без обсыпки

утилизация которых представляет техническую, экономическую и экологическую проблемы. Возможно также использование отходов ваграночного и доменного производств, например измельченной шлаковой пемзы для отливок из легкоплавких сплавов.

Одно из важных преимуществ применения пористых огнеупорных материалов — развитая поверхность, низкая кажущаяся плотность ($0,4 \dots 1,7 \text{ г/см}^3$). Это позволяет единице массы связующего удерживать звено большого размера и тем самым за один прием наращивать бóльшую, чем обычно, толщину слоя оболочки.

Формы, изготовленные с применением пористых огнеупоров, имеют гораздо более высокую термостойкость (меньшую потерю прочности), чем формы, изготовленные из традиционных материалов. Более высокую термостойкость форм, изготовленных с использованием пористых огнеупоров, можно объяснить тем, что образующиеся микротрещины в этом случае не распространяются по всему материалу, так как напряжение, сконцентрированное в конце трещины, локализуется в порах оболочки. Высокая термостойкость таких оболочек позволяет сократить время, необходимое для их прокаливания. Газопроницаемость форм повышается в 2—2,5 раза.

При заливке форм без опорного материала значительно (в 4—5 раз) сокращается продолжительность затвердевания и охлаждения отливки до температуры выбивки, что также способствует получению мелкозернистой структуры отливок и сокращению времени химического взаимодействия между металлом и формой. Последнее проявляется в уменьшении степени обезуглероживания поверхностного слоя отливок.

Возможными областями эффективного применения дешевых и недефицитных пористых огнеупоров являются:

1) применение в качестве обсыпочногo материала при многослойном формообразовании, т. е. при традиционной структуре процесса литья по выплавляемым моделям;

2) использование в качестве огнеупорного наполнителя блочных керамических форм и стержней;

3) применение в качестве опорного материала при заливке оболочковых форм в опоках стационарным или центробежным способом;

4) использование в качестве вентиляционных вставок многослойных форм литья по выплавляемым моделям при производстве тонкостенных отливок сложной конфигурации;

5) использование в качестве компонентов формовочных и стержневых смесей при литье в песчаные формы.

Связующие. Собственно связующим керамической оболочковой формы служит тугоплавкий оксид (SiO_2 , Al_2O_3 и др.), образующийся из элементоорганических соединений или неорганических солей металлов.

Рассмотрим требования к связующим. Связующие должны обладать следующими свойствами: смачивать поверхность модели; не растворять модель и не вступать в химическое взаимодействие с составляющими модельного состава; иметь достаточно высокую вязкость с целью получения седиментационно устойчивой суспензии; обладать высокой адгезионной способностью к оксидным огнеупорам в суспензии и обсыпчным материалам. Кроме того, оксиды связующего и обсыпчных материалов не должны создавать легкоплавких эвтектик, снижающих термохимическую устойчивость формы, и должны быть инертны к заливаемым сплавам и присутствующим в них оксидам.

Свойства некоторых наиболее широко используемых материалов для приготовления связующих приведены в табл. 1.3. Наибольшая прочность оболочки достигается в том случае, если связующее и огнеупорная основа формы имеют одинаковый химический состав или близкие по размерам параметры кристаллической решетки материалов. Однако допустимы и другие сочетания. Наиболее часто в практике литья по выплавляемым моделям встречаются, например, сочетания SiO_2 из связующего этилсиликата и SiO_2 или Al_2O_3 из материалов зерновой основы. По причине различия ТКЛР связующего SiO_2 и огнеупорной основы Al_2O_3 прочность формы в момент заливки ниже, чем при использовании кварцевого песка.

Растворители. При приготовлении связующих из этилсиликата, азотнокислых и алюмофосфатных солей применяют органические растворители. Наиболее широко применяют ацетон, спирт этиловый (ректификат, сырец, гидролизный), эфиральдегидную фракцию (ЭАФ, содержит 87% этилового спирта, остальное — альдегиды, эфиры, метиловый спирт), изопропиловый спирт.

Все растворители относятся к легкоиспаряющимся и огнеопасным материалам. Поэтому при работе с ними необходимо соблюдать правила пожарной безопасности. На участках приготовления связующего (в цехе, лаборатории) должна быть организована precisely-вытяжная вентиляция.

Добавки. В связующие растворы и суспензии для регулирования их свойств вводят специальные добавки. Например, катализатором гидролиза является хлороводородная кислота HCl (плотность 1,19 г/см³), которая повышает надежность протекания процесса гидролиза этилсиликата (ЭТС), способствует повышению прочности формы. Серная кислота H_2SO_4 (плотность 1,84 г/см³) вводится в раствор при гидролизе ЭТС для нейтрализации органических примесей (в песках, маршаллите). Поверхностно-активные вещества (ПАВ) ДС-РАС¹, сульфанол вводят в связующие растворы при гидролизе ЭТС без органических растворителей (0,05...0,1 мас. %) с целью по-

¹ Детергент советский — рафинированный алкиларилсульфат.

Свойства материалов для приготовления связующих

Материал	Исходный материал				Связующий оксид			
	Состояние	Содержание связующего оксида, мас. %	Химические свойства*	Растворимость	Химическая формула	Химические свойства	Температура плавления, °С	Стойкость в вакууме
Этилсикат ЭТС-32, ЭТС-40, ЭТС-50	Жидкость, смесь кремнийорганических полимеров	30...32	К	В спирте, ацетоне	SiO_2	К	1693	Низкая
Оксид алюминия $\text{Al}_3(\text{OH})_8\text{NO}_3$	Гранулы, спиртовой раствор	30...35 9...12	К	В воде, спирте	Al_2O_3	А	2050	Высокая
Оксид хрома $\text{Cr}(\text{OH})_2\text{Cl}$	Жидкость	—	К	То же	Cr_2O_3	А	2035	Средняя
Кальций азотно-кислый $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + 9\text{H}_2\text{O}$	Кристаллическая соль	—	К	В спирте	CaO	О	2800	Очень высокая

* К — кислый, А — амфотерный, О — основной.

нижения межфазной (ЭТС и воды) энергии, а также улучшения смачивания суспензией поверхности моделей.

Гидролиз этилсиликата. В качестве исходного материала для приготовления связующего оболочковых форм широко применяют этилсиликат (ЭТС) — смесь этиловых эфиров ортокремниевой кислоты. ЭТС — жидкость с температурой кипения 165°C, плотностью 980... 1050 кг/м³. В состоянии поставки ЭТС представляет собой смесь эфиров с разной молекулярной массой, например смесь моноэфира (C₂H₅O)₄Si, содержащего 28,8% SiO₂, диэфира (C₂H₅O)₆Si₂O, содержащего 35,1% SiO₂, триэфира (C₂H₅O)₈Si₃O₂, содержащего 37,1% SiO₂, и т.д. (тетра-, пентаэфиры).

Химический состав ЭТС отдельных партий может различаться, поэтому каждая партия должна иметь сертификат, в котором указывается общее содержание этоксильных групп, SiO₂, примесей и т.д.

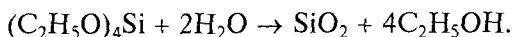
Цель гидролиза состоит в придании ЭТС связующих свойств. Суть реакции гидролиза заключается в том, что в процессе химической реакции этоксильные группы (C₂H₅O) замещаются гидроксильными группами OH. В результате реакции гидролиза получают коллоидные растворы кремнекислот (золи), из которых при сушке и прокаливании форм выделяется собственно связующее SiO₂, соединяющее зерна огнеупорной основы.

Гидролиз — реакция между ЭТС и водой. Трудность проведения гидролиза состоит в том, что ЭТС и вода взаимно не растворяются, поэтому, как правило, при реакции гидролиза ЭТС применяют органические растворители — спирты, ацетон, которые растворяют и ЭТС, и воду. Растворители удаляются при последующих сушке и прокаливании форм.

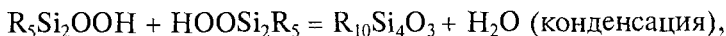
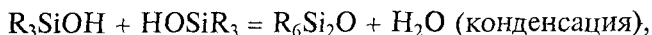
Реакция гидролиза может осуществляться любым количеством воды. При гидролизе этоксильные группы (C₂H₅O) замещаются (частично или полностью) гидроксильными (OH). Например, при гидролизе моноэфира небольшим количеством воды идет реакция



Если на одну этоксильную группу приходится 0,5 моль воды, то

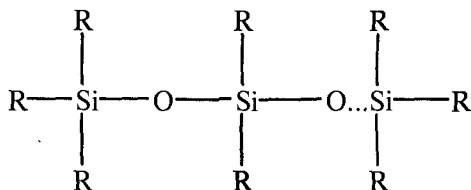


Это количество воды принято считать стехиометрической нормой. Одновременно с гидролизом в растворе протекает реакция поликонденсации:



где R — этоксильная группа C₂H₅O.

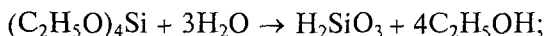
В результате образуются соединения, характеризующиеся продольными связями в цепи:



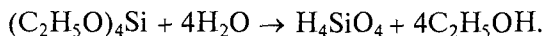
В присутствии катализаторов, например HCl, могут образовываться и поперечные связи, соединяющие ионы через кислород в сетчатые структуры.

При наличии таких структур прочность связующего повышается, увеличивается и прочность формы. В итоге структура связующего имеет вид неорганического полимера. Эти растворы обладают свойствами истинных растворов. Гидролизованный раствор содержит более 18% SiO₂, его вязкость не изменяется при хранении; пленка раствора сохнет на воздухе медленно и обратимо.

При гидролизе эфиров большим количеством воды образуются разные кремниевые кислоты:



Метакремниевая кислота



Ортокремниевая кислота

Кремниевые кислоты неустойчивы и образуют золи, однако одновременно в растворах протекают реакции поликонденсации (см. ранее). Поэтому такие растворы представляют собой смесь коллоидных и истинных растворов. Гидролизованный раствор содержит 14... 18% SiO₂. При хранении таких растворов их вязкость повышается, оболочки высыхают и твердеют на воздухе более длительное время; для завершения процессов гидролиза и поликонденсации необходима сушка во влажном воздухе. При гидролизе ЭТС с большим избытком воды, например



появляются кремниевые кислоты, которые конденсируются и образуют крупные мицеллы. Гидролизованный раствор содержит 10... 12% SiO₂. Растворы имеют свойства коллоидных растворов. При хранении их вязкость быстро повышается, происходит желатинизация. Пленки высыхают на воздухе, образуя сетку трещин; прочность оболочки получается невысокой.

Таким образом, в зависимости от количества воды при гидролизе получают разные по составу, физико-химическим и техно-

логическим свойствам связующие растворы, от которых зависят свойства оболочковых форм и условия их сушки.

Скорость реакции гидролиза невелика, для повышения этой скорости раствор интенсивно перемешивают. Реакция гидролиза — экзотермическая (идет с выделением теплоты), поэтому сосуды и аппараты, в которых ведут гидролиз (гидролизеры), охлаждают проточной водой. Кинетика изменения температуры раствора будет показана далее по ходу изложения (см. с. 57).

Типы связующих растворов этилсиликата при приготовлении суспензии определяют три типичных варианта гидролиза ЭТС, когда количество воды в 2 раза меньше, в 1,1—1,4 раза больше и значительно больше стехиометрической нормы. Соответственно при гидролизе получают растворы трех типов: при малом количестве воды — истинный (гомогенный), при среднем — смешанный и при большом — коллоидный раствор кремнекислот (табл. 1.4).

Истинные (гомогенные) растворы I типа создают пленки связующего, которые высыхают на воздухе медленно и обратимо, т. е. способны набухать при нанесении следующего слоя суспензии. Раствор легко гидролизуетея влажным аммиаком с образованием геля кремнекислоты. При этом твердение оболочки необратимо. Оболочки имеют высокую прочность.

Смеси гомогенных и коллоидных растворов II типа создают оболочки, упрочняющиеся и высыхающие более длительное время, чем при гидролизе большим количеством воды. Для сушки требуется повышенная влажность воздуха, чтобы процессы гидролиза и поликонденсации были завершены.

Коллоидные растворы III типа обеспечивают проведение сушки оболочки в сухом воздухе за 2...4 ч. Стойкость гидролизованного раствора невысокая. Газопроницаемость и прочность оболочки ниже, чем в случае использования раствора I типа.

Разработана номограмма (рис. 1.18), по которой можно определить для заданных условий сушки и содержания SiO_2 в растворе расходы воды для гидролиза, растворителя и хлороводородной кислоты.

Свойства оболочковых форм и режимы сушки существенно зависят, таким образом, от расхода воды, принятого для гидролиза ЭТС.

Исходными данными для расчета расходов материалов, необходимых для гидролиза, являются, во-первых, требуемый тип раствора, т. е. заданная прочность формы; устойчивость раствора; условия сушки формы, а также паспортные данные ЭТС: содержание SiO_2 в ЭТС, содержание этоксильных групп $\text{C}_2\text{H}_5\text{O}$, содержание HCl .

При расчете необходимо определить расходы воды для гидролиза, растворителя и HCl .

Типы связующих растворов этилсиликата (ЭС)

Тип раствора	Количество воды для гидролиза на одну этикосильную группу, моль	Растворитель	Стойкость до желатинизации (коагуляции), сут	Вязкость	Сушка	$\sigma_{\text{нат}}$ оболочковой формы, Н/мм ²
I. Истинный (гомогенный) раствор высокополимеров	Малое 0,2...0,3	Полярный: спирт, ацетон; неполярный: бензин, уайт-спирит	400	Не изменяется	Увлажненными парами аммиака, 1 ч	7...10
II. Смеси гомогенных растворов полимеров и коллоидных растворов кремниевой кислоты	Среднее 0,56...0,7	Только полярный	Менее 100	Медленно повышается	Влажным воздухом	5...7
III. Коллоидные растворы кремниевой кислоты	Более 1	Спирты, вода	Менее 5	Быстро повышается	Сухим воздухом 2...4 ч	2...3

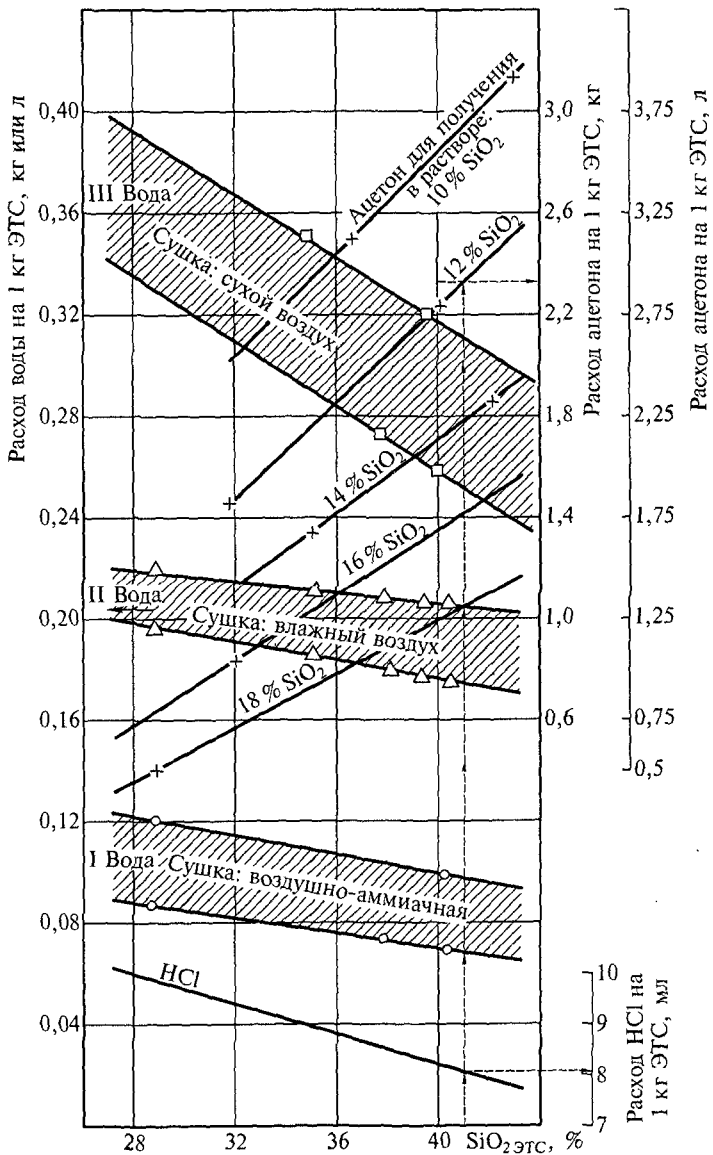


Рис. 1.18. Номограмма для определения расхода ацетона, воды и хлороводородной кислоты для получения связующего из 1 кг ЭТС:

I, II, III — типы коллоидных растворов; □, △, ○ — режимы сушки; × — содержание SiO₂ в связующем растворе

Расход воды для гидролиза 1 кг ЭТС рассчитывают по формуле В. А. Озерова и Б. Б. Шприца:

$$x_{\text{в}} = na_3/250,$$

где n — число молей воды на одну этоксильную группу; a_3 — содержание этоксильных групп, мас. %, в ЭТС (по сертификату на ЭТС); 250 — коэффициент, учитывающий молярные массы этоксильной группы и воды.

Число молей воды на одну этоксильную группу назначают в зависимости от способа сушки оболочки. При $a_3 = 60 \dots 65\%$ для воздушной сушки оболочек принимают $n = 0,5 \dots 0,6$ моль, для воздушно-аммиачной сушки $n = 0,2 \dots 0,3$ моль. При $a_3 = 65 \dots 72\%$ для воздушной сушки $n = 0,6 \dots 0,8$ моль, для воздушно-аммиачной сушки $n = 0,3 \dots 0,5$ моль.

Необходимую для гидролиза массу растворителя m , кг, точнее определять по формуле

$$m = \frac{\text{SiO}_2_{\text{ЭТС}}}{\text{SiO}_2_{\text{р-р}}} - (1 + x_{\text{в}}),$$

где $\text{SiO}_2_{\text{ЭТС}}$ — содержание SiO_2 в ЭТС, кг; $\text{SiO}_2_{\text{р-р}}$ — требуемое содержание SiO_2 в связующем растворе, кг; $x_{\text{в}}$ — расход воды, полученный по расчету, кг.

Требуемый расход k , мл, HCl плотностью $1,19 \text{ г/см}^3$ зависит от содержания этоксильных групп в ЭТС; на 1 кг ЭТС расход HCl должен составить $k = 0,114a_3$.

Для условий гидролиза ЭТС в присутствии органических растворителей определить расходы воды, растворителя, кислоты можно по приведенной на рис. 1.18 номограмме. При определении расхода растворителя исходят из условия требуемого содержания в растворе SiO_2 . На горизонтальной оси находят точку, соответствующую содержанию SiO_2 в ЭТС, от которой поднимаются вертикально вверх до пересечения с одной из линий содержания ацетона для получения в растворе требуемого содержания $\text{SiO}_2_{\text{р-р}}$. Далее по правой шкале находят расход ацетона (в килограммах или литрах).

Способы гидролиза этилсиликата (ЭТС) показаны на рис. 1.19. Таким образом, в производстве связующие растворы на основе ЭТС готовят, используя отдельный, совмещенный способы гидролиза и гидролиз без растворителей.

При раздельном гидролизе (рис. 1.19, а) в водоохлаждаемый бак гидролизера наливают расчетную дозу растворителя r , подкисленную кислотой воду ($\text{H}_2\text{O} + \text{HCl}$) и после перемешивания в течение 1...2 мин в смесь, не выключая мешалку, вливают ЭТС. Перемешивание продолжают до тех пор, пока раствор не охладится до температуры 20°C . Затем раствор выдерживают 2...18 ч до окончания процесса гидролиза. Выдержка после перемешивания растворов I типа не влияет на прочность форм. Для повыше-

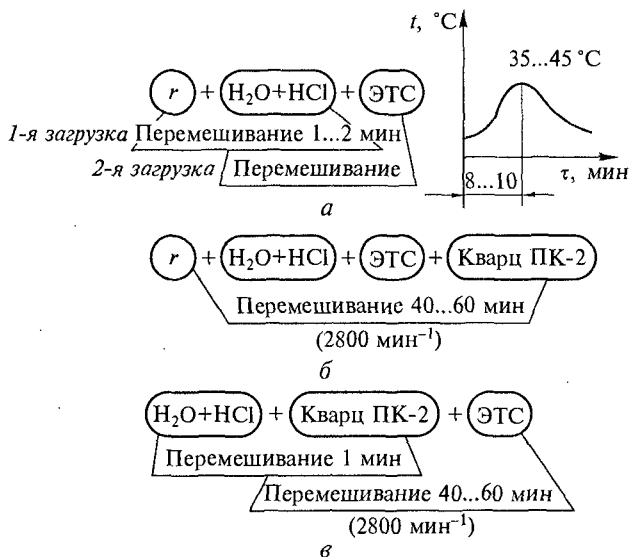


Рис. 1.19. Способы гидролиза ЭТС:

а — раздельный, однофазный; б — совмещенный; в — без органических растворителей

ния прочности форм раствора II типа после перемешивания выдерживают не более 1...1,5 сут для завершения процессов гидролиза и поликонденсации. Выдерживать растворы III группы не рекомендуется, так как это отрицательно влияет на прочность форм.

Приготовленные такими способами гидролизованные растворы ЭТС используют для изготовления суспензии.

С о в м е щ е н н ы й способ гидролиза (рис. 1.19, б) заключается в совмещении реакции гидролиза и процесса приготовления суспензии. Для этого в бак гидролизера заливают расчетную порцию растворителя r , подкисленную воду ($\text{H}_2\text{O} + \text{HCl}$), ЭТС и загружают пылевидный кварц марки ПК-2 в количестве 2/3 от расчетной массы, обеспечивающей требуемую вязкость суспензии. Компоненты загружают при непрерывной работе мешалки. Перемешивают суспензию в течение 40...60 мин при непрерывном охлаждении бака гидролизера проточной водой, так как реакция гидролиза экзотермическая. Для равномерного протекания реакции гидролиза в объеме гидролизера мешалка должна иметь частоту вращения не менее 2800 мин⁻¹. Устройством для перемешивания должно обеспечивать равномерное распределение компонентов в смеси. Вязкость суспензии контролируют, доводят ее до требуемой, производя дозагрузку пылевидного кварца. Общий расход пылевидного кварца составляет около 2,5 мас. ч. на 1 мас. ч. раствора. Этим способом можно готовить суспензии высокого каче-

ства за короткое время, поэтому его наиболее широко используют в массовом производстве.

Гидролиз без органических растворителей (спирта, ацетона, ЭАФ и др.) (рис. 1.19, в), предложенный В.Н. Ивановым и Г.М. Зарецкой, ведут только совмещенным способом. В водоохлаждаемый бак гидролизера наливают расчетную порцию воды, подкисленной хлороводородной и серной кислотами, засыпают пылевидный кварц и перемешивают 0,5... 1 мин при частоте вращения мешалки 2800 мин^{-1} , затем заливают расчетное количество ЭТС и перемешивают 40... 60 мин. Температура суспензии при перемешивании должна быть $27 \dots 30^\circ\text{C}$. Периодически измеряют вязкость. Вязкость суспензии по вискозиметру ВЗ-4 должна быть в пределах 70... 100 с. Расход воды должен быть таким, чтобы раствор содержал 14... 16% SiO_2 . Хлороводородную кислоту вводят из расчета 0,6... 0,8% к связующему, а серную — обычно 0,5... 0,7% в зависимости от содержания железа в пылевидном кварце. Поскольку в растворе много свободной воды, суспензия плохо смачивает модели. Чтобы суспензия хорошо покрывала модели, в нее при перемешивании вводят 0,05... 0,1% (по массе от жидких составляющих) поверхностно-активного вещества ОП-7 или ОП-10. Этот способ перспективный, так как позволяет исключить применение ацетона, спирта и других растворителей.

Приготовление суспензии при отдельном способе гидролиза ведут следующим образом. После необходимой выдержки в гидролизованный раствор при непрерывном перемешивании всыпают постепенно по частям огнеупорный материал из расчета 2... 2,5 мас. ч. пылевидного кварца на 1 мас. ч. гидролизованного раствора. Засыпав 2/3 массы огнеупорного материала, проверяют вязкость суспензии, которая должна составлять 35... 50 с по вискозиметру ВЗ-4. Для получения суспензии необходимой вязкости оставшийся пылевидный кварц добавляют небольшими порциями, проверяя вязкость суспензии после каждой засыпки. Готовую суспензию выдерживают для удаления воздушных пузырьков, захваченных при вводе пылевидного кварца.

В крупносерийном и массовом производстве для совмещенного гидролиза применяют автоматизированные установки (рис. 1.20). По трубопроводам 1 в дозаторы 2 вводят жидкие компоненты. В горизонтальную лопастную мешалку 3 непрерывно поступают подкисленная вода и растворитель, а из бункера 8 по виброротку 7 непрерывно загружается пылевидный кварц, который дозируется по массе устройством 6. После перемешивания пылевидного кварца с водой и растворителем в мешалке 3 массу заливают последовательно в одну из пропеллерных мешалок 4, в которую по трубопроводу подается ЭТС. В мешалках проводится гидролиз ЭТС и готовится совмещенным способом суспензия. Готовая суспензия выдается через трубопровод 5.

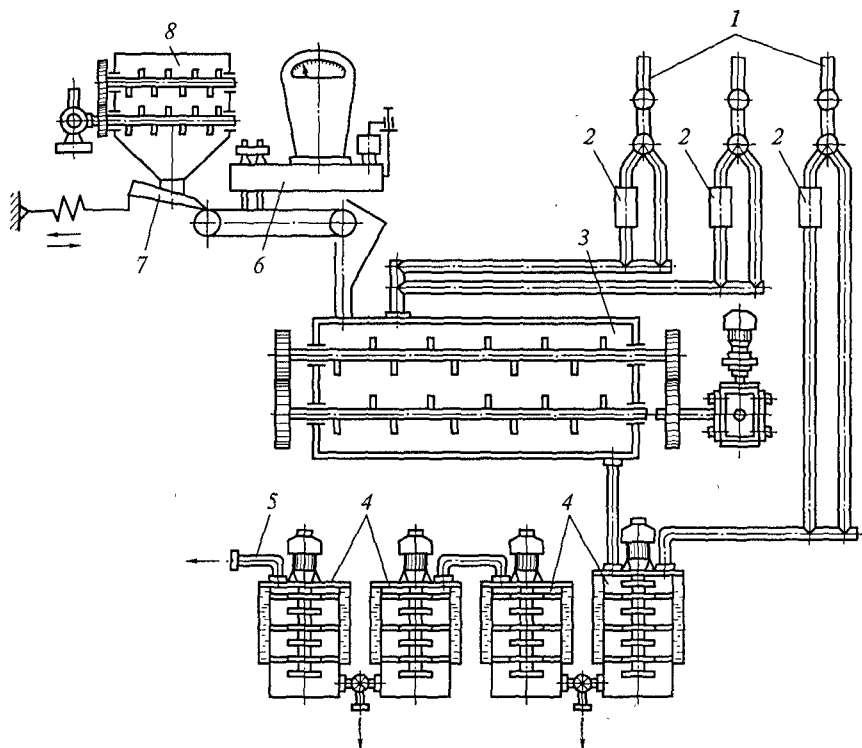


Рис. 1.20. Схема автоматизированной установки для приготовления суспензии:

1 — трубопроводы для подачи исходных материалов; 2 — дозаторы жидких компонентов; 3 — лопастная мешалка; 4 — пропеллерные мешалки; 5 — трубопровод для выпуска готовой суспензии; 6 — дозатор пылевидного кварца; 7 — виброток; 8 — бункер

Одним из направлений решения проблемы сокращения длительности процесса изготовления оболочковых форм является применение новых связующих. Таким связующим является ЭТС-50. Связующий раствор готовят, разбавляя ЭТС-50 ацетоном до содержания SiO_2 в нем 10%. Суспензию готовят в мешалках с частотой вращения порядка 3000 мин^{-1} . Пылевидный кварц вводят в суспензию в соотношении твердой и жидкой фаз 70 : 30 (по массе), вязкость суспензии должна быть 30 с по вискозиметру ВЗ-4. Каждый слой покрытия отвердевает за 5 мин в среде воздуха с 10% аммиака.

Использование ЭТС-50 позволяет исключить операцию гидролиза, процесс формообразования становится более стабильным, сокращается длительность цикла изготовления оболочковых форм.

Кремнезоли — коллоидные дисперсии кремнезема в воде, стабилизированные гидроксидами щелочных металлов или алюминия. Их используют как упрочняющие добавки в этилсиликатных связующих растворах. В золе содержится до 50% SiO_2 , размер коллоидных частиц 5... 20 мкм. Это позволяет для достижения требуемой прочности формы снизить в 2 раза расход ЭТС. По опыту АМО «ЗИЛ» суспензию готовят совмещенным способом.

Неорганические связующие. Процесс изготовления форм с использованием этилсиликатных связующих растворов является многооперационным и длительным, а сами растворы характеризуются нестабильностью свойств. В литейных цехах приходится осуществлять химические процессы, несвойственные машиностроительному производству, поэтому ведутся поиски новых, в основном неорганических связующих материалов для оболочковых форм.

Связующие на основе коллоидного оксида кремния получают химическим взаимодействием кислоты и силиката натрия, главным образом, путем ионного обмена. Готовое связующее — это прозрачная жидкость с молочным оттенком, содержащая 30... 40% коллоидного кремнезема. Суспензию готовят обычным способом в присутствии ПАВ в мешалках с высокой частотой вращения. Каждый слой покрытия сушат в течение 1 ч. Формы заливают без опорных материалов. Это связующее перспективно для широкой номенклатуры сплавов.

В случае связующих на основе азотнокислых солей алюминия в качестве исходного материала используют оксинитрат алюминия $\text{Al}_3(\text{OH})_8\text{NO}_3$, содержащий 35... 39 мас. % Al_2O_3 . Раствор оксинитрата алюминия в спиртах должен содержать около 150 г/л Al_2O_3 . В 1 л раствора вводят 3... 3,5 кг электрокорунда или силлиманита. Суспензию готовят в смесителях с высокой частотой вращения. Формы сушат на воздухе. При прокаливании форм оксинитрат алюминия разлагается. Выделившаяся из раствора твердая фаза Al_2O_3 служит связующим. Это связующее целесообразно применять при изготовлении форм для отливок из жаропрочных и тугоплавких сплавов.

В случае применения связующих на основе солей хрома в качестве исходного материала используют оксихлорид хрома $\text{Cr}(\text{OH})_{3n-1}\text{Cl}$. Это соединение растворяют в спиртах или ацетоне. Огнеупорной составляющей суспензии служит пылевидный хроммагнезит или хромистый железняк. Слой оболочки упрочняется сушкой на воздухе за 15... 20 мин. Формы обладают высокой огнеупорностью, слабо взаимодействуют с металлами и оксидами, отливки не имеют пригара. После заливки формы легко разрушаются.

При использовании связующих на основе полимеров фосфатов исходным материалом для связующего служат неорганические полимеры, например $(\text{AlPO}_4)_n$, $\text{Al}(\text{H}_2\text{PO}_4)_m$. При прокаливании

вании они разлагаются с выделением оксида Al_2O_3 , который и является связующим. Литейные формы обладают высокой огнеупорностью, и их можно заливать без опорных материалов.

Применение этилсиликатно-фосфатных связующих обеспечивает снижение расхода ЭТС в 2,5—3 раза, повышение прочности и снижение брака форм на 25% по сравнению с оболочковыми формами на этилсиликатном связующем. Продолжительность сушки каждого слоя на связующем ЗИЛ-ЭФ составляет 2,5...4 ч.

Общие сведения о готовом связующем. В литье по выплавляемым моделям при изготовлении оболочковых форм в качестве связующего применяются гидролизованые растворы этилсиликата.

В том виде, в котором этилсиликаты поставляются предприятиями химической промышленности, они не являются связующими. Для технологических целей литейного производства в условиях литейного цеха связующее приготавливают путем проведения сложной химической операции — гидролиза этилсиликата. При этом из-за нестабильности состава исходного этилсиликата приходится корректировать рецептуры, обеспечивать точную дозировку составляющих суспензии.

Специалистами ГНИИХТЭОС, НИИТавтопрома и НПО «ХИМПРОМ» разработано готовое связующее, получившее марку ГС-12,5 И (табл. 1.5).

Готовое связующее — это продукт щелочной модификации и последующей нейтрализации гидролизованного раствора ЭТС-40 в изопропиловом спирте; данное связующее предназначено для использования в точном литье при получении оболочковых форм.

Готовое связующее, являясь продуктом высокой степени поликонденсации, обладает рядом ценных технологических свойств: высокой связующей способностью, благодаря которой обеспечи-

Таблица 1.5

Физико-химические показатели связующего ГС-12,5И

Показатель свойства	Значение показателя
Внешний вид	Прозрачная, желтоватого цвета жидкость
Плотность при 20 °С, г/см ³	0,91... 0,92
Содержание диоксида кремния, мас. %	12... 14
Вязкость кинематическая при 20 °С, сСт	4,4... 8,0
Содержание HNO_3 , мас. %	0,03... 0,07
Время гелеобразования, мин	Не менее 50

ваются прочность оболочковых форм при статическом изгибе 4,5... 6 Н/мм² (по методике НИИТавтопрома), «живучесть» суспензии не менее 7 сут. Суспензия на готовом связующем обладает достаточной седиментационной устойчивостью и хорошей смачиваемостью поверхности моделей, отверждается в структуре керамики под действием паров аммиака за 5...7 мин, а на воздухе за 20...30 мин, не изменяет свойств при хранении в течение года и после длительного хранения при температуре от -40 до +40 °С.

Готовое связующее обладает токсическими свойствами и относится к легковоспламеняющимся, умеренно опасным веществам (IV класса вредности). Все работы с готовым связующим должны проводиться в помещениях с приточно-вытяжной вентиляцией, в специальной одежде и резиновых перчатках. Условия хранения и использования готового связующего соответствуют требованиям, предъявляемым к спиртам и этилсиликатам.

Для приготовления суспензии требуются исходные материалы: связующее марки ГС-12,5И, кварц молотый пылевидный, кислота серная техническая. Рецепт суспензии, мас. %: готовое связующее 25...30; кварц молотый пылевидный 70...75; кислота серная техническая 1,2...1,7. Соотношение между связующим и наполнителем суспензии определяется принятой в технологическом процессе вязкостью. Рекомендуемая вязкость первого слоя — 40...50 с по вискозиметру ВЗ-4.

Расход серной кислоты, вводимой в готовое связующее, определяется содержанием оксидов железа в пылевидном кварце.

Изготовление оболочковых форм. Суспензия наносится на блоки моделей при их окутании в ванну с суспензией, а на крупные блоки и модели — путем их обливания. В зависимости от характера производств и степени механизации блок моделей погружают в ванну вручную, с помощью манипуляторов или копирных устройств на цепных конвейерах. Блок погружают таким образом, чтобы с поверхности моделей, особенно из глухих полостей и отверстий, могли удалиться пузырьки воздуха. Вынутый из суспензии блок моделей медленно поворачивают в разных направлениях, чтобы суспензия равномерно распределилась по поверхности моделей, а излишки ее стекла. После этого на слой суспензии сразу наносится слой песка (между моментами нанесения суспензии и обсыпкой должно быть не более 10 с, так как далее суспензия подсохнет и песок не соединится с ней). Суспензию в ванне непрерывно перемешивают с небольшой скоростью для предотвращения оседания огнеупорного материала. Песок на слой суспензии наносится при погружении блока в «кипящий» слой песка.

На рис. 1.21 представлена схема установки для обсыпки блока моделей в кипящем слое песка. Установка состоит из емкости с песком, в нижней части которой расположена полость 2, в которую подводится сжатый воздух. Полость 2 отделена от емкости 1

сеткой, на которой уложен слой войлока. Воздух, проходя через песок, переводит его во взвешенное «кипящее» состояние. Блок моделей 3, предназначенный для обсыпки, погружают в этот слой кипящего песка.

После нанесения каждого слоя суспензии и обсыпки его выполняется сушка оболочковых форм. Форму высушивают в потоке воздуха или в парах аммиака. Во время сушки на воздухе завершаются процессы гидролиза, происходит испарение растворителя и воды, коагуляция золя кремниевой кислоты и превращение его в гель с последующим затвердеванием и образованием твердых прослоек, связывающих зерна огнеупорного пылевидного материала.

Процесс коагуляции можно ускорить обработкой слоев оболочки парами аммиака. Аммиак омыляет полиэфирные этоксильные группы (продуктов неполного гидролиза) и переводит эти соединения в гель.

Продолжительность сушки и обсыпки каждого слоя суспензии на воздухе 2...4 ч, а в парах аммиака — 50...60 мин, из которых 20...30 мин — сушка на воздухе, 10...20 мин — сушка в парах аммиака и 10...20 мин — выветривание паров аммиака. Сушку ведут в вертикальных и горизонтальных многоярусных сушилках. Операция сушки — одна из длительных в общем цикле изготовления оболочковой формы, поэтому ускорение сушки — одно из важнейших направлений совершенствования процесса.

Удаление моделей. В зависимости от материала моделей используют различные способы их удаления из оболочки. Воскообразные модельные составы обладают низкой теплопроводностью. Поэтому при медленном нагреве модель прогревается на всю толщину, расширяется, давит на оболочковую форму и может разрушить ее. При быстром нагреве модель оплавляется с поверхности, модельный состав впитывается в поры формы или вытекает из нее и оболочковая форма не разрушается. Поэтому быстрый нагрев модельного блока — одно из основных условий получения оболочковой формы без трещин.

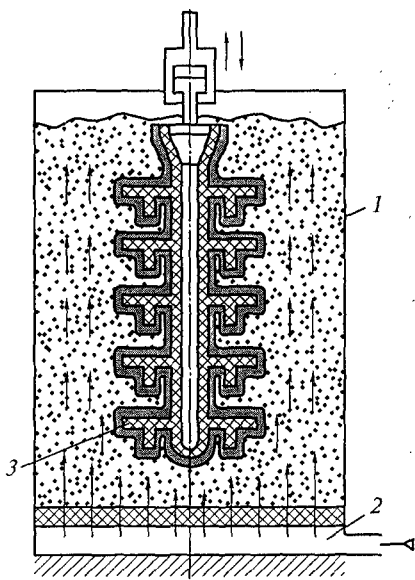


Рис. 1.21. Схема установки для обсыпки блока моделей в кипящем слое песка:

1 — емкость с песком; 2 — полость для подвода сжатого воздуха; 3 — блок моделей

Модели из выплавляемых воскообразных составов удаляют из формы погружением блока моделей в горячую воду или ванну с модельным составом. Эти способы получили наибольшее применение на производстве. Возможно удаление выплавляемых моделей также в паровых автоклавах или горячим воздухом. Эти способы вследствие больших потерь модельного состава и сложности оборудования применяют редко.

Выплавление в воде позволяет получить 90...95% возврата модельного состава, однако достаточно большой является вероятность появления трещин в оболочке.

Выплавление в перегретом модельном составе позволяет повысить прочность оболочковой формы в непрокаленном состоянии благодаря пропитке ее модельным составом. При прокаливании оболочковой формы воскообразный состав в ее порах коксуется и дополнительно упрочняет форму. Однако вследствие перегрева ухудшается качество возврата.

Выплавление горячим воздухом используют для модельных составов канифоль-полистирол-церезин. Для уменьшения вероятности образования трещин в оболочковой форме ее формуют в жидкой формовочной смеси. Затем форму высушивают при 80...90 °С в течение 10 ч, и в процессе нагрева до 200...220 °С модели выплавляются.

Растворимые карбамидные составы растворяют в воде при 20...27 °С. Так как модельный состав не расширяется, трещин в оболочковой форме не образуется.

Пенополистироловые выжигаемые модели могут быть удалены из формы выжиганием в процессе ее нагрева вместе с модельным блоком или путем растворения. Выжигание пенополистироловых моделей сопровождается большими выделениями паров стирола, других углеводородов и сажи. Поэтому для регулирования процесса горения в прокалочной печи создают среду с определенным окислительно-восстановительным составом, для того чтобы происходило горение полистирола и продуктов его термического разложения без образования сажи. Обычно в печь подают окислительный реагент и воздух из расчета полного сгорания пенополистироловых моделей. Окислительный реагент вводят и при прокаливании форм, полученных по выплавляемым моделям. Этой мерой уменьшают сажевыделение и улучшают условия труда.

При прокаливании оболочковой формы без опорных материалов ее помещают вместе с моделью в печь и нагревают до температуры 700...720 °С в течение 30 мин, затем выдерживают при данном нагреве около 20 мин для полной газификации остатков модельного состава и далее нагревают с той же скоростью до 920...1020 °С.

Пенополистироловые выжигаемые модели могут быть удалены из оболочковой формы растворением в бензоле, толуоле, ацетоне.

Этот процесс чаще используют для изготовления крупных форм. Во всех случаях при выжигании, растворении пенополистироловых моделей должна быть обеспечена хорошая приточно-вытяжная вентиляция участка и рабочих мест с последующей очисткой удаляемого в атмосферу воздуха.

Формовка. Для предотвращения разрушения оболочковой формы при заливке ее заформовывают в сыпучие огнеупорные материалы или жидкие формовочные смеси. В качестве опорных материалов используют сухой кварцевый песок, шамотный порошок, размолотые и просеянные через сито с ячейкой 2 мм остатки оболочки после очистки отливок. Главные требования к опорным материалам, используемым для формовки, — высокая огнеупорность и одинаковый с материалом оболочки ТКЛР, так как при различии данного показателя возможно возникновение напряжений и, как следствие, появление трещин в оболочковой форме при ее прокаливании и заливке.

В производстве используют два способа формовки оболочковых форм в сыпучие опорные материалы: в холодном и нагретом состоянии форм и опорных материалов.

Формовку в холодном состоянии используют в единичном, мелкосерийном и массовом производстве. Оболочковую форму после удаления модели помещают в контейнер из жаростойкой стали, засыпают контейнер огнеупорным материалом, уплотняют его вибрацией на вибростоле, а затем прокаливают.

Формовку в нагретом состоянии используют чаще в массовом производстве. В этом случае оболочковые формы прокаливают отдельно и сразу после прокаливания их заформовывают в предварительно нагретом сыпучем огнеупорном материале. Это позволяет сократить длительность прокаливания оболочковых форм, уменьшить напряжения в них, повысить надежность процесса.

Прокаливание оболочковых форм. Данная операция необходима для полного удаления из форм остатков модельного состава, испарения остатков воды и продуктов неполного гидролиза связующего, а также спекания связующего и огнеупорного пылевидного материала. Во время прокаливания в стенке оболочковой формы образуются поры и микротрещины, благодаря чему возрастает (до 10...20 ед.) газопроницаемость оболочки. Оболочковые формы без опорных материалов (рис. 1.22, кривая 1) прокаливают в течение 0,5...1 ч. Тонкая стенка формы быстро прогревается снаружи и изнутри, в ней возникают лишь минимальные напряжения и микротрещины, не оказывающие существенного влияния на ее прочность.

Оболочковая форма, заформованная в сыпучий огнеупорный материал, нагревается изнутри, со стороны рабочей полости, быстрее, чем снаружи, через слой формовочного материала. Чтобы в стенке формы не возникли термические напряжения вслед-

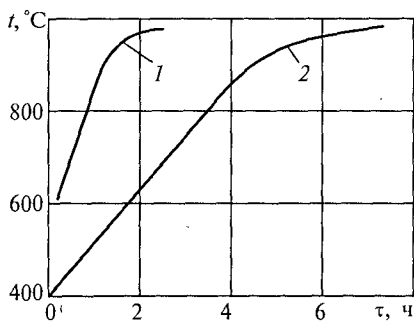


Рис. 1.22. Режимы прокаливания оболочек:

1 — прокаливание оболочковой формы без опорного материала; 2 — прокаливание оболочки, заформованной в сыпучий огнеупорный материал

появление напряжений и, как следствие, трещин в оболочковых формах. В этом случае целесообразно прокаливать оболочки отдельно, а затем формовать их в нагретый огнеупорный материал

Контроль технологических свойств оболочковых форм. Наиболее важными свойствами оболочковых форм являются прочность и газопроницаемость.

При заливке расплава оболочковая форма испытывает напряжения изгиба, поэтому определяют прочность при изгибе плоских образцов материала формы размерами $20 \times 40 \times 3$ мм в непрокаленном и прокаленном при $900 \dots 950$ °C состояниях. Эти испытания проводят на любой разрывной машине, снабженной приспособлением для изгиба, имеющей цену деления силоизмерителя не менее 0,5 Н.

Газопроницаемость определяют на стандартном приборе, используя прокаленные образцы материала формы в виде диска диаметром 50 мм и высотой 3 мм. Образцы для определения прочности и газопроницаемости изготавливают по той же технологии, что и сами оболочковые формы.

Анализ основных операций технологического процесса изготовления оболочковых форм показывает, что при различных вариантах технологического процесса наиболее длительными операциями являются сушка формы и ее прокаливание. Поэтому работы литейщиков по совершенствованию процесса направлены на сокращение длительности этих процессов.

Эта сложная задача решается поиском новых связующих, огнеупорных материалов, эффективных режимов сушки и прокаливания оболочковой формы, рациональной конструкции ее стенок (рис. 1.23, а—з).

стие резкого одностороннего нагрева, начальную температуру в печи и скорость нагрева выбирают из условия равномерного нагрева оболочковой формы. Для кварцевых материалов эта скорость равна 100 °C/ч. После нагрева до $900 \dots 1000$ °C дают выдержку во времени для завершения процесса прокаливания. Общая продолжительность прокаливания форм $6 \dots 8$ ч (рис. 1.22, кривая 2). Если сыпучий огнеупорный материал претерпевает полиморфные превращения при нагреве, протекающие с изменением объема, то возможно

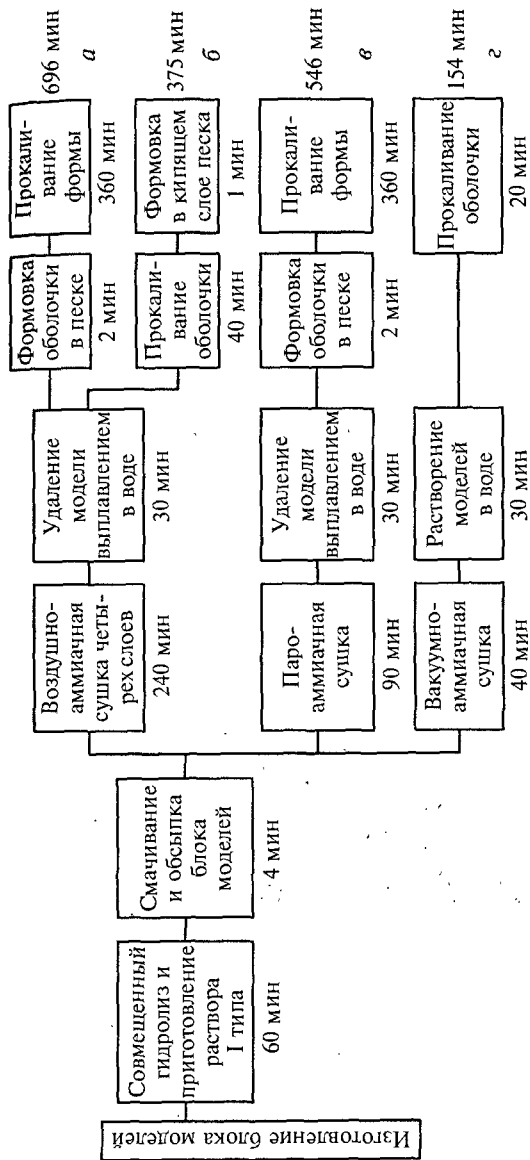


Рис. 1.23. Варианты (а—з) технологических процессов изготовления оболочковых форм

1.5. Заливка форм, выбивка и очистка отливок

Заливка форм. Температура форм перед заливкой зависит от толщины стенок и материала отливки. Обычно расплав заливают в горячие ($700 \dots 1600^\circ\text{C}$) формы сразу после их прокаливания; стали и жаропрочные сплавы для тонкостенных отливок заливают при температуре формы $1520 \dots 1600^\circ\text{C}$, медные сплавы — при $900 \dots 1100^\circ\text{C}$, алюминиевые сплавы — при $700 \dots 800^\circ\text{C}$. При изготовлении отливок с массивными стенками расплав заливают в охлажденные до $200 \dots 400^\circ\text{C}$ формы, что способствует улучшению структуры отливок.

При изготовлении тонкостенных отливок из жаропрочных сталей и сплавов, склонных к окислению, плавку ведут в вакуумных плавильно-заливочных установках (рис. 1.24). Установка такого типа имеет камеру, в которой располагается печь 4 для подогрева оболочковых форм 5 перед заливкой расплава. Форму устанавливают перед плавкой в печь подогрева. После приготовления расплава форму 5 перемещают вместе с печью 4 подогрева на позицию заливки (на рис. 1.24, а показана штрихом) и заливают расплавом.

При изготовлении тонкостенных отливок из сплавов, обладающих пониженной жидкотекучестью (сплавы титана, некоторые высокопрочные стали), заливку форм 5 для улучшения их заполняемости проводят центробежным способом, размещая центробежную машину 6 в вакуумной камере 1 плавильно-заливочной установки (рис. 1.24, б).

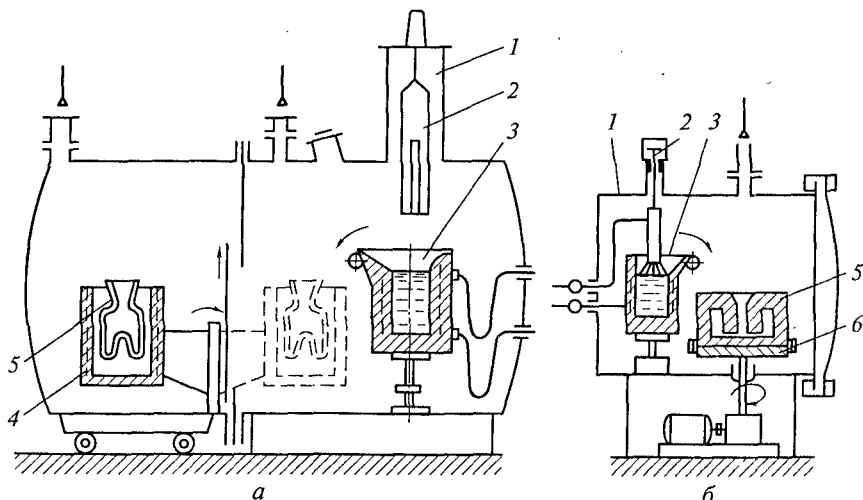


Рис. 1.24. Схемы устройства вакуумных плавильно-заливочных установок: а — с печью подогрева форм; б — с центробежной машиной; 1 — вакуумная камера; 2 — устройство для загрузки шихты; 3 — плавильная печь; 4 — печь подогрева; 5 — форма; 6 — центробежная машина

При изготовлении отливок из углеродистых сталей с целью ускорения процесса формы охлаждают до выбивки и после выбивки сжатым воздухом и водой в специальных камерах.

Выбивка форм и очистка отливок. Оболочковые формы без опорного материала после заливки и охлаждения отливки поступают на предварительную очистку. Формы, упрочненные сыпучим материалом, легко выбиваются при опрокидывании контейнеров на провальную решетку, а формы с жидким упрочняющим материалом выбивают на выбивных решетках.

Предварительную очистку отливок от оболочки формы выполняют на вибрационных установках. Стояк литниково-питающей системы зажимают в приспособлении и включают вибратор: под действием вибрации оболочка формы отделяется от отливки. В некоторых случаях возможно совмещение операций очистки и отделения отливок от стояков. Частичное отделение оболочки формы происходит под действием резкого охлаждения водой формы с отливкой. При этом стальные отливки, как правило, закаляются, но при последующей термической обработке эффект закалки устраняется.

Отделение отливок от литников выполняют разными способами в зависимости от состава сплава, типа производства, размеров отливок и конструкции литниково-питающей системы. При отделении отливок от литников на виброустановках путем ударной вибрации отливке сообщается колебательное движение, металл разрушается в зоне питателя. Последний обычно имеет пережим — концентратор напряжений. Этот способ используется для компактных отливок из углеродистых сталей, для тонкостенных отливок сложной конфигурации его не применяют. Недостаток способа — высокий уровень шума, что вынуждает размещать установки в звукоизолированных помещениях, а также появление усталостных напряжений в отливках.

Отрезку отливок на металлорежущих станках применяют лишь в тех случаях, когда другие способы использовать невозможно по причине сложных конструкций литниковых систем; обычно ее используют в единичном и мелкосерийном производстве. Стойкость инструмента при этом невелика из-за ударных нагрузок (по питателям) и абразивного изнашивания остатками керамики. Для отрезки отливок используют токарные, фрезерные станки, дисковые пилы, механические ножовки. Отделение литников на пресах широко используют в крупносерийном и массовом производстве отливок небольшой (до 5 кг) массы, преимущественно из углеродистой и низколегированной сталей. Блок отливок 3 (рис. 1.25) должен иметь литниково-питающую систему I типа с центральным стояком.

Газопламенную резку используют для отрезки стояков и прибылей от крупных отливок. Вследствие резкого местного нагрева в

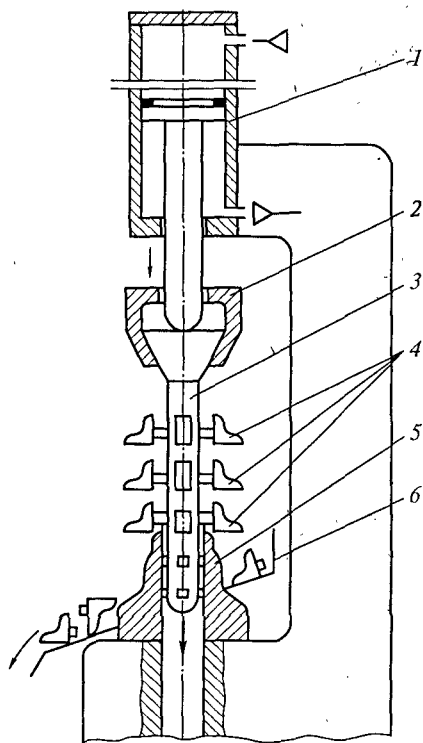


Рис. 1.25. Схема устройства прессы для отделения отливок от стояка:
 1 — гидроцилиндр; 2 — зажим; 3 — блок отливок; 4 — отливки; 5 — штамп;
 6 — лоток

отливках могут возникнуть термические напряжения, что ведет к деформации отливок с пространственной сложной конструкцией (корпусы, панели и др.). Поэтому такие отливки часто приходится рихтовать, т.е. использовать дополнительную операцию.

Анодно-механическую резку используют для отрезки литников от отливок из труднообрабатываемых сплавов.

Окончательная очистка отливок необходима по следующим причинам. Во время предварительной очистки отливок остатки формы полностью отделяются только на плоских

отливках без отверстий и поднутрений. В отливках сложной конфигурации остатки формы остаются в сквозных и глухих отверстиях, поднутрениях. Вследствие усадки сплава остатки формы в этих местах сжаты, для их удаления требуются большие энергетические затраты для механической очистки. Чаще применяют гидроабразивный, электроискровой, химический, химико-термический, гидравлический способы окончательной очистки отливок.

При механическом способе очистки (дробеметном, дробеструйном) используют металлический песок или дробь (частицы размером до 0,3 мм, так как очистка крупной дробью приведет к увеличению шероховатости поверхности).

Гидроабразивная очистка целесообразна для очистки отливок из алюминиевых, медных сплавов. Для очистки отливок из алюминиевых сплавов, к которым предъявляются высокие требования по шероховатости поверхности, используют гидравлический способ: тонкая струя воды под давлением 20...30 МПа подается на отливку или в ее полость, при этом остатки формы разрушаются. Электроискровой способ применяют для отливок из сплавов, обладающих достаточной прочностью, например для углеродистых, легированных сталей. Химический спо-

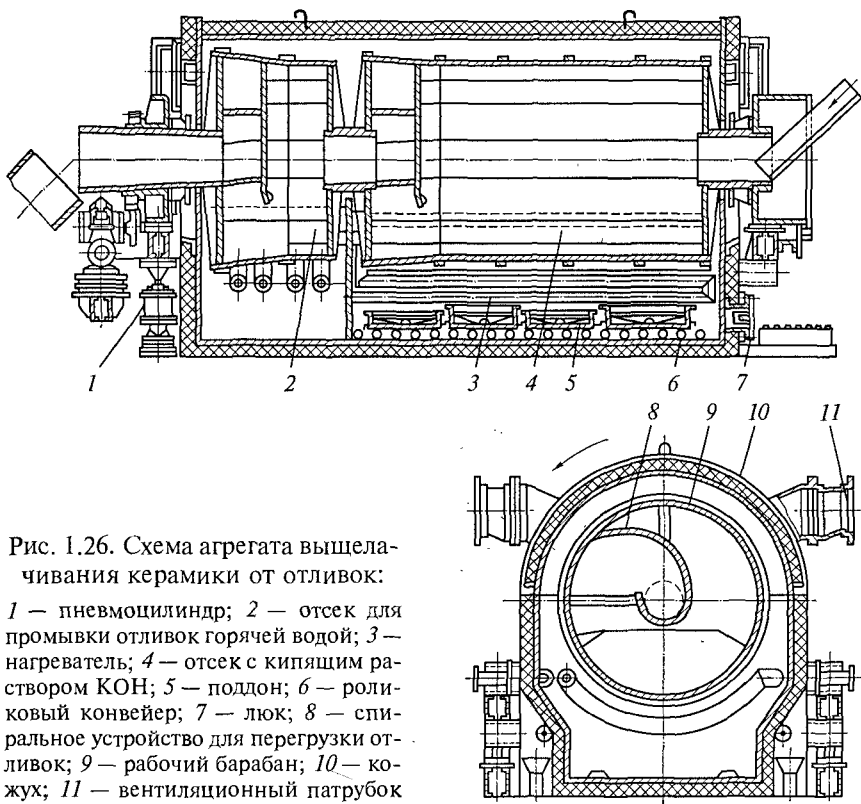


Рис. 1.26. Схема агрегата выщелачивания керамики от отливок:

1 — пневмоцилиндр; 2 — отсек для промывки отливок горячей водой; 3 — нагреватель; 4 — отсек с кипящим раствором КОН; 5 — поддон; 6 — роликовый конвейер; 7 — люк; 8 — спиральное устройство для перегрузки отливок; 9 — рабочий барабан; 10 — кожух; 11 — вентиляционный патрубок

соб широко применяют в массовом производстве мелких стальных отливок, когда из-за сложности конфигурации механические способы не обеспечивают полного удаления остатков формы. Очистку ведут в горячих водных растворах щелочей (45... 55%) при температуре раствора 90... 95 °С. При этом кремнезем формы SiO_2 взаимодействует со щелочью по реакции $2\text{KOH} + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{K}_2\text{SiO}_3 + \text{H}_2\text{O}$. Агрегат для очистки отливок (рис. 1.26) выполнен в виде барабана 9, вращающегося в ванне. Барабан изготовлен из полос со щелями 5... 6 мм. В стенках барабана имеются отверстия диаметром 10 мм. Через эти отверстия и щели жидкость из ванны поступает в барабан. В ванне имеются два отсека: в одном из них — в отсеке 4 — находится кипящий раствор КОН, а в другом — отсеке 2 — горячая вода для промывки отливок после выщелачивания. Для перемещения отливок барабан наклоняют на 3° с помощью пневмоцилиндра 1. Отливки передаются из отсека в отсек и в разгрузочный патрубок устройством 8, в которое отливки попадают при вращении барабана. Вода и раствор нагреваются нагревателями 3. Осадок, образующийся при выщелачивании остатков фор-

мы, скапливается на поддонах 5, установленных на роликовых конвейерах 6. Поддон периодически удаляют через люк 7. Ванна и барабан закрыты кожухом 10 с вентиляционными патрубками 11. Длительность очистки 1... 2 ч. Остатки формы подвергаются также и дополнительному механическому воздействию при взаимных соударениях отливок. Более производителен способ очистки отливок в расплавах солей, щелочей при температуре 800... 900 °С. В этом случае длительность операции очистки отливок составляет несколько минут. Одновременно может быть произведена термическая обработка стальных отливок (например, нормализация).

Дефекты отливок. Условно дефекты отливок разделяют на поверхностные, внутренние, отклонения размеров и конфигурации, несоответствия по химическому составу, структуре и механическим свойствам металла.

Рассмотрим дефекты поверхности. Повышенная шероховатость отливок появляется как следствие недостаточной подготовки поверхности пресс-формы, плохого качества поверхности моделей, плохого смачивания поверхности моделей суспензией, пробивания первого слоя суспензии песком при обсыпке, образования в полости формы налета кремнезема («пушка»).

Рабочая поверхность пресс-формы должна быть тщательно очищена от остатков модельного состава, воды, лишнего смазочного материала. Суспензия плохо смачивает модели, если на их поверхности остаются следы смазочного материала пресс-формы, а также если в модельном составе присутствуют компоненты, способствующие плохому смачиванию модели суспензией. Для устранения этого явления в суспензию вводят поверхностно-активные вещества (ПАВ), улучшающие смачивание модели суспензией. Пробивание первого слоя суспензии исключается благодаря повышению ее вязкости от применения для обсыпки первого слоя мелких песков марки IK_1O_101 .

Налет кремнезема в формах появляется при неполном гидролизе этилсиликата (ЭТС). Обычно это наблюдается при гидролизе малым количеством воды. В этом случае необходимо применять сушку в парах аммиака или увеличивать расход воды при гидролизе ЭТС.

Заливы, наплывы, «гребешки» на поверхности отливок образуются из-за проникания расплава в трещины оболочковой формы. Трещины в форме могут образоваться как следствие ее недостаточной прочности. В свою очередь, низкая прочность оболочковой формы вызывается использованием некачественных исходных материалов, плохим качеством гидролизованного раствора ЭТС или другого связующего, нарушениями режимов нанесения суспензии на модель и режимов сушки и прокаливания.

Обезуглероженный слой на отливках из углеродистых сталей можно уменьшить, вводя в состав суспензии карбюризатор, а также

используя способы, рассмотренные ранее. Возможно также проводить термическую обработку отливок в среде, обеспечивающей насыщение их поверхности углеродом.

К внутренним дефектам отливок относятся следующие:

- засоры (открытые или закрытые полости в теле отливки, заполненные материалом оболочковой формы) — обычно образуются из-за попадания песчинок в форму при формовке в сыпучий наполнитель, а также вследствие смывания расплавом «заусенцев» на форме, образующихся между моделью и литниковой системой при небрежной пайке;

- усадочные раковины и пористость — возникают из-за недостаточного питания отливки при затвердевании, при чрезмерно высокой температуре расплава и формы, из-за нарушений химического состава расплава;

- газовые раковины — образуются как следствие недостаточной газопроницаемости оболочковой формы и образования «воздушных мешков» при неправильной конструкции литниково-питающей системы;

- горячие трещины — являются результатом нетехнологичности конструкции отливки (сочетание тонких и массивных стенок, наличие острых углов, недостаточных размеров галтелей и переходов и т. д.), а также высокой температуры заливки, недостаточной податливости формы.

Отклонения размеров и конфигурации отливки от заданных могут быть вызваны разными причинами, главными из которых являются: нестабильность усадки модельного состава и деформация оболочковой формы в процессе прокаливании, а также нестабильность усадки металла отливки. Однако на точность размеров и конфигурации отливки влияние оказывают также режимы сушки и прокаливании оболочковой формы.

На нестабильность усадки пастообразных модельных составов в большой степени влияет, например, воздух, содержащийся в них. Воздух уменьшает объемную усадку модели, но вследствие непостоянства его содержания в разных моделях (в партии) вызывает существенную нестабильность размеров моделей при усадке.

На деформацию оболочковой формы наибольшее влияние оказывают полиморфные превращения ее материала при нагреве и вызванные ими изменения размеров рабочей полости. Поэтому перспективными для получения точных форм и соответственно отливок являются материалы, не имеющие полиморфных превращений при нагреве и охлаждении и обладающие малым ТКЛР (плавленый кварц, высокоглиноземистый шамот и т. д.).

Несоответствия химического состава и структуры отливок заданным могут быть вызваны отклонениями в составе шихтовых материалов, нарушениями режимов плавки сплава и режимов охлаждения отливки в форме.

Несоответствие механических свойств отливки заданным обычно вызывается несоответствием химического состава и структуры заданным, а также наличием усадочных дефектов — раковин, пористости в ее теле, повышенным содержанием газов в металле. Кроме использования известных металлургических средств для устранения этих дефектов внимание следует обращать также на технологичность конструкции отливки, конструкцию литниково-питающей системы, которая должна обеспечить питание усадки отливки, и на взаимное расположение отливок в блоке и отливок относительно элементов литниково-питающей системы. При неправильном расположении отдельные части отливок, расположенные близко одна к другой, могут создавать тепловой узел, приводящий к замедленному затвердеванию этих частей, образованию в них дефектов.

1.6. Изготовление керамических форм по постоянным моделям и керамических стержней

Способ основан на способности раствора гидролизованного этилсиликата (ЭС) (кислая среда) огеливаться в присутствии щелочей (основная среда). Длительность огеливания зависит от концентрации щелочи, введенной в раствор, и составляет 1...10 мин. Щелочи меньшей концентрации используют при изготовлении мелких отливок, а большей — для крупных отливок (рис. 1.27). Обычно этим способом изготавливают формы мелких отливок, а при производстве крупных отливок им получают только облицовочный слой формы. Облицовочная смесь содержит следующие компоненты: огнеупорную основу, связующий раствор и огеливатель.

Огнеупорная основа смеси обычно содержит 25 мас. ч. мелкого кварцевого песка и 75 мас. ч. пылевидного кварца. Связующее — гидролизованный раствор ЭТС-40 или ЭТС-50. Обычно для гидролиза этилсиликата применяют компоненты в следующих соотношениях: 36...50 мас. ч. ЭТС, 36...40 мас. ч. ацетона, 10...27 мас. ч. воды и 0,01...0,02 мас. ч. хлороводородной кислоты плотностью 1,19 г/см³, огеливателем служит 15 %-ный водный раствор NaOH из расчета 2 об. % связующего раствора. Расходы огнеупорной основы и связующего берут в соотношении 3,5 : 1 мас. ч. Облицовочную смесь готовят в лопатных и шнековых смесителях.

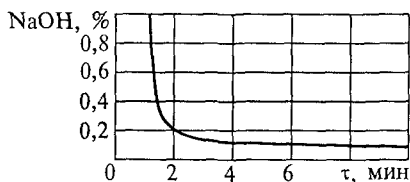


Рис. 1.27. Зависимость длительности огеливания от концентрации щелочи

Процесс изготовления двухслойной формы (рис. 1.28) ведут следующим образом. На плиту

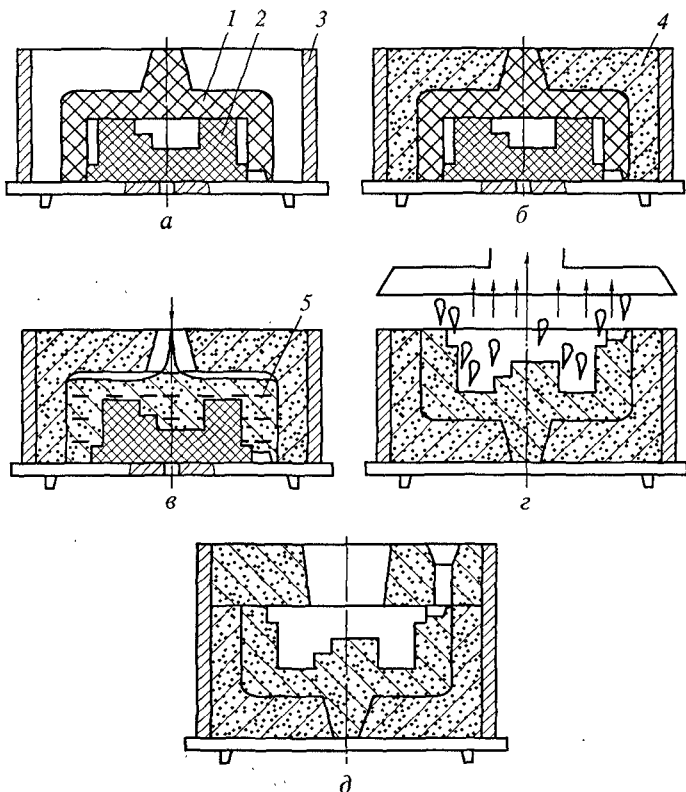


Рис. 1.28. Последовательность *а—д* изготовления объемной керамической формы:

а — установка модельного комплекта; *б* — заливка наполнительного слоя формы — жидкой самотвердеющей смеси (ЖСС); *в* — заливка облицовочного слоя — огнеупорной суспензии; *г* — удаление (испарение) растворителя; *д* — собранная и готовая к заливке форма; 1 — вспомогательная модель; 2 — модель отливки; 3 — опока; 4 — ЖСС; 5 — суспензия на основе ЭТС (облицовочный слой)

(рис. 1.28, *а*) помещают модельный комплект, состоящий из вспомогательной модели 1 и модели отливки 2. На поверхность вспомогательной модели наносят тонкий слой разделительного покрытия, после чего устанавливают опоку 3 и заливают в нее жидкую самотвердеющую смесь (ЖСС) 4 обычного состава или на основе шамота с жидким стеклом в качестве связующего (рис. 1.28, *б*). После отвердения этой смеси форму поворачивают на 180°, извлекают вспомогательную модель 1, устанавливают на плиту модель отливки 2 и форму с наполнительным слоем, далее заливают в пространство между моделью и наполнительным слоем облицовочную смесь — суспензию 5 на основе ЭТС (рис. 1.28, *в*). Через несколько минут в результате процесса гелеобразования суспензия переходит

в студнеобразное состояние. После этого модель отливки извлекают из формы. Растворитель с поверхности формы испаряется (рис. 1.28, з), его пары поджигают, в результате поверхность формы прогревается, отвердевает и на ней появляется сетка мелких трещин.

Микротрещины повышают газопроницаемость и податливость формы и мало влияют на шероховатость поверхности отливок. После выгорания растворителя форму прокаливают при температуре около 700°C , собирают (рис. 1.28, д) и заливают. Отливки имеют размеры высокой точности, шероховатость поверхности низкая. Припуски на обработку резанием могут быть минимальными.

Особенно эффективно использование данного способа для изготовления технологической оснастки из труднообрабатываемых сталей — вставок штампов, инструментов, элементов кокилей, пресс-форм и т. д. [10].

Изготовление керамических стержней. Узкие протяженные полости сложной конфигурации в отливках, к которым предъявляются высокие требования к точности размеров и геометрии, получают с помощью керамических стержней с неорганическими связующими или без них. Керамические стержни должны обладать высокой (до 10 Н/мм^2 и более) прочностью при изгибе, должны быть негызотворными, что вызвано условиями их взаимодействия с расплавом при заливке формы (рис. 1.29).

Разработаны и применяются два способа изготовления керамических стержней: химического упрочнения золей кремнекислот (способ огеливания) и спекания керамики (в присутствии жидкой фазы и без нее) при температурах $(0,7 \dots 0,8) t_{\text{пл}}$.

В случае способа огеливания стержневая смесь состоит из огнеупорной основы — кварцевых песков, электрокорунда, а также связующего и огеливателя. Для снижения шероховатости поверхности обычно используют двухфракционный состав огнеупорной основы — пылевидную и зернистую составляющие. В качестве свя-

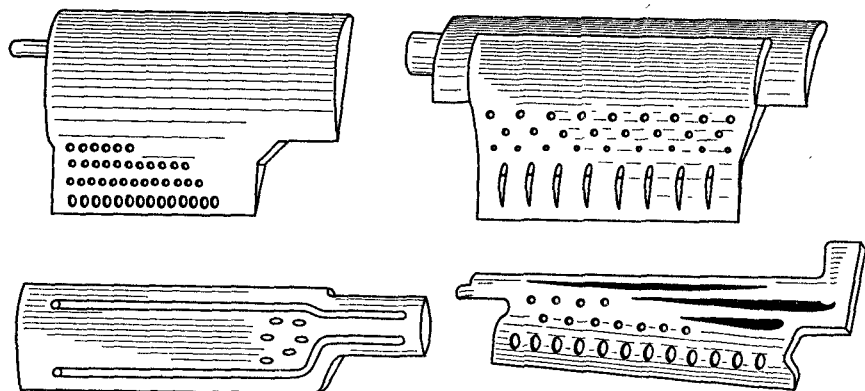


Рис. 1.29. Керамические стержни

зующего применяют гидролизированный раствор этилсиликата, огеливатели — водные растворы NaOH. Пример состава смеси: огнеупорная основа — пылевидный кварц 75 мас. ч. и песок кварцевый 25 мас. ч.; связующее — гидролизированный раствор этилсиликата; огеливатель — 12%-ный водный раствор NaOH. Расход составляющих: огнеупорная основа — 100 мас. %, связующее — 25...33 мас. % от расхода огнеупорной основы; огеливатель — 8...9 мл/кг связующего раствора.

Смесь запрессовывают в металлический стержневой ящик под давлением 5...7 МПа. В результате взаимодействия между кислым связующим раствором ($\text{pH} < 7$) и щелочными огеливателями ($\text{pH} > 7$) смесь переходит сначала в эластичное, а затем в твердое состояние из-за огеливания связующего. Эластичное состояние смеси приобретает через 1...2 мин, после чего верхнюю часть ящика снимают. Это способствует интенсивному испарению растворителя с поверхности стержня. Из-за уменьшения объема жидкой фазы при переходе в твердое состояние в стержне образуется сетка трещин. Чтобы уменьшить количество и размеры трещин, можно поджечь пары спирта или поместить стержень в вакуумную камеру. Влияние процесса образования сетки трещин, с одной стороны, можно рассматривать как положительное, так как увеличивается газопроницаемость стержня, а с другой, как отрицательное, так как прочность стержня понижается и не достигает 10 Н/мм^2 при испытании на изгиб. Прочность можно повысить, поместив стержень в процессе отвердевания в автоклав (с давлением до 0,5 МПа) или применив способ спекания.

При использовании способа спекания смесь для спекания без жидкой фазы должна содержать огнеупорную основу — кварц, корунд и пластификатор (14...16 мас. % парафина). Пластификатор (парафин) расплавляют, вводят в огнеупорную основу и смесь тщательно перемешивают, затем ее разогревают до температуры 80...100 °С. Далее полученную пастообразную смесь запрессовывают в металлическую пресс-форму. После охлаждения в пресс-форме стержень извлекают, помещают в печь, используя в качестве опоры подсыпку из прокаленного при 1200 °С глинозема, абсорбирующего углеводороды. При нагреве печи и выдержке ($t = 180...200 \text{ °С}$, $\tau = 2...6 \text{ ч}$) происходит испарение пластификатора, что сопровождается значительной усадкой стержня (8...10 % линейной усадки). Далее нагрев стержня продолжают, доводя его до $t = 1000...1300 \text{ °С}$, и выдерживают при этой температуре несколько часов в зависимости от материала, размеров и толщины стенки стержней.

После охлаждения печи стержни извлекают и передают на участок изготовления моделей. Для снижения температуры спекания в стержневую смесь вводят «плавни»: в корундовые — Na_2SiO_3 ($t_{\text{пл}} = 700 \text{ °С}$), в кварцевые — основные оксиды CaO, MgO. Стержни,

спеченные без жидкой фазы, не разупрочняются при заливке, и их можно изготавливать очень тонкими; стержни, имеющие большую толщину стенки, спекают в присутствии жидкой фазы.

Готовый стержень устанавливают в пресс-форму для изготовления моделей, затем запрессовывают или заливают модельный состав. После изготовления оболочки формы и выплавления модели стержень остается в форме, зафиксированный стержневыми знаками.

1.7. Автоматизация технологического процесса

Качество отливок и эффективность производства при литье по выплавляемым моделям зависят от стабильности технологических режимов на всех основных этапах этого многооперационного процесса. Например, отклонения в соотношении компонентов модельного состава или температуры его запрессовки в пресс-формы могут привести к браку моделей по усадке; нарушения режимов гидролиза этилсиликата и изменение вязкости суспензии — к браку оболочковых форм; отклонения режимов прокаливания от заданных — к браку форм и отливок.

Вместе с тем для многих операций технологического процесса требуется выполнение сложных манипуляций (изготовление моделей, сборка их в блоки, формовка и т. д.). Причем выполнение многих операций связано с тяжелыми условиями труда. Поэтому автоматизация технологического процесса изготовления отливок в оболочковых формах решает следующие основные задачи: повышение качества отливок и производительности труда путем стабилизации режимов технологического процесса на всех его операциях; освобождение людей от выполнения трудоемких, монотонных работ и улучшение условий их труда.

В зависимости от характера производства (единичное, серийное, массовое), номенклатуры отливок и предъявляемых к ним требований проблема автоматизации производства отливок в оболочковых формах решается различно.

В массовом производстве отливок из углеродистых и низколегированных сталей используют автоматизированные линии, выполняющие следующие операции: приготовление модельных составов; изготовление моделей; приготовление суспензии; изготовление оболочковых форм; обжиг форм; заливка их расплавом; охлаждение отливок; предварительная очистка отливок от остатков формы и отделение их от литников; окончательная очистка отливок и термическая обработка отливок. Такие линии позволяют комплексно автоматизировать производство отливок.

В серийном производстве осуществляется автоматизация выполнения отдельных операций, таких, как изготовление моделей

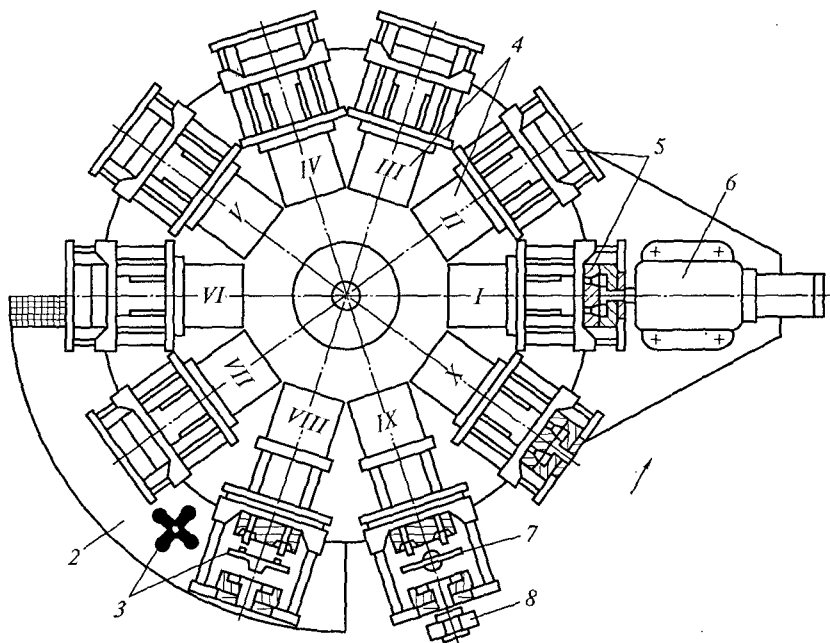
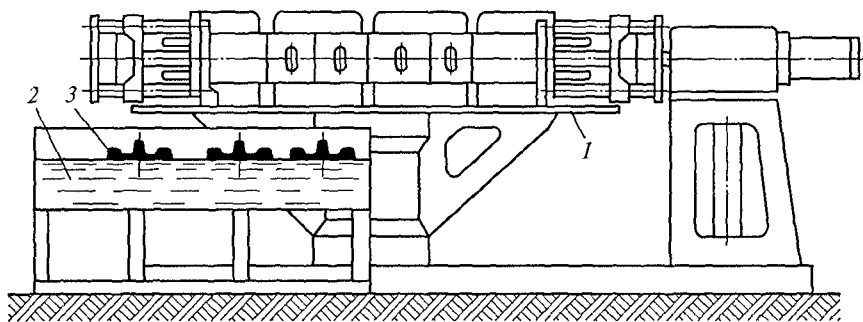


Рис. 1.30. Схема карусельного автомата для изготовления выплавляемых моделей:

1 — стол машины; 2 — водяной конвейер; 3 — модель; 4 — пневмоцилиндры; 5 — пресс-формы; 6 — шприц; 7 — кронштейн с блоком форсунок; 8 — пневмоцилиндр привода иглы для очистки литникового канала прессформы; I — заправка модельного состава; II—VII — охлаждение моделей в пресс-формах; VIII — раскрытие пресс-форм и выталкивание моделей; IX — очистка и смазывание пресс-форм; X — закрытие пресс-форм

или звеньев модельных блоков, приготовление суспензии, изготовление оболочковых форм, их прокаливание и т. д. Для автоматизации этих отдельных операций используют унифицированные агрегаты, которые в зависимости от размеров моделей и годовой

производительности участка, цеха составляют комплекты технологического оборудования. Однако ряд операций выполняется вручную, как, например, сборка моделей в блоки пайкой и т. д.

Автоматизированные линии для массового производства и комплекты технологического оборудования для серийного и мелко-серийного производства имеют в своем составе многие виды однотипного оборудования. Это, например, установки для приготовления пастообразного модельного состава (см. рис. 1.5), карусельные автоматы для изготовления моделей (рис. 1.30). В случае последних пресс-формы с вертикальным разъемом установлены на столе 1, который вращается с помощью электродвигателя, редуктора и мальтийского креста. Поворот стола от одной позиции к другой происходит через 10... 20 с, что регулируется сменой шестерен привода. Разборка и сборка пресс-форм производятся пневмоцилиндрами 4, вращающимися вместе со столом и пресс-формами 5. На позиции I модельный состав шприцем 6 запрессовывается в пресс-форму, а на позициях II—VII модели в пресс-формах охлаждаются. На позиции VIII пресс-форма раскрывается, модель 3 выталкивается из пресс-формы и падает на водяной конвейер 2. На позиции IX рабочая полость пресс-формы очищается и смазывается. Литниковый канал в пресс-форме прочищается иглой, приводимой в движение пневмоцилиндром 8. На кронштейне 7 расположена форсунка для обдува пресс-формы сжатым воздухом и нанесения смазочного материала. При движении стола 1 кронштейн находится в нижнем положении, при остановке он откидывается вверх и располагается между матрицами пресс-формы. На позиции X пресс-форма закрывается.

В массовом производстве суспензию готовят в автоматизированных установках (см. рис. 1.20).

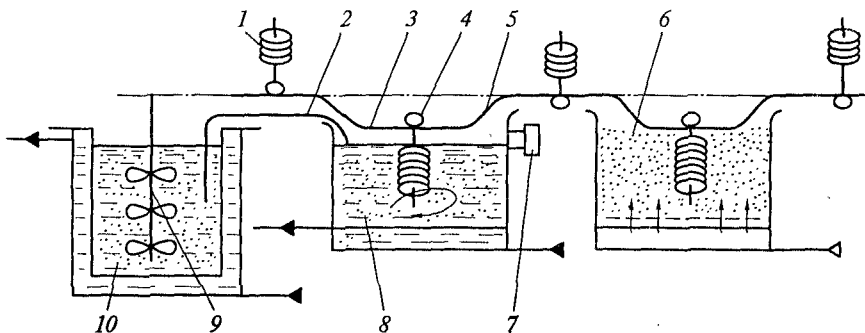


Рис. 1.31. Схема агрегата для нанесения суспензии на блоки моделей и обсыпки их песком:

1 — блок моделей; 2 — трубопровод для подачи огнеупорной суспензии; 3 — конвейер; 4 — подвеска; 5 — копир; 6 — пескосып; 7 — датчик уровня; 8 — ванна с суспензией; 9 — мешалка; 10 — бак с огнеупорной суспензией

Для нанесения суспензии на блоки моделей и обсыпки их песком используют установки, пример схемы которых приведен на рис. 1.31. Готовая суспензия поступает в бак 10, оснащенный мешалкой 9. Суспензия по трубопроводу 2 подается в ванну 8 с датчиком уровня 7. Блоки моделей 1, подвешенные на конвейере 3, отклоняясь по копиру 5, направляются в ванну 8 с суспензией, поворачиваясь вокруг своей продольной оси для равномерного нанесения суспензии. Затем блок на подвеске 4 перемещается в пескосып 6 с кипящим слоем песка для обсыпки блока. После нанесения обсыпки блоки направляются в камеру воздушно-аммиачной сушки.

В автоматизированных линиях для массового производства отливок используют автоматические системы машин, например, для прокаливания, формовки, заливки форм, выбивки, охлаждения отливок.

В таких агрегатах технологические установки объединены транспортным устройством в единую систему. Например, агрегат для формовки и заливки (рис. 1.32) состоит из газовой печи 6 прокаливания форм, заливочной карусели 8 со звездочками 9 и камеры охлаждения 2, объединенных конвейером 5.

Формы устанавливаются на подвески конвейера 5, литниковую воронку закрывают колпачком, который предохраняет полость формы от засоров песком при формовке на подвеске. Конвейер транспортирует подвески с оболочковыми формами через печь прокаливания. Прокаленные формы после выхода из печи формуют в опорный (горячий) материал на карусели. Опускание подвесок выполняется пневматическим цилиндром. На участке формовки блоков в карусели с помощью неподвижно установленных труб 7 с отверстиями создается зона кипящего слоя песка. После заливки форм и затвердевания отливок блок на подвеске извлекается «лифтом» 1 из карусели 8 и транспортируется в камеру охлаждения 2. Блоки отливок охлаждаются распыленной водой. Обломки оболочковой формы, отделившиеся от блока 3 отливок, падают на конвейер 4 и направляются на регенерацию. Производительность агрегата 90 блоков/ч. Скорость конвейера 0,6 м/мин. Шаг подвесок 400 мм. Длительность прокаливания 24 мин.

Структура агрегата обеспечивает его высокую производительность. Но при использовании оболочковых форм из кварцевых материалов значителен брак отливок из-за трещин в формах, засоров при формовке. Неполная синхронизация работы агрегата и плавильных печей приводит к тому, что металл заливается в формы, нагретые до разных температур. Температура песка в карусели 450...550 °С. В результате возникает брак по недоливу тонкостенных отливок.

Рассмотренные выше автоматизированные агрегаты и комплекты оборудования предназначены для изготовления отливок

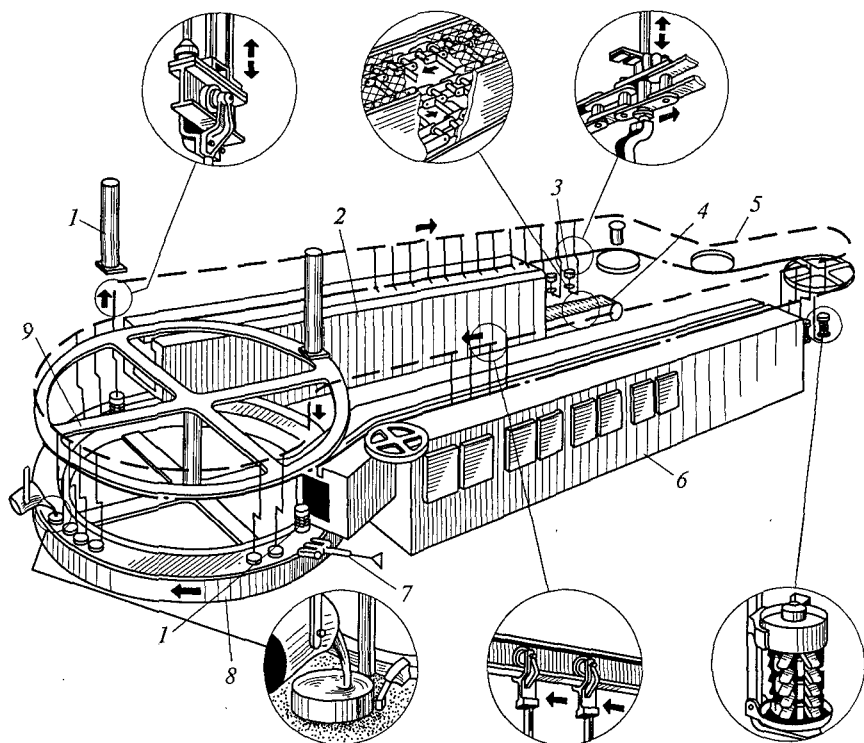


Рис. 1.32 Схема агрегата для прокаливания, формовки, заливки и выбивки оболочковых форм:

1 — «лифты» — пневматические устройства для спуска оболочковых форм в опорный материал в зоне кипящего слоя и извлечения блока затвердевших отливок; 2 — камера охлаждения; 3 — блок отливок на позиции очистки от остатков керамики; 4 — конвейер для удаления остатков керамики; 5 — конвейер; 6 — газовая печь; 7 — трубы для создания зоны кипящего слоя песка; 8 — заливочная карусель; 9 — звездочка привода цепного конвейера

массой до 1,5 кг в массовом и серийном производстве. При изготовлении средних и крупных отливок в мелкосерийном производстве для нанесения суспензии, обсыпчного материала на модели, удаления моделей из оболочек используют манипуляторы. Эти устройства позволяют исключить тяжелый ручной труд, связанный с транспортировкой и манипуляциями с тяжелыми блоками моделей, формами.

Повысить степень автоматизации в единичном и серийном производстве отливок при литье по выплавляемым моделям возможно, применяя концепцию гибких производственных систем ЛВМ (ГПС ЛВМ) (рис. 1.33). Известный на сегодня принцип создания ГПС — компоновка гибких комплексов из отдельных модулей. В малооперационных процессах литья в металличе-

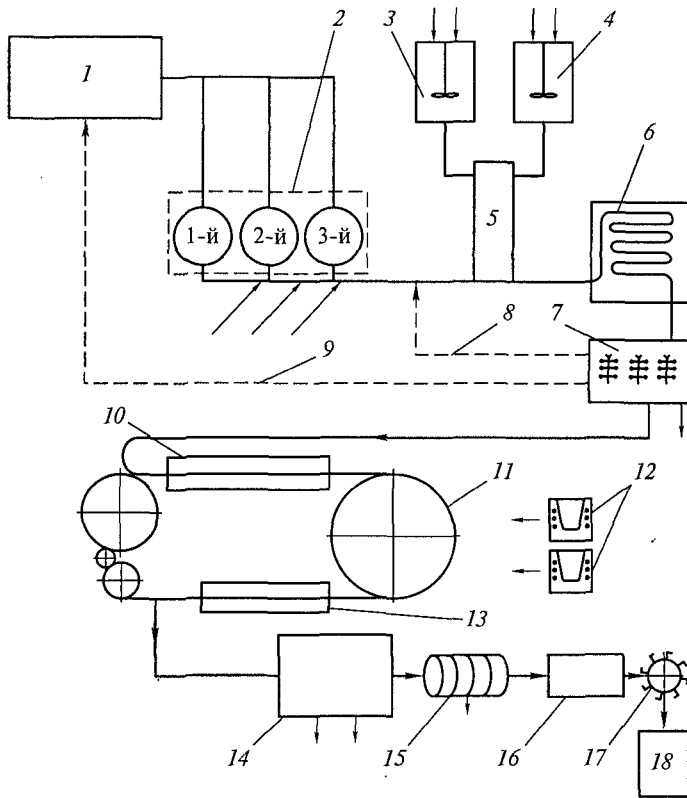


Рис. 1.33. Блок-линия для литья по выплавляемым моделям:

1 — агрегат для приготовления модельного состава; 2 — блок трех автоматов для изготовления модельных звеньев; 3, 4 — гидрокамеры с огнеупорной суспензией (стрелками показана подача этилсиликата, воды и других компонентов суспензии); 5 — участок нанесения покрытия и обсыпки; 6 — сушильная камера; 7 — камера для выплавления модельного состава; 8 — возврат стояков; 9 — возврат жидкого модельного состава; 10 — газовая печь; 11 — заливочная карусель; 12 — охлаждающая камера; 13 — агрегат для виброочистки отливок и отделения отливок от стояков; 14 — барабан для выщелачивания остатков керамики; 15 — печь для термической обработки отливок в защитной среде; 16 — полуавтомат для зачистки отливок; 17 — участок сортировки и складирования отливок

ские формы комплекс составляется из однотипных модулей на базе однотипного технологического агрегата.

Структурная схема процесса литья по выплавляемым моделям, включающая последовательно изготовление моделей, форм, отливок, финишные и контрольные операции, предопределяет создание комплекса ГПС ЛВМ из модулей разного функционального назначения.

Такая схема (см. рис. 1.33) допускает структурную гибкость: можно компоновать поточную линию из наиболее приемлемых для конкретных условий модулей. При разработке ГПС ЛВМ требуется обеспечить межмодульные совместимости: технологическую, конструктивную, информационную.

Особенностью построения поточной линии ГПС ЛВМ является невозможность устранения какого-либо отдельного модуля или их перестановки. Критерием выбора рациональной конструкции модуля может служить какой-либо из следующих параметров: габаритный размер отливки, толщина стенок, вид сплава, тип производства отливок, свойства формовочных материалов.

1.8. Проектирование технологического процесса

Исходные данные. При проектировании технологического процесса изготовления отливки исходными данными являются программа ее выпуска, чертеж детали, технические условия, обуславливающие требования к ее качеству, а также особые условия, определяемые чаще всего социальными задачами развития производства в цехе, на предприятии, в целом в отрасли народного хозяйства.

Проектирование технологического процесса начинают с анализа технологичности конструкции отливки, возможности и целесообразности ее изготовления тем или иным способом литья.

Анализ технологичности конструкции отливки. На данном этапе проектирования устанавливается соответствие отливки требованиям литейной технологии с учетом последующей технологии обработки резанием и сборки. На этом этапе изучают чертеж детали, технические условия, определяющие требования к показателям ее качества, а также особые условия производства.

Сплавы и металлы для изготовления отливок в оболочковых формах могут быть самыми разными. Наиболее эффективно литье в оболочковые формы по выплавляемым моделям труднообрабатываемых резанием сплавов, а также сплавов с особыми свойствами и структурой. Однако максимальное приближение конфигурации отливки к готовой детали, малые припуски на обработку резанием делают эффективным литье в оболочковые формы по выплавляемым моделям для углеродистых и легированных сталей, медных и алюминиевых сплавов, чугуна.

Важными показателями технологичности конструкции отливки являются ее габаритные размеры и масса. Литьем в оболочковые формы по выплавляемым моделям изготавливают отливки массой от нескольких граммов до 300 кг. Размеры отливок могут составлять от нескольких миллиметров до 1 м. Отливки могут быть получены с минимальной толщиной стенок 0,6 мм, если

протяженность этой стенки на превышает 5...6 мм, с толщиной 0,7 мм при протяженности 10 мм. Наиболее часто толщина стенок отливок составляет 2...5 мм, а их протяженность — 20...100 мм и более. Плоские тонкие стенки могут быть получены в отливке лишь при определенной площади. Плоские и тонкие стенки большой площади либо оказываются незаполненными, либо имеют искаженную плоскость вследствие деформаций формы. В этом случае вместо плоской стенки целесообразно выполнять искривленную стенку или предусматривать отверстия в плоской стенке. Последний прием одновременно обеспечивает жесткость оболочковой формы. Трудно выполнимы небольшие отверстия в местах отливки, в которых сосредоточена большая масса металла (массивная стенка), а также если имеются глухие отверстия и некруглые отверстия.

Минимальные отверстия диаметром 0,5 мм можно получить в стенках толщиной 1 мм в отливках из цветных сплавов; в отливках из стали минимальный диаметр отверстия 1,5 мм можно выполнить в стенке толщиной примерно 1,5 мм. Можно изготовить отливки со значительно различающимися по толщине стенками, т. е. когда тонкая стенка примыкает к более массивной. Соотношение толщин стенок допускается не более 1 : 4. Отливки могут иметь массивные узлы, но при этом необходимо продумывать возможность питания этих узлов при затвердевании. Для этого массивный узел присоединяют через питатель к стояку (при изготовлении мелких и средних по массе отливок) или используют прибыли (в крупных отливках). Направленное затвердевание крупных отливок часто обеспечивается технологическими напусками, которые назначает технолог при разработке технологического процесса.

При проектировании пресс-форм следует иметь в виду, что модель из пресс-формы должна извлекаться без разрушения. Поэтому на стенках пресс-форм необходимо назначать уклоны. Если вертикальные стенки отливок обрабатываются, то уклоны следует назначать всегда в «плюс»; такие же уклоны должны быть предусмотрены на тонкостенных отливках с толщиной стенок менее 5 мм. При большей толщине стенок (5...10 мм) уклоны должны быть назначены в «плюс-минус», на отливках с толщиной стенок более 10 мм — только в «минус». Величина уклонов зависит от материала пресс-формы. В отдельных случаях, когда требуется получать в отливке необрабатываемые полости, уклоны не назначаются.

Сопряжения стенок встречаются в отливках в разных вариантах — две, три, четыре стенки сопрягаются под разными углами. Всегда необходимо обеспечивать плавность перехода от одной стенки к другой, назначать радиусы округлений, галтели; пользоваться при этом следует рядом предпочтительных значений радиусов: 1; 2; 3; 5; 8; 10 мм и т. д. Радиус галтели внутреннего угла, образованного двумя стенками отливки, $R = (l_0 + l_1)/S$, где l_0 , l_1 — толщи-

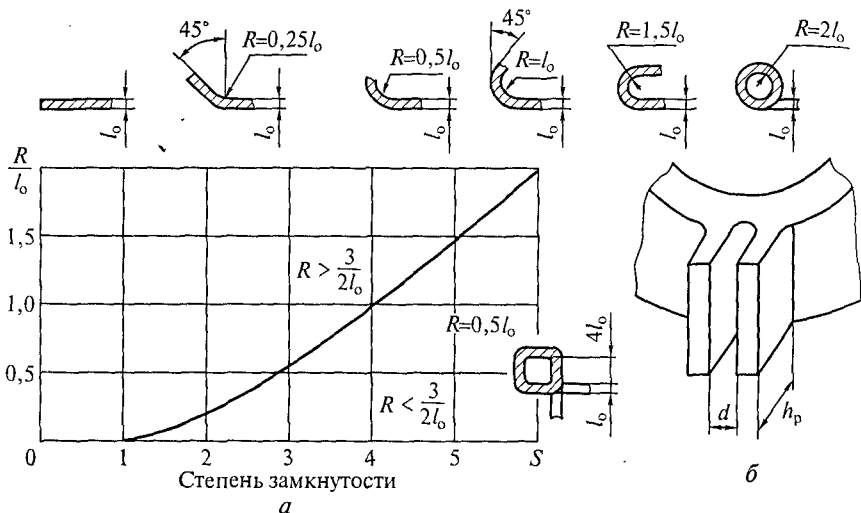


Рис. 1.34. Зависимости для определения степени замкнутости (а) и конструкции пазов в отливке (б)

ны сопрягаемых стенок отливки. Степень замкнутости S определяется по графику (рис. 1.34, а).

Если в отливке сопряжены три стенки, то радиусы скруглений определяются аналогично предыдущему случаю. Сопряжения четырех стенок необходимо рассредоточивать, чтобы не создавать тепловых узлов. Пазы и полости в отливках желательно применять реже, так как для их оформления в модели необходимо в конструкции пресс-формы предусматривать дополнительные стержни. Ширина паза (рис. 1.34, б) может быть получена при высоте ребра $h_p \leq 2d$ (для цветных сплавов $d \geq 1$ мм, для стали $d \geq 2,5$ мм). Для обеспечения жесткости и устойчивости формы в месте расположения полостей последние необходимо заменять сквозными отверстиями. Это облегчает и очистку отливок от остатков формы.

Бобышки упрочняют стенку в местах расположения отверстий под крепежные элементы. Высоту бобышек следует назначать в зависимости от диаметра отверстия или толщины стенки $h_p = (4 \dots 6)d$ или $h_p \geq 2,5l_0$, где h_p — высота стенки вместе с бобышкой; d — диаметр отверстия; l_0 — толщина стенки отливки. Бобышки располагают на внешних поверхностях отливок, это не усложняет конструкцию пресс-форм.

Таким образом, в результате анализа технологичности конструкции детали технолог оценивает принципиальную возможность изготовления отливки по выплавляемым моделям и определяет, какие изменения необходимо внести в конструкцию детали для повышения уровня ее технологичности. Предложения технолога должны быть согласованы с конструктором детали.

Разработка чертежа отливки. Данный этап работы включает выбор положения отливки при заливке, места подвода расплава, конструкции литниково-питающей системы, назначение припусков на обработку резанием, уклонов, допусков на размеры согласно существующим нормативам и рекомендациям.

Во-первых, назначается поверхность разреза. Обычно разъемной выполняется только пресс-форма. Поэтому вопрос о назначении поверхности (плоскости) разреза решается совместно с проработкой конструкции пресс-формы. Выбор поверхности разреза должен обеспечивать удобство извлечения модели из формообразующей полости, минимальное число стержней (подвижных и неподвижных). Экономичнее вариант, когда в пресс-форме используют только неподвижные стержни, а также плоскую поверхность разреза.

Далее назначаются припуски на обработку резанием. Припуски назначают в зависимости от требований к точности отливки и от ее размеров в соответствии с действующими стандартами и нормативами. Обычно припуски находятся в пределах 0,5...3 мм. Припуски на обработку резанием изображают тонкой сплошной линией.

Вопрос выбора места подвода расплава должен решаться технологами одновременно с выбором типа литниково-питающей системы (ЛПС). Например, для отливок массой до 1,5 кг целесообразно назначать I тип ЛПС, особенно в тех случаях, когда отливки имеют отдельные массивные узлы. Питатель должен подводиться к массивным местам отливки, так как питание осуществляется от центрально расположенного стояка. В случае особо тонкостенных отливок, отливок из тугоплавких сплавов обычно требуется конструировать разветвленную систему литниковых каналов для надежного заполнения формы. Но при этом необходимо соблюдать направленность заполнения полости формы, не создавать в форме замкнутых воздушных объемов.

Главное при разработке ЛПС — обеспечить последовательное заполнение формы расплавом и направленное затвердевание и питание отливки при усадке.

Определение размеров полостей пресс-форм. Для решения задачи определения размеров используют приближенный метод, что объясняется значительной нестабильностью величины усадки модельного состава, деформациями при прокаливании формы, нестабильностью усадки залитого металла. Суммарная величина усадки (модельный состав и металл) меньше вследствие расширения оболочковой формы при нагреве. Для расчета размеров полости пресс-формы (с учетом расширения формы при нагреве) используют следующие значения суммарной усадки материала отливки, %: сталь углеродистая — 1,25...1,6; сталь легированная — 1...2; чугун серый — 0,5...0,65; чугун ковкий — 0,95...1,1; алюминиевые спла-

вы — 1... 1,3; латуни — 0,95... 1,25; бронза оловянистая — 0,75... 1; бронза алюминиевая — 1,45... 1,55.

Традиционно исполнительные размеры полости пресс-формы подсчитывают по приближенным формулам:

для наружных (охватываемых) размеров отливки

$$D_n = D_o + D_o y_{\text{общ}}/100 - 0,5\delta_o = D_o(1 + y_{\text{общ}}/100) - 0,5\delta_o;$$

для внутренних (охватывающих) размеров отливки

$$D_n = D_o(1 + y_{\text{общ}}/100) + 0,5\delta_o,$$

где D_n — номинальный размер формообразующей полости пресс-формы, мм; D_o — номинальный размер отливки, мм; $y_{\text{общ}}$ — суммарная линейная усадка, %:

$$y_{\text{общ}} = y_m + y_o - y_f,$$

где y_m — свободная линейная усадка модели, %; y_o — свободная линейная усадка металла отливки, %; y_f — относительное расширение формы при нагреве (прокаливании) перед заливкой, %; δ_o — допуск на размер отливки, мм.

В этих формулах не учтено, что и модель, и отливка в отдельных своих местах испытывают затрудненную усадку по причине силового взаимодействия соответственно с пресс-формой и оболочковой формой. Затрудненная усадка всегда меньше свободной. Не учтен эффект расширения формы в период заливки. Это расширение является функцией разности температур металла и формы при заливке и ТКЛР материала формы.

Учет этих факторов при доводке размеров пресс-формы возможен на основе специальных экспериментов. Точность размеров формообразующей полости пресс-формы следует назначать на 1—2 квалитета выше требуемой точности отливки. Назначаемый допуск на размер в пресс-форме обычно не выше $0,2\delta_o$ на тот же размер отливки.

О формировании размеров отливок. Принципиальная схема формирования размеров отливок при литье по выплавляемым моделям приведена на рис. 1.35.

При известных значениях изменений размеров оснастки, моделей форм, отливок возможно обоснованное назначение исполнительных размеров оснастки, что позволяет сократить время на выполнение доводочных операций, повысить точность размеров отливок. При этом необходимо иметь в виду, что в литейных технологиях дисперсия размеров, в отличие от обработки резанием, больше.

Шероховатость формообразующих поверхностей пресс-формы обычно составляет $Ra = 0,63... 0,32$ мкм. Выполнение полости с меньшей шероховатостью не приводит к существенному снижению шероховатости поверхности отливки, но удорожает пресс-форму.

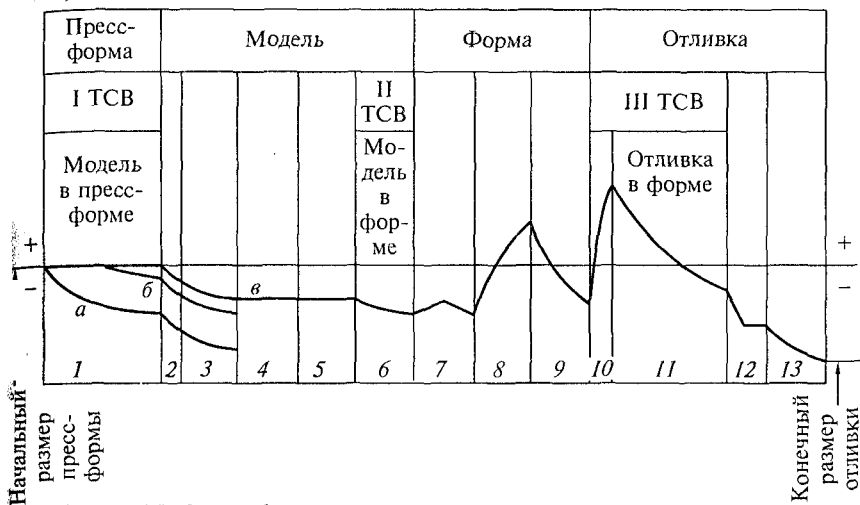


Рис. 1.35. Схема формирования размеров отливок при литье по выплавляемым моделям:

a — модель без воздуха; *b* — модель с воздухом; *в* — полное затруднение усадки; 1 — модель в пресс-форме; 2 — упругое сжатие модели; 3 — охлаждение модели; 4 — хранение; 5 — нанесение покрытия; 6 — сушка покрытия; 7 — выплавление; 8 — прокалывание формы; 9 — охлаждение перед заливкой; 10 — заливка; 11 — охлаждение отливки в форме; 12 — очистка; 13 — охлаждение отливки; -, + — уменьшение или увеличение размера; I ТСВ, II ТСВ, III ТСВ — термосиловое взаимодействие соответственно между моделью и пресс-формой, моделью и оболочковой керамической формой (ОКФ), отливкой и ОКФ

В зависимости от типа производства технолог должен выбрать горизонтальное (для единичного, серийного производства) или вертикальное (для массового производства) расположение разреза пресс-формы, а также соответствующее оборудование для изготовления моделей.

Литниково-питающая система при литье в оболочковые формы предназначена для заполнения формы расплавом, питания затвердевающей отливки, а также часто является конструкцией, на которой монтируются модели.

Поэтому при разработке конструкции литниково-питающей системы следует учитывать условия получения качественных отливок и необходимость обеспечения механической прочности элементов конструкции (например, питателя), а также технологичность блока на всех операциях процесса при изготовлении модели, формообразовании, отрезке отливок.

Типы литниково-питающих систем. Различают три типа литниково-питающих систем (рис. 1.36).

Литниково-питающую систему I типа применяют при изготовлении отливок массой до 1,5 кг. Блок моделей можно собирать из отдельных звеньев (рис. 1.36, I, а), монтируемых на стойке. В этом

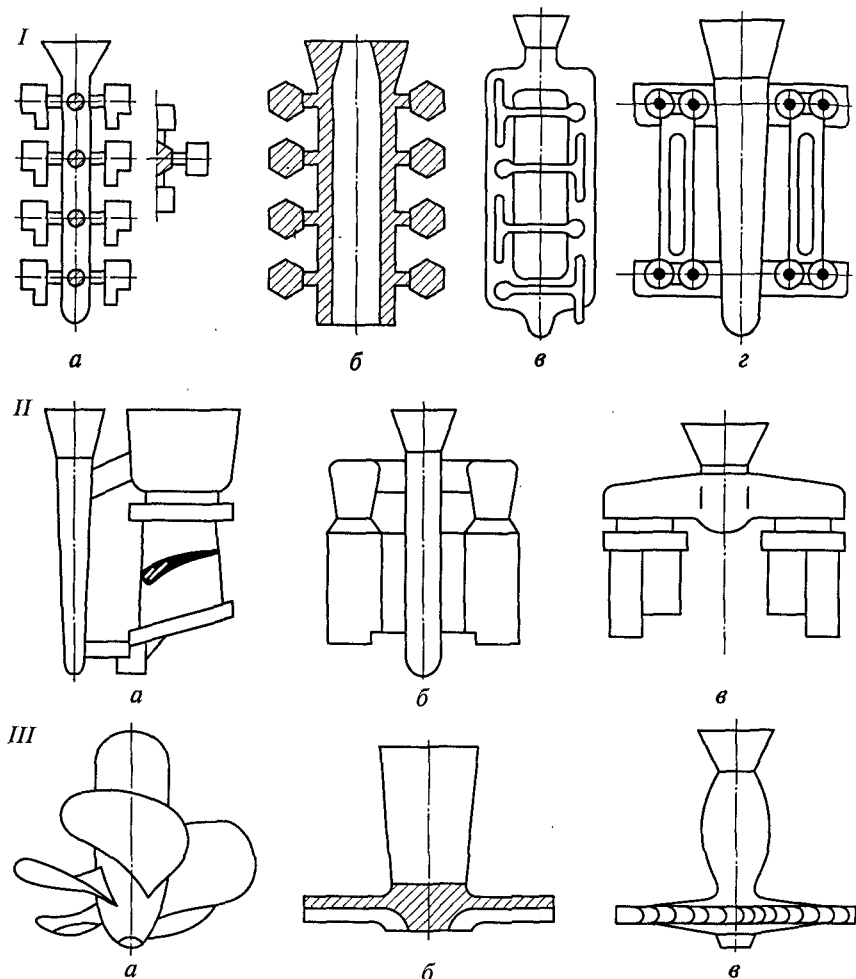


Рис. 1.36. Основные типы литниково-питающих систем:

I — центральный стояк: *a* — для компактных отливок с одним тепловым узлом; *б* — для компактных отливок с одним тепловым узлом (стояк полый); *в* — для отливок типа плиты с распределенными тепловыми узлами (стояки параллельные); *г* — лучевые ярусные коллекторы для отливок с несколькими тепловыми узлами; *II* — местная прибыль и коллектор: *a* — четырехместная при центральном расположении стояка; *б* — для отливок типа лопаток с использованием вертикального щелевого питателя; *в* — местная прибыль и коллектор; *III* — верхняя прибыль: *a* — гребной винт; *б* — ротор; *в* — рабочее колесо газовой турбины

случае стояк служит центральным элементом при сборке моделей и прибылью для питания отливок. При изготовлении тонкостенных отливок, модели которых могут деформироваться, стояк является опорным элементом (рис. 1.36, *I, a—г*). Сборку такого бло-

ка моделей осуществляют с помощью пайки. Расплав подводится в массивные узлы отливок. Литниковая система не имеет питающих элементов-прибылей, так как отливка питается от стояка; отсутствуют также элементы, регламентирующие скорость заливки и задерживающие шлак и оксиды.

Литниково-питающая система II типа (рис. 1.36, II, а—в) применяется для изготовления отливок сложной конфигурации и ответственного назначения, тонкостенных, а также отливок из легированных сталей средней и большой массы. Литниковая система представляет собой стояк в сочетании с местными (рассредоточенными) прибылями. Такая литниковая система позволяет регулировать скорость заполнения формы с помощью суженного сечения.

Литниково-питающая система III типа (рис. 1.36, III, а—в) применяется для изготовления отливок типа крыльчаток, гребных винтов, имеющих тонкостенные элементы и массивную центральную часть, питаемую прибылью. Заливаются такие отливки через прибыль.

Расчет размеров элементов литниково-питающей системы для отливок, изготавливаемых в оболочковых формах по выплавляемым моделям, основан на соблюдении принципа последовательного затвердевания. На практике наибольшее применение получили два способа расчета: по модулю охлаждения (приведенным толщинам) и диаметрам вписанных сфер. Первый способ используют для литниково-питающих систем I типа, а второй — для систем II и III типов. Оба способа основаны на обобщении и использовании экспериментальных и производственных данных.

Первый способ разработан М. Л. Хенкиным для литниково-питающих систем I типа.

Исходными данными для расчета являются модуль охлаждения массивного узла отливки (отношение его объема и площади поверхности) и масса отливки.

Модуль охлаждения питателя (отношение площади поперечного сечения питателя к его периметру) определяют по эмпирической формуле

$$\delta_{\text{п}} = 2(\delta_0^3 G)^{1/4} l_{\text{п}}^{1/3} / \delta_{\text{ст}}, \quad (1.1)$$

где δ_0 — модуль охлаждения отливки или ее массивного узла, мм; G — масса отливки, г; $l_{\text{п}}$ — длина питателя, мм; $\delta_{\text{ст}} = 0,5r_{\text{ст}}$ — модуль охлаждения цилиндрического стояка, выраженный через его радиус $r_{\text{ст}}$, мм.

Если известны размеры питателя, то определяют модуль охлаждения стояка

$$\delta_{\text{ст}} = 2(\delta_0^3 G)^{1/4} l_{\text{п}}^{1/3} / \delta_{\text{п}}. \quad (1.2)$$

В формулах (1.1) и (1.2) отражена зависимость между размерами элементов литниково-питающей системы и отливки. Качественно

Диаметр стоек $D_{ст}$ и модули охлаждения δ_n (приведенные толщины) в зависимости от приведенной толщины узла δ_0 и массы G отливки

G, г	Характеризуемый параметр	Значения параметра в зависимости от приведенной толщины узла отливки δ_0 , мм												
		1,1	1,8	2,5	3,0	3,5	3,9	4,2	4,6	5,1	5,8	6,7		
50	$D_{ст}$, мм	20	20	25	25	30	30	—	—	—	—	—	—	—
	$\delta_{пр}$, мм:	1,75	2,50	2,50	3,00	3,00	—	—	—	—	—	—	—	—
	при $l_n = 4$ мм при $l_n = 8$ мм	2,00	3,00	3,20	3,50	3,75	—	—	—	—	—	—	—	—
50...100	$D_{ст}$, мм	20	20	25	30	30	30	30	35	—	—	—	—	—
	$\delta_{пр}$, мм:	2,00	2,75	3,00	3,50	3,75	4,00	3,50	—	—	—	—	—	—
	при $l_n = 4$ мм при $l_n = 8$ мм	2,50	3,50	3,75	3,50	4,30	4,75	5,00	4,50	—	—	—	—	—
100...200	$D_{ст}$, мм	20	25	30	30	35	35	40	40	40	45	45	45	45
	$\delta_{пр}$, мм:	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,95	4,50	4,50	4,50	5,00	5,00
	при $l_n = 4$ мм при $l_n = 8$ мм	3,00	3,50	3,75	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,50	5,75	6,25	6,25

ные отливки можно получить при условии $\delta_{ст} > \delta_n > \delta_o$, так как при этом обеспечивается направленное затвердевание расплава от отливки к стояку и, следовательно, ее питание.

По формуле (1.1) рассчитаны размеры литниково-питающих систем для большого числа стальных отливок. Данные расчета после производственной проверки сводятся в таблицы, подобные табл. 1.6.

По заданной массе отливки (известна из чертежа) определяют δ_o и выбирают значение l_n из условий сборки блоков моделей и отрезки отливок. В среднем при $G < 0,5$ кг длина $l_n = 4 \dots 10$ мм, при $0,5 < G < 1,5$ кг длина $l_n = 8 \dots 12$ мм. Затем по табл. 1.6, пользуясь известными G и δ_o , находят диаметр стояка $D_{ст}$ и размеры питателя. В разностенных отливках с массивными частями модуль охлаждения δ_o можно рассчитывать только по размерам массивной части, примыкающей к питателю.

Если рассчитанное значение $D_{ст} > 60$ мм, то применяют литниковую систему с коллекторами, которые выполняют функцию питающих элементов литниково-питающей системы.

Пример. Рассчитать размеры элементов литниково-питающей системы для отливки типа «петля». Материал — сталь 35Л, масса отливки $G = 185$ г (рис. 1.37). Определяем модуль δ_o (приведенную толщину) тепло-

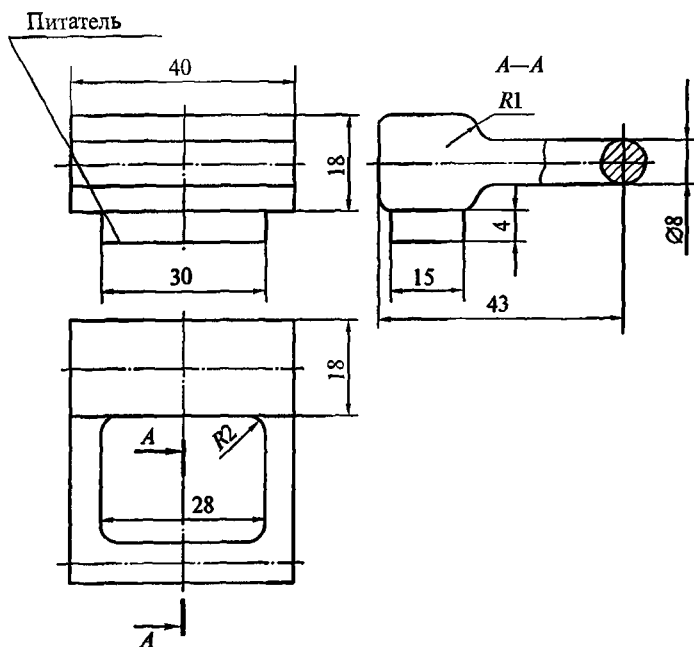


Рис. 1.37. Эскиз отливки

вого узла, представляющего собой брус квадратного сечения со стороной $a = 18$ мм и длиной $b = 40$ мм. Площадь сечения перпендикулярна направлению подвода расплава ab , периметр сечения $2(a + 2b)$, тогда

$$\delta = \frac{ab}{2(a + 2b)} = \frac{18 \cdot 40}{2(18 + 2 \cdot 40)} = 3,7 \text{ мм.}$$

Принимаем длину питателя $l_{\text{п}} = 8$ мм. По табл. 1.6 для $G = 185$ г и $\delta_{\text{о}} = 3,7$ мм находим диаметр стояка $D_{\text{ст}} = 35$ мм и приведенную толщину питателя $\delta_{\text{п}} = 4,75$. Окончательно принимаем $l_{\text{п}} = 8$ мм, $D_{\text{ст}} = 35$ мм, $\delta_{\text{п}} = 4,75$ и питатель, имеющий прямоугольное сечение со сторонами, которые можно найти по формулам (1.1) и (1.2), задаваясь толщиной питателя $a_{\text{п}} = 15$ мм. Тогда $b_{\text{п}} = 28$ мм.

Второй способ, разработанный Н. Н. Лященко, применяют для расчета размеров элементов литниково-питающих систем II и III типов. Размеры приблелей определяют методом вписанных сфер (окружностей). При расчете размеров приблели учитывают дистанцию ее действия R . Как правило, тонкие стенки отливок располагают вертикально, а металл в полость формы подводят снизу. Проверку правильности назначения размеров каналов литниково-питающих систем ведут гидравлическим методом. Площадь суженного сечения, см^2 , определяют по формуле

$$f_{\text{с.с}} = G / \left(\rho \mu \tau_{\text{зап}} \sqrt{2gH_{\text{р}}} \right)$$

или

$$f_{\text{с.с}} = J / \left(\rho \mu \sqrt{2gH_{\text{р}}} \right),$$

где G — масса отливки, г; ρ — плотность жидкого металла, $\text{г}/\text{см}^3$; μ — коэффициент расхода, $\mu = 0,8 \dots 0,9$ без учета энергии струи, $\mu = 1,4 \dots 1,5$ с учетом энергии струи расплава из ковша (значения μ больше, чем, например, при заливке песчаных форм, так как стенки оболочковой формы имеют низкую шероховатость); $\tau_{\text{зап}}$ — время заполнения формы, мин; g — ускорение свободного падения, $\text{см}/\text{с}^2$; $H_{\text{р}}$ — расчетный напор столба металла в узком сечении, см; J — массовая скорость заливки, $\text{г}/\text{с}$, $J = kl_{\text{max}}/d_{\text{ст}}$; k — коэффициент, зависящий от способа подвода расплава в полость формы: для верхнего подвода — 0,05, для бокового подвода — 0,06, для нижнего подвода — 0,08; l_{max} — наибольшая протяженность тонкой стенки отливки, мм; $d_{\text{ст}}$ — толщина тонкой стенки отливки, мм.

В целях облегчения и ускорения проектирования литниково-питающих систем для отливок по выплавляемым моделям основные конструкции литниково-питающих систем и их элементы — литниковые чаши, зумпфы, питатели, стояки и т.д. — должны выполняться по соответствующим ГОСТам.

Температуры формы перед заливкой, заливаемого сплава, выбивки отливки назначают в зависимости от химического состава сплава, толщины стенки и конфигурации отливки, руководствуясь известными положениями (см. подразд. 1.5).

Продолжительность охлаждения отливки до заданной температуры определяют, пользуясь методами, известными из теории формирования отливки [1].

В соответствии с разработанным технологическим чертежом отливки и расчетами размеров литниково-питающей системы с учетом заданной программы выпуска выбирают оборудование для изготовления моделей и проектируют пресс-форму, тип оболочковой формы, состав и способ приготовления суспензии, изготовления формы, способы сушки и прокаливания оболочки, назначают режимы выполнения основных операций технологического процесса, выбирают оборудование и проектируют необходимую технологическую оснастку.

ЛИТЬЕ В КОКИЛЬ

**2.1. Суть процесса. Основные операции.
Область использования**

Кокильное литье, или литье в постоянные формы, — это литье металла, осуществляемое свободной заливкой кокилей. Кокиль (от фр. *coquille* — раковина, скорлупа) — металлическая форма с естественным или принудительным охлаждением, заполняемая расплавленным металлом под действием гравитационных сил.

Как в свое время писал проф. Н. Н. Рубцов, «мысль заменить разовую форму более стойкой полупостоянной, а еще лучше постоянной, без сомнения, была неотвязчивой мечтой древних литейщиков». И неудивительно, что уже в давние времена литейщики использовали каменные формы, а в отдельных случаях простые металлические для повторяющихся (серийных) изделий.

Кокиль (рис. 2.1) обычно состоит из двух полуформ 12, плиты 11, вставок 7. Полуформы взаимно центрируются штырями 6, и перед заливкой их соединяют замками 13. Полости и отверстия в отливке могут быть выполнены металлическими 8 или песчаными 4 стержнями, извлекаемыми из отливки после ее затвердевания и охлаждения до заданной температуры. Расплав заливают в кокиль через литниковую систему 5, выполненную в его стенках, а питание массивных узлов отливки осуществляется из прибыли 2.

При заполнении кокиля расплавом воздух и газы удаляются из его рабочей полости 10 через вентиляционные каналы 1, пробки 3, каналы между металлическими частями 9, образующие вентиляционную систему кокиля.

Основные элементы кокиля — полуформы, плиты, вставки, стержни и т. д. — обычно изготавливаются из чугуна или стали. Выше рассмотрен кокиль простой конструкции, тогда как в практике используют кокили часто весьма сложных конфигураций.

Основные операции технологического процесса. Перед заливкой расплава новый кокиль готовят к работе: поверхность рабочей полости и разъем тщательно очищают от следов загрязнений, ржавчины, масла, проверяют легкость перемещения подвижных частей, точность их центрирования, надежность крепления. Затем на поверхность рабочей полости и металлических стержней наносят слой огнеупорного покрытия — облицовки и краски

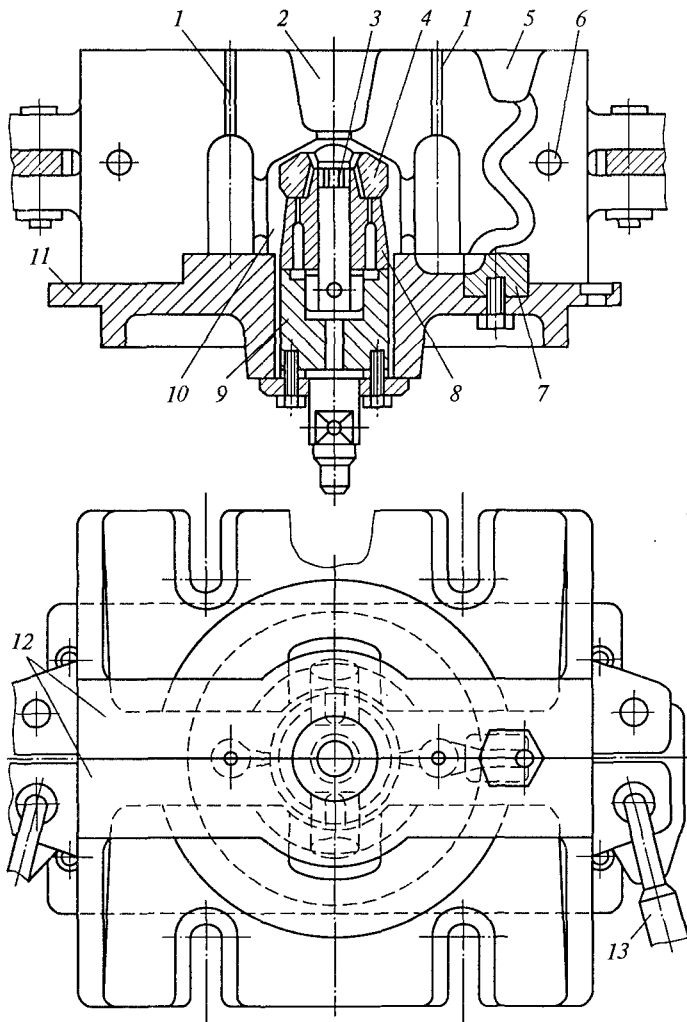


Рис. 2.1. Кокиль:

1 — вентиляционные каналы; 2 — прибыль; 3 — вентиляционная пробка; 4 — песчаный стержень; 5 — литниковая система; 6 — штырь (центрирующий элемент); 7 — вставка; 8 — металлический стержень; 9 — вентиляционный канал; 10 — полость формы; 11 — плита (поддон); 12 — полуформы; 13 — замок

(рис. 2.2, а). Состав облицовок и красок зависит в основном от типа заливаемого сплава, а их толщина — от требуемой скорости охлаждения отливки: чем толще слой огнеупорного покрытия, тем медленнее охлаждается отливка. Вместе с тем слой огнеупорного покрытия предохраняет рабочую поверхность формы от резкого повышения ее температуры при заливке, оплавления и схватывания с металлом отливки.

Перед нанесением огнеупорного покрытия кокиль нагревают газовыми горелками или электрическими нагревателями до температуры 150...280 °С. Краски наносят на кокиль обычно в виде водной суспензии через пульверизатор. Вода капле водной суспензии, попадающих на поверхность нагретого кокиля, испаряется, а огнеупорная составляющая ровным слоем покрывает поверхность.

После нанесения огнеупорного покрытия кокиль нагревают до рабочей температуры, зависящей в основном от состава заливаемого сплава, толщины стенки отливки, ее размеров и требуемых свойств. Затем в кокиль устанавливают песчаные или керамические стержни (рис. 2.2, б), если таковые необходимы для получе-

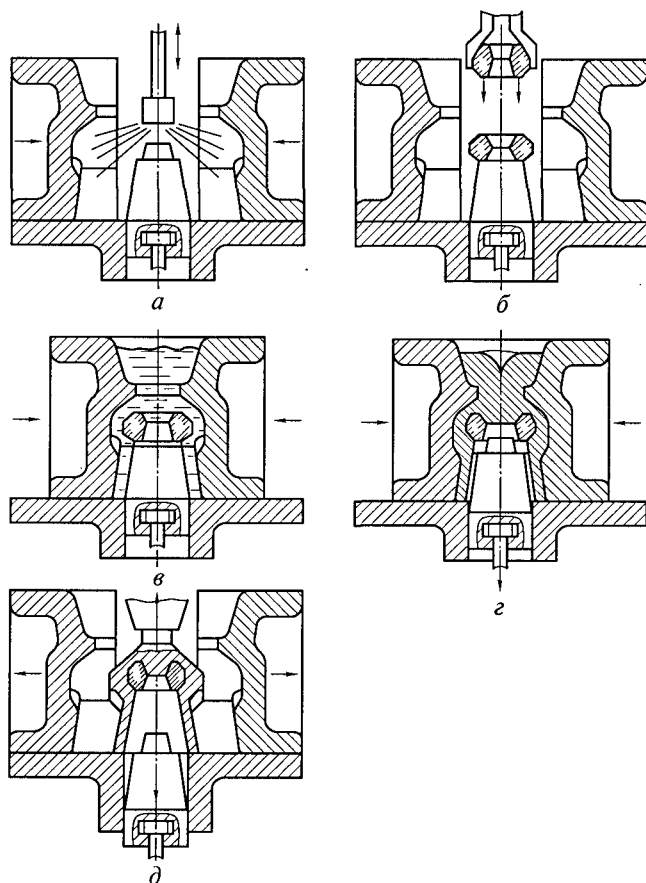


Рис. 2.2. Последовательность изготовления отливки в кокиле (стрелки — направление движения деталей кокиля):

- а* — окраска кокиля;
- б* — установка стержней;
- в* — сборка и заливка формы;
- г* — затвердевание отливки;
- д* — разборка кокиля

ния отливки; половины кокиля соединяют (рис. 2.2, в) и скрепляют специальными зажимами, а при установке кокиля на кокильной машине — с помощью ее механизма запираания, после чего заливают расплав в кокиль. Часто в процессе затвердевания и охлаждения отливки, после того как она приобретет достаточную прочность (рис. 2.2, г), металлические стержни «подрывают», т. е. частично извлекают из отливки. Это делают для того, чтобы уменьшить силы обжатия от затвердевающей отливки на металлический стержень и облегчить его последующее извлечение из отливки. После охлаждения отливки до заданной температуры кокиль раскрывают, полностью извлекают металлический стержень и удаляют из кокиля отливку (рис. 2.2, д). Из отливки выбивают песчаный стержень, обрезают литники, прибыли, выпоры, контролируют качество отливки. Затем цикл повторяется.

Перед повторением цикла осматривают рабочую поверхность кокиля, плоскость разъема. Обычно огнеупорную краску наносят на рабочую поверхность кокиля 1—2 раза в смену, изредка восстанавливая ее в местах, где она отслоилась от рабочей поверхности. Так как за время извлечения отливки и окраски рабочей поверхности кокиля он охлаждается, в частности при литье тонкостенных отливок охлаждается чрезмерно, для повторения цикла требуется подогрев кокиля до рабочей температуры. Если же отливка достаточно массивная, то, наоборот, кокиль может за счет ее теплоты нагреваться до температуры более высокой, чем требуемая рабочая. Для такого случая в кокиле предусмотрены специальные системы охлаждения, и к следующей заливке он поступает охлажденным.

Процесс литья в кокиль является малооперационным. Манипуляторные операции достаточно просты и кратковременны, а лимитирующей по продолжительности операцией является охлаждение отливки в форме до заданной температуры. Практически все операции могут быть выполнены механизмами машины или автоматической установки, что относится к существенным преимуществам способа, и, конечно, самым важным является то, что исключается трудоемкий и материалоемкий процесс изготовления разовой формы — кокиль используется многократно.

Краткие исторические сведения. Литье в кокили — один из древнейших способов литья. Предполагают, что племена, обитавшие в Причерноморье, применяли кокили для литья наконечников стрел еще в предскифское время. Скифы, унаследовавшие культуру этих племен, в VIII—VII вв. до н. э. применяли кокили для отливки граненых втулчатых стрел из бронзы [20]. Для получения отверстия во втулке стрелы они использовали металлический стержень, что позволяло повысить точность изделий и их качество. Применение такой технологии вызывалось необходимостью массового изготовления точных по размерам и массе наконечников стрел для военных целей.

В XVI в. литьем в кокиль в России отливали чугунные пушечные ядра, точные по размерам и массе. Проф. Н. Н. Рубцов [20] отмечал, что «попытки отливать чугунные ядра в металлические формы были известны едва ли не с самых первых шагов развития чугунолитейного производства», однако «... высокая температура плавления чугуна делала особенно трудным изыскание материала для металлических форм, который обладал бы достаточной стойкостью и дешевизной. Главное же затруднение заключалось в том, что чугунные изделия, отлитые в металлические формы, неизбежно имели отбел (закал), что вызывало дополнительные расходы на отжиг отливок и связанное с ним усложнение технологического процесса». Именно по этой причине в первой четверти XIX в. литьем в кокиль получали отбеленные валки для прокатки металла, чугунные колеса вагонов с отбеленным ободом, т. е. отливки, для которых использовалось свойство чугуна «отбеливаться» при быстром охлаждении¹, и тем самым повышали их служебные свойства.

В конце XIX — начале XX в. с появлением и промышленным освоением литейных алюминиевых и магниевых сплавов применение кокилей значительно расширяется. В наше время литье в кокиль широко используется для изготовления отливок из разных сплавов. Современные цехи и участки кокильного литья оснащены высокопроизводительным и автоматизированным оборудованием. Отечественной науке принадлежат разработки научных основ литья в кокиль [12].

Особенности формирования и качество отливок. Металлическая форма обладает по сравнению с песчаной значительно большими теплопроводностью, теплоемкостью, прочностью, практически нулевыми газопроницаемостью и газотворностью. Этими свойствами материала кокиля обусловлены рассмотренные далее особенности его взаимодействия с металлом отливки.

1. Высокая эффективность теплового взаимодействия отливки и формы: расплав и затвердевшая отливка охлаждаются в кокиле быстрее, чем в песчаной форме, т. е. при одинаковых гидростатическом напоре и температуре заливаемого расплава заполняемость кокиля обычно хуже, чем песчаной формы. Это осложняет получение в кокилях отливок из сплавов с пониженной жидкотекучестью и ограничивает минимальную толщину стенок и размеры отливок. Вместе с тем повышенная скорость охлаждения способствует получению плотных отливок с мелкозернистой структурой, что повышает прочность и пластичность металла отливок. Однако в отливках из чугуна, получаемых в кокилях, вследствие особенностей кристаллизации часто образуются карбиды, феррито-графитная эвтектика, отрицательно влияющие на свойства чу-

¹ Структура чугуна, которая обеспечивает высокую твердость и износостойкость по причине присутствия в ней цементита.

гуна, так как снижают показатели ударной вязкости, износостойкости. Резко возрастающая твердость в отбеленном поверхностном слое затрудняет обработку резанием таких отливок и приводит к необходимости подвергать их термической обработке (отжигу) для устранения отбела.

2. Кокиль практически неподатлив и более интенсивно препятствует усадке отливки, что затрудняет извлечение ее из формы и может вызвать появление внутренних напряжений, коробления отливки и трещин в ней. В то же время неподатливая форма не деформируется по причине увеличения объема некоторых расплавов при кристаллизации из-за предусадочного расширения, например, в результате выделения графита в чугуне. В этом случае уменьшается опасность формирования усадочной пористости при затвердевании отливки.

При литье в кокиль отсутствуют погрешности, вызываемые упругими и остаточными деформациями песчаной формы, снижающими точность ее рабочей полости и соответственно отливки. Размеры рабочей полости кокиля могут быть выполнены значительно точнее, чем размеры песчаной формы, и отливки в кокилях соответственно получаются более точными. Точность отливок в кокилях обычно соответствует классам 5—9 для отливок из цветных сплавов и классам 7—11 для отливок из черных сплавов (ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989)). При этом наибольшая точность обеспечивается для размеров в одной части формы. Точность размеров в двух и более частях формы, а также размеров, оформляемых подвижными частями формы, ниже. Точность отливок, полученных в кокиле, по массе примерно на один класс выше по сравнению с песчаными формами, при этом обеспечивается возможность уменьшения припусков на обработку резанием.

3. Физико-химическое взаимодействие металла отливки и кокиля минимально, что определяет высокое качество поверхности отливки. Отливки в кокиль не имеют пригара. Шероховатость поверхности отливок зависит от состава облицовок и красок, наносимых на поверхность рабочей полости формы, и соответствует $Rz = 40 \dots 10$ мкм, но может быть и меньше.

4. Кокиль практически газонепроницаем и имеет минимальную газотворность, определяемую в основном составами огнеупорных покрытий, наносимых на поверхность рабочей полости. Однако газовые раковины в кокильных отливках — явление нередкое. Причины их появления различны, но в любом случае расположение отливки в форме, способ подвода расплава и вентиляционная система должны обеспечивать удаление воздуха и газов из кокиля при заливке.

Эффективность производства и область применения. Эффективность кокильного производства отливок, как и производство отливок другими способами литья, зависит от полноты и правильности

использования преимуществ этого процесса с учетом его особенностей и недостатков в условиях конкретного производства.

Ниже приведены преимущества литья в кокиль в сравнении с литьем в песчаные формы.

1. Обусловленное использованием металлической формы повышение качества отливки и стабильности показателей качества, в частности: механических свойств, структуры, плотности, шероховатости, точности размеров отливок.

2. Использование в металлических формах разовых песчаных стержней. Это существенно расширяет возможности способа при производстве фасонных отливок со сложными внешними и внутренними поверхностями.

3. Повышение производительности труда в результате исключения трудоемких операций смесеприготовления, формовки, очистки отливок. Поэтому использование литья в кокили, по данным различных предприятий, позволяет в 2—3 раза повысить производительность труда в литейном цехе, снизить капитальные затраты при строительстве новых цехов и реконструкции существующих за счет сокращения требуемых производственных площадей, расходов на оборудование и очистные сооружения.

4. Устранение тяжелых и вредных операций выбивки форм, очистки отливок от пригара, их обрубки, общее оздоровление и улучшение условий труда, меньшее загрязнение окружающей среды.

5. Возможность механизации и автоматизации процесса изготовления отливки благодаря многократному использованию кокиля. При литье в кокиль устраняется процесс изготовления литейной формы, остаются лишь сборочные операции: установка стержней, соединение частей кокиля и их крепление перед заливкой, которые легко автоматизируются. Устраняются также такие возмущающие факторы, влияющие на качество отливок при литье в песчаные формы, как влажность, прочность, газопроницаемость формовочной смеси, т.е. процесс литья в кокиль является более управляемым. Для получения отливок заданного качества в кокильном производстве легче осуществить автоматическое регулирование технологических параметров процесса. Автоматизация процесса позволяет изменить характер труда литейщика-оператора, управляющего работой таких комплексов.

Однако способ литья в кокили имеет и недостатки, в числе которых следующие.

1. Высокая стоимость кокиля, сложность и трудоемкость его изготовления. Стоимость кокиля возрастает при получении отливок с поднутрениями, для выполнения которых необходимо усложнять конструкцию формы — делать дополнительные разъемы, использовать вставки, разъемные металлические или песчаные стержни.

2. Ограниченная стойкость кокиля, измеряемая числом годных отливок, которые можно получить в данном кокиле (см. далее в

подразд. «Стойкость кокилей и пути ее повышения», табл. 2.2). От стойкости кокиля зависит экономическая эффективность процесса особенно при литье чугуна и стали, поэтому проблема повышения стойкости кокиля относится к важнейшим при решении технологических задач кокильного литья этих сплавов.

3. Высокая интенсивность охлаждения расплава в кокиле в сравнении с песчаной формой. Данный фактор ограничивает возможность получения тонкостенных протяженных отливок, а в чугунных отливках дополнительно приводит к отбелу поверхностного слоя, ухудшающему обработку резанием; вызывает необходимость термической обработки отливок.

4. Неподатливость кокиля, которая приводит к появлению в отливках напряжений, а иногда трещин.

5. Использование в кокиле большого числа песчаных стержней. Этот фактор снижает точность получаемых отливок и повышает в этих местах шероховатость поверхности отливок.

Преимущества и недостатки кокильного способа определяют в итоге рациональную область его использования. Вследствие высокой стоимости кокилей экономически целесообразно применять этот способ литья только в серийном или массовом производстве. Серийность при литье чугуна должна составлять более 20 крупных или более 400 мелких отливок в год, а при литье алюминия — не менее 400—700 отливок в год.

Эффективность литья в кокиль обычно определяют в сравнении с литьем в песчаные формы. Экономический эффект достигается благодаря устранению формовочной смеси, повышению качества отливок, их точности, уменьшению припусков на обработку, снижению трудоемкости очистки и обрубки отливок, механизации и автоматизации основных операций и, как следствие, повышению производительности и улучшению условий труда.

Таким образом, литье в кокиль с полным основанием следует отнести к трудо- и материалосберегающим, малооперационным и малоотходным технологическим процессам, улучшающим условия труда в литейных цехах и уменьшающим вредное воздействие на окружающую среду.

2.2. Кокили

Классификация конструкций кокилей. В производстве используют кокили различных конструкций. В зависимости от отсутствия или наличия поверхности разъема кокили бывают неразъемные (вытряхные) или разъемные.

Неразъемные, или вытряхные, кокили (рис. 2.3) применяют в тех случаях, когда конструкция отливки позволяет удалять ее

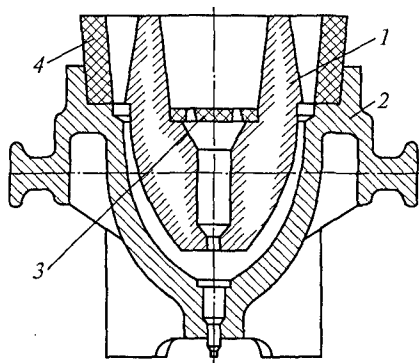


Рис. 2.3. Вытряхной кокиль:

1 — песчаный стержень; 2 — металлическая форма; 3 — керамическая сетка (фильтровальная); 4 — керамическая втулка

вместе с литниками из полости кокиля без его разъема. Обычно эти отливки имеют достаточно простую конфигурацию.

В случае разъемных кокилей расположение и число разъемов определяют необходимость реализовать рациональное положение отливки в кокиле при заливке, разместить технологические элементы (литниковую систему, прибыли и др.), собрать форму и извлечь из нее без разрушения готовую отливку конкретной конструкции. В свою очередь, разъемы кокиля определяют выбор кокильной машины с соответствующим количеством и расположением механизмов, которые обеспечивают перемещение подвижных частей кокиля при его сборке и разборке.

Различают несколько типов кокилей, предназначенных для универсальных кокильных машин (рис. 2.4).

Наиболее простой кокиль состоит из двух половинок, одна из которых подвижна. Кокиль может иметь вертикальную (рис. 2.4, а) или горизонтальную (рис. 2.4, б) плоскость разъема. При вертикальной плоскости элементы литниковой системы, расположенные в разъеме формы, не препятствуют свободному извлечению отливки из кокиля. При горизонтальной плоскости разъема часто приходится вводить специальный песчаный стержень 1 (рис. 2.5) для оформления стояка и чаши, чтобы извлечь отливку.

Отливку из кокиля в обоих случаях извлекают с помощью подвижной плиты толкателей, расположенных в подвижной или неподвижной части кокиля.

Следующий тип кокиля (см. рис. 2.4, в) состоит из двух подвижных половин с вертикальной плоскостью разъема. Плиты толкателей в этом случае могут находиться в одной или в обеих половинах кокиля (рис. 2.6).

Далее последовательно рассмотрим варианты конструкций кокиля; по мере их усложнения увеличивается число металлических частей, в том числе подвижных. Например, кокили типов, приведенных на рис. 2.4, г, д, состоят из двух подвижных частей 2 с вертикальной плоскостью разъема и поддоном 4. В поддон можно устанавливать песчаный 1 (рис. 2.7) или металлический 8 (см. рис. 2.1) стержень. В последнем случае в поддоне размещают механизм подрыва и удаления стержня.

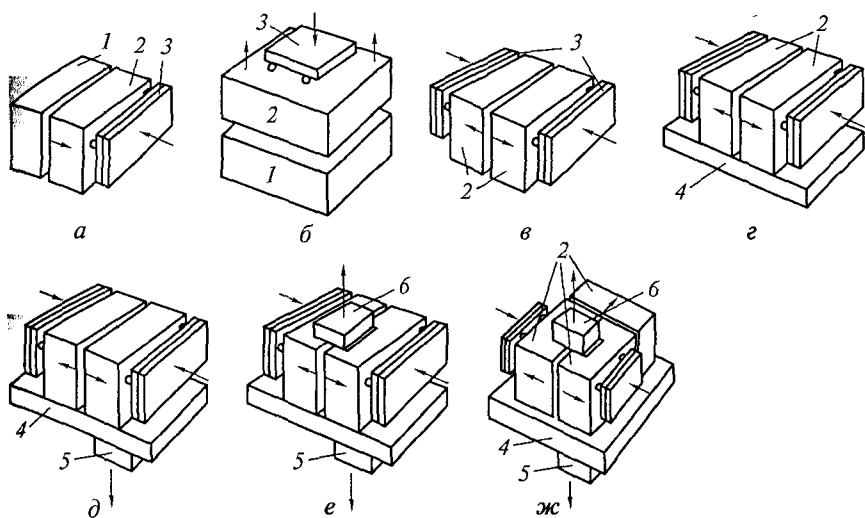


Рис. 2.4. Типы кокилей для универсальных кокильных машин (стрелки — направление движения деталей кокиля):

- кокиль с вертикальной плоскостью разреза и одной подвижной половиной;
 - кокиль с горизонтальной плоскостью разреза и одной подвижной половиной;
 - в — кокиль с вертикальной плоскостью разреза и двумя подвижными половинами;
 - г — кокиль с вертикальной плоскостью разреза, двумя подвижными половинами и поддоном;
 - д — кокиль с вертикальной плоскостью разреза, двумя подвижными половинами, поддоном и нижним металлическим стержнем;
 - е — кокиль с вертикальным разрезом, двумя подвижными половинами, нижним и верхним металлическими стержнями;
 - ж — кокиль с вертикальным разрезом, тремя подвижными частями, поддоном, нижним и верхним металлическими стержнями;
- 1 — неподвижная часть кокиля; 2 — подвижная часть кокиля; 3 — плита толкателей с толкателями; 4 — поддон; 5 и 6 — соответственно нижний и верхний металлические стержни

Конструкция кокиля на рис. 2.4, е дополнительно имеет подвижную часть верхнего металлического стержня б. Наконец, в наиболее сложном варианте на рис. 2.4, ж, по сравнению с предыдущим типом (см. рис. 2.4, е) добавлена еще одна торцевая подвижная часть 2 кокиля.

Для кокилей с большим числом элементов и более сложным их движением, а также для крупных кокилей проектируют специальные кокильные машины. В сложных кокилях могут использоваться дополнительные механизмы для извлечения стержней, аналогичные используемым в пресс-формах литья под давлением (см. подразд. 3.3).

Кокили со сложной (комбинированной) поверхностью разреза (см. рис. 2.5) используют для изготовления отливок сложной конфигурации.

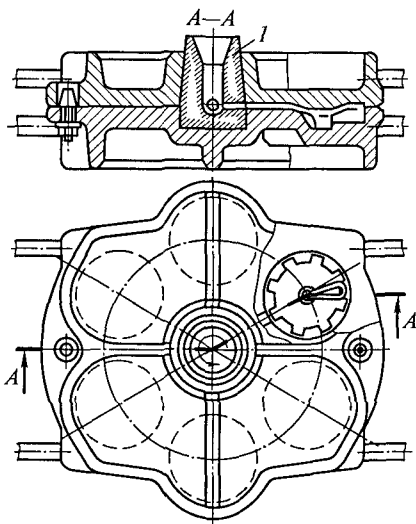


Рис. 2.5. Кокиль с горизонтальной плоскостью разреза:
1 — песчаный стержень

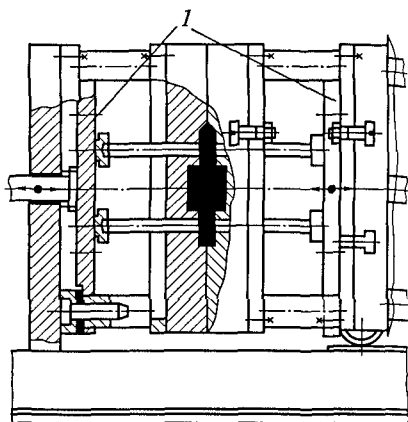


Рис. 2.6. Кокиль с вертикальной плоскостью разреза:
1 — унифицированные плиты толкателей

По числу рабочих полостей (гнезд), определяющих возможность одновременного (с одной заливки) изготовления того или иного числа отливок, кокили разделяют на одноместные (см. рис. 2.1) и многоместные (см. рис. 2.5).

В зависимости от способа охлаждения различают кокили с воздушным (естественным и принудительным), жидкостным (водя-

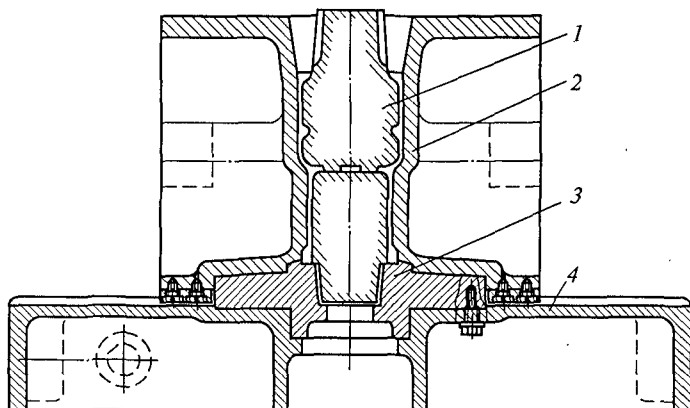


Рис. 2.7. Кокиль с вертикальной плоскостью разреза и поддоном:
1 — песчаный стержень; 2 — половинка кокиля; 3 — вставка; 4 — поддон

лым, масляным) и комбинированным (водовоздушным и т. д.) охлаждением. Если воздушное охлаждение используют для маготеплонагруженных кокилей, то водяное охлаждение обычно применяют для высокотеплонагруженных кокилей, а также для повышения скорости охлаждения отливки или ее отдельных частей. На рис. 2.8 приведен кокиль с воздушным охлаждением. Ребра на стенках кокиля увеличивают поверхность соприкосновения охладителя (воздуха) с кокилем и соответственно теплоотвод. На рис. 2.9 представлен водоохлаждаемый кокиль для отливки барабана шахтной лебедки из высокопрочного чугуна. Вода подается отдельно в обе половины кокиля, нижнюю плиту и верхнюю крышку.

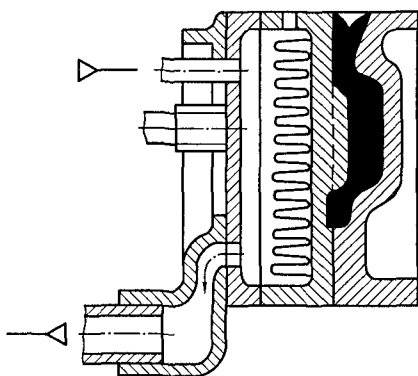


Рис. 2.8. Кокиль с воздушным охлаждением

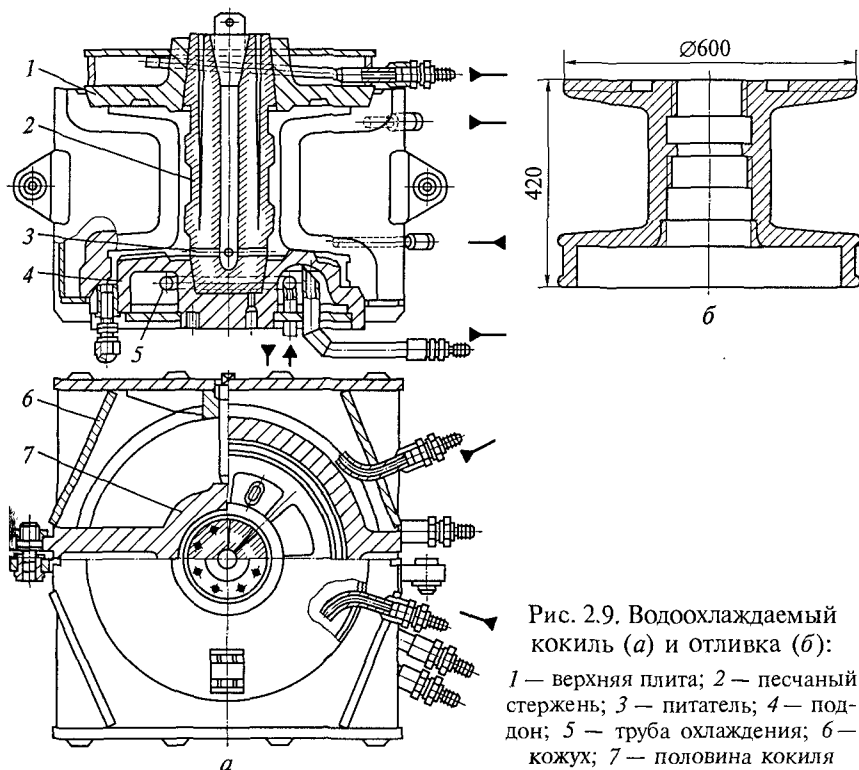


Рис. 2.9. Водоохлаждаемый кокиль (а) и отливка (б):

1 — верхняя плита; 2 — песчаный стержень; 3 — питатель; 4 — поддон; 5 — труба охлаждения; 6 — кожух; 7 — половина кокиля

Элементы конструкции кокилей. Как и любая литейная форма, кокиль — ответственный и точный инструмент. Технические требования к кокилям закреплены ГОСТами. Конструктивное исполнение основных элементов кокилей — полуформ, плит, металлических стержней, вставок — зависит от конфигурации отливки и от особенностей установки кокиля на кокильную машину.

К основным элементам конструкции кокилей относят: формообразующие элементы — половины кокилей, нижние плиты (поддоны), вставки, стержни; конструктивные элементы — толкатели, плиты толкателей, системы нагрева и охлаждения кокиля и отдельных его частей, вентиляционная система, центрирующие штыри и втулки.

Корпус кокиля или его половины выполняют коробчатым с ребрами жесткости. Ребра жесткости на тыльной, не рабочей, стороне кокиля делают невысокими, толщиной 0,7...0,8 толщины стенки кокиля, сопрягая их галтелями с корпусом. Толщина стенки кокиля зависит от состава заливаемого сплава и его температуры, размеров и толщины стенки отливки, материала, из которого изготавливается кокиль, конструкции кокиля. Толщина стенки кокиля должна быть достаточной, чтобы обеспечить заданный режим охлаждения отливки, необходимую жесткость кокиля и минимальное его коробление при нагреве отводимой теплотой залитого расплава, а также стойкость против растрескивания. Методы определения необходимой толщины стенки кокиля рассмотрены в подразд. 2.5.

Размеры и конструкция частей кокиля должны позволять размещать и закреплять его на плитах кокильной машины.

Стержни в кокилях могут быть песчаными и металлическими. Песчаные стержни для кокильных отливок должны обладать пониженной газотворностью и повышенной поверхностной прочностью. Первое требование обусловлено трудностями удаления газов из кокиля, второе — взаимодействием знаковых частей стержней с кокилем, в результате чего отдельные песчинки могут попасть в полость кокиля и образовать засоры в отливке. Стержневые смеси и технологические процессы изготовления песчаных стержней могут быть различными — сплошные и оболочковые стержни из холоднотвердеющих смесей и т. д.

В любом случае использование песчаных стержней в кокилях вызывает необходимость организации дополнительной технологической линии для изготовления стержней в кокильном цехе. Однако в конечном счете использование кокилей в комбинации с песчаными стержнями в большинстве случаев экономически оправдано.

Использование металлических стержней зависит от конструкции отливки и технологических свойств сплава. Их использование дает возможность повысить скорость затвердевания отливки, со-

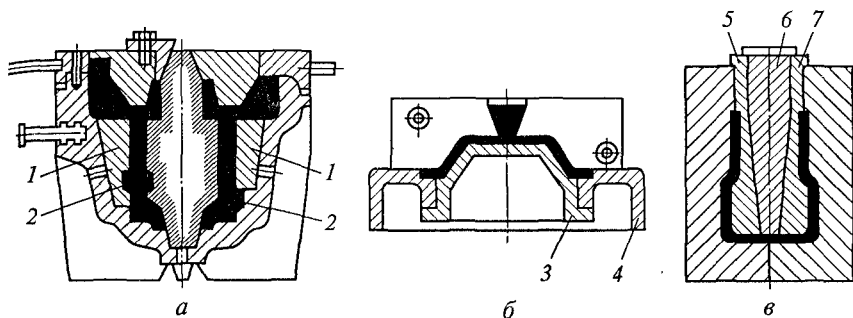


Рис. 2.10. Металлические стержни в кокиле:

а — наружные металлические стержни (вкладыши); *б* — стержень, оформляющий внутреннюю поверхность; *в* — разъемный металлический стержень; 1 — вкладыши; 2 — выступы на отливке; 3 — стержень; 4 — поддон; 5—7 — части стержня

кратить продолжительность цикла ее изготовления, в отдельных случаях повысить механические свойства и плотность (герметичность) отливки. Однако при использовании металлических стержней возрастают напряжения в отливках, увеличивается опасность появления в них трещин из-за затруднения усадки.

Металлические стержни, выполняющие наружные поверхности отливки, называют «вкладышами» (рис. 2.10, *а*, поз. 1). Вкладыши усложняют конструкцию кокиля, затрудняют механизацию и автоматизацию процесса. Металлические стержни, выполняющие отверстия и полости простых очертаний (рис. 2.10, *б*, см. также рис. 2.1), до момента полного извлечения отливки «подрывают» для уменьшения усилия последующего окончательного их извлечения. Полости более сложных очертаний выполняются с помощью разъемных металлических стержней (рис. 2.10, *в*) или металлических стержней с более сложными механизмами для извлечения.

Для надежного извлечения стержней из отливки они должны иметь уклоны $1 \dots 5^\circ$, хорошие направляющие во избежание перекосов, а также быть надежно зафиксированы в форме.

Во многих случаях металлические стержни делают водоохлаждаемыми изнутри. Водяное охлаждение стержня обычно включают после образования в отливке прочной корочки. При охлаждении размеры стержня сокращаются и между ним и отливкой образуется зазор, благодаря которому уменьшаются усилия при извлечении стержня из отливки.

Для извлечения стержней в кокилях предусматривают гидравлические, пневматические и другие устройства, конструктивное исполнение которых соответствует действующим ГОСТам.

Вентиляционная система должна обеспечивать направленное вытеснение воздуха из кокиля расплавом. Для выхода воздуха используют открытые выпоры, зазоры по плоскости разве-

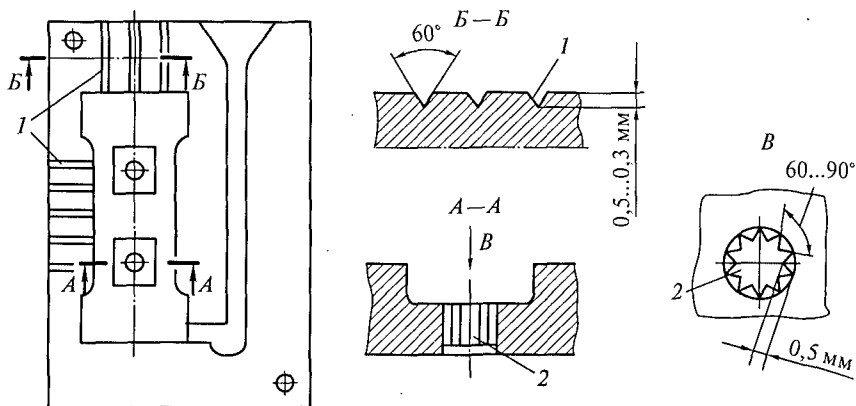


Рис. 2.11. Вентиляционная система кокиля:

1 — газоотводные вентиляционные каналы; 2 — вентиляционная пробка

ма и между подвижными частями (обеспечиваются вставками, стержнями) кокиля и специальные вентиляционные каналы: по плоскости разреза делают газоотводные каналы 1 (см. *Б—Б* на рис. 2.11), направленные по возможности вверх. В местных углублениях формы при заполнении их расплавом могут образовываться воздушные мешки (см. *А—А*). В этих местах в стенке кокиля устанавливают вентиляционные пробки 2. При выборе места установки вентиляционных пробок необходимо учитывать последовательность заполнения формы расплавом.

Центрирующие элементы — контрольные штыри и втулки — предназначены для точной фиксации половин кокиля при его сборке. Обычно их количество не превышает двух и располагают их в диагонально противоположных углах кокиля.

Запирающие механизмы предназначены для предотвращения раскрытия кокиля и исключения прорыва расплава по его разрезу при заполнении, а также для обеспечения точности отливки.

Закрытие и запирание кокилей, устанавливаемых на машинах, осуществляется пневматическим или гидравлическим приводом подвижной плиты машины.

Системы нагрева и охлаждения кокиля предназначены для поддержания заданного температурного режима процесса. Применяют электрический и газовый обогрев. Первый используется для общего нагрева кокиля, второй более удобен для общего и местного нагрева. Конструкции охлаждаемых кокилей рассмотрены выше.

Удаление отливки из кокиля осуществляется специальными механизмами. При раскрытии кокиля отливка должна оставаться в одной из его половин, желательно в подвижной, чтобы ее дви-

жение использовалось для выталкивания отливки. Поэтому на одной стороне отливки выполняют меньшие, а на другой большие уклоны, специальные технологические приливы и предусматривают несимметричное расположение литниковой системы в кокиле (она находится целиком в одной половине кокиля). При изготовлении крупных отливок должно обеспечиваться удаление отливки из обеих половин кокиля.

Отливки из кокиля удаляются выталкивателями, которые располагают на неотчетственных поверхностях отливки или литниках по периметру отливки равномерно, для предотвращения перекоса и заклинивания отливки в форме. Выталкиватели возвращаются в исходное положение пружинами (в небольших кокилях) или контролкаталями.

Материалы для кокилей. В процессе эксплуатации в кокиле возникают значительные термические напряжения как результат чередующихся резких нагревов при заливке, а также при затвердевании отливки и охлаждении, раскрытии кокиля и извлечении отливки, нанесении на рабочую поверхность огнеупорного покрытия. Кроме знакопеременных термических напряжений под действием переменных температур в материале кокиля могут протекать структурные изменения, химические процессы. Поэтому материалы, предназначенные для изготовления кокиля, особенно его частей, непосредственно соприкасающихся с расплавом, должны хорошо противостоять термической усталости, иметь высокие механические свойства и претерпевать минимальные структурные превращения при температурах эксплуатации, обладать повышенной ростоустойчивостью и окалиностойкостью, характеризоваться минимальной диффузией отдельных элементов при циклическом воздействии температур, хорошо обрабатываться, быть недефицитными и недорогими.

Производственный опыт показывает, что для изготовления рабочих стенок кокилей пригодны следующие материалы, в достаточной мере соответствующие указанным требованиям:

- чугуны СЧ20, СЧ25 и др. — кокили для мелких и средних отливок из алюминиевых, магниевых, медных сплавов, чугуна, а также кокили с воздушным и водовоздушным охлаждением;

- чугуны ВЧ40, ВЧ45 и др. — кокили для мелких, средних и крупных отливок из чугунов: серого, высокопрочного, ковкого, кокили с воздушным и водовоздушным охлаждением;

- стали 10, 20, Ст3, стали 15Л, 15ХМЛ и др. — кокили для мелких, средних, крупных и особо крупных отливок из чугуна, стали, алюминиевых, магниевых, медных сплавов;

- медь и ее сплавы, легированные стали и сплавы с особыми свойствами — вставки для интенсивного охлаждения отдельных частей отливок; тонкостенные водоохлаждаемые кокили; массивные металлические стержни для отливок из разных сплавов;

• силумины АЛ9, АЛ11 и др. — водоохлаждаемые кокили с анодированной поверхностью для мелких отливок из алюминиевых и медных сплавов.

Наиболее широко для изготовления кокилей применяют серый и высокопрочный чугуны, так как эти материалы в достаточной мере удовлетворяют основным технологическим требованиям и сравнительно дешевы. Эти чугуны должны иметь феррито-перлитную структуру. Графит в серых чугунах должен иметь форму мелких изолированных включений. В этих чугунах не допускается присутствие свободного цементита, так как при нагревах кокиля произойдет распад цементита с изменением объема материала, в результате в кокиле возникнут внутренние напряжения, способствующие короблению, образованию сетки разгара, снижению его стойкости. В состав чугунов для кокилей с целью повышения их стойкости вводят до 1% никеля, меди, хрома, а содержание вредных примесей (серы и фосфора) в них должно быть минимальным. Например, для изготовления кокилей с высокой теплонагруженностью рекомендуется [12] серый чугун следующего химического состава, мас. %: С 3,0...3,2; Si 1,3...1,5; Mn 0,6...0,8; Cu 0,7...0,9; Ni 0,3...0,7; Ti 0,08...0,1; S до 0,12; P до 0,1.

Для изготовления кокилей используют низкоуглеродистые стали 10, 20, а также стали, легированные хромом и молибденом, например сталь марки 15ХМЛ. Эти материалы обладают высокой пластичностью, поэтому хорошо сопротивляются растрескиванию при эксплуатации. Кокили для мелких отливок из алюминиевых сплавов иногда изготавливают также из алюминиевых сплавов (АЛ9 и АЛ11). Такие кокили анодируют, в результате чего на их рабочей поверхности образуется тугоплавкая (с температурой плавления около 2000 °С) износостойкая пленка оксида алюминия толщиной до 0,4 мм. Высокая теплопроводность стенок кокиля из алюминия способствует быстрому отводу теплоты от отливки.

Эти кокили обычно делают водоохлаждаемыми. Медь также часто используют для изготовления рабочих стенок водоохлаждаемых кокилей. Из меди делают отдельные вставки, вкладыши в местах, где необходимо ускорять теплоотвод от отливки и тем самым управлять процессом ее затвердевания.

Стержни простой конфигурации изготавливают из конструкционных углеродистых сталей, а стержни сложной конфигурации — из легированных сталей. Для прочих деталей — осей, валов, болтов и т. д. — используют конструкционные стали (табл. 2.1).

Изготовление кокилей. Кокили небольших размеров для мелких отливок из алюминиевых, магниевых, цинковых, оловянных сплавов изготавливают литыми из чугуна, а также часто из стальных поковок обработкой резанием с электрофизической и электрохимической обработкой рабочих полостей. Более крупные кокили выполняют литыми. При отливке рабочих стенок кокилей

Материалы для изготовления деталей кокиля

Детали кокиля	Условия работы деталей	Материал
Стержни, штыри, обратные толкатели, тяги	Соприкасаются с жидким металлом, работают на истирание	Сталь 45
Стержни, вставки, толкатели с резкими переходами в сечениях	Оформляют глубокие полости отливок и находятся под действием высоких температур	30ХГС, 35ХГСА, 35ХНМ, 4Х5МФС
Толкатели	Испытывают ударные нагрузки	У8А, У10А
Оси, валы, эксцентрики	Работают на истирание	Сталь 25*

* Подвергают цементации.

особое внимание обращают на то, чтобы заготовки не имели внутренних напряжений, что обеспечивается технологией литья, а также снижением уровня остаточных напряжений в процессе соответствующей термической обработки.

Желательно выполнять литую заготовку кокиля такой, чтобы не требовалось обработки резанием рабочих полостей, в крайнем случае, производилась бы их зачистка. Это обеспечивает снижение стоимости кокиля и повышение стойкости рабочей поверхности к появлению сетки разгарных трещин при эксплуатации.

Однако решить эту задачу трудно, особенно если конфигурация рабочей полости сложная, поэтому литые необработанные кокили применяют для отливок несложной конфигурации. Рабочую полость кокиля выполняют стержнями, которые для получения чистой поверхности кокиля, без пригара, обязательно окрашивают или натирают противопригарными пастами. Без окраски используют лишь стержни из цирконовых песков.

Для получения литых кокилей из стали используют CO_2 -процесс, а также способ литья в керамические формы, изготавливаемые по постоянным моделям [10]. Последний способ позволяет получать рабочие полости кокилей сложной конфигурации с высокой точностью. Точность размеров рабочих полостей в этом случае достигает класса 9—14, а шероховатость поверхности $Rz = 40 \dots 10$ мкм. Использование керамических форм для изготовления рабочих стенок кокилей позволяет снизить объем обработки резанием на 50...60 %.

Литые заготовки стальных кокилей после отливки подвергают термической обработке — нормализации. Для стабилизации размеров и формы стальных кокилей их подвергают перед оконча-

тельной обработкой резанием старению по режиму: нагрев до 500... 600 °С, выдержка 2 ч на каждые 25 мм толщины стенки, охлаждение с печью до 200... 300 °С и далее на воздухе. Используют также «тренировку» — циклическую термическую обработку: в печь, нагретую до 900 °С, помещают кокиль, который после нагрева до 300 °С охлаждают обдувкой воздухом. Этот цикл повторяют 3—4 раза. Термическую обработку стальных водоохлаждаемых кокилей проводят после приварки к ним кожухов и коробок для подачи жидкости, так как при сварке в конструкции неизбежно возникают внутренние напряжения, которые могут привести к короблению кокиля при эксплуатации. Старение и циклическую термическую обработку по указанным режимам используют также и для чугунных заготовок кокилей.

Стойкость кокилей и пути ее повышения. Данный показатель измеряется числом отливок требуемого качества, полученных в данном кокиле до выхода его из строя. Приблизительная стойкость кокилей приведена в табл. 2.2.

Увеличение стойкости кокиля при литье чугуна, стали, медных сплавов позволяет повысить эффективность производства отливок благодаря снижению затрат на его изготовление, расширить область применения технологического процесса.

Таблица 2.2

Приблизительная стойкость кокилей

Заливаемый сплав	Размер отливки	Материал кокиля	Стойкость кокиля, число отливок
Сталь	Мелкие	Чугун	400—600
	Средние		100—300
	Крупные		50—100
	Очень крупные		10—50
Чугун	Мелкие	Чугун	1000—8000
	Средние		1000—3000
	Крупные		200—1000
	Крупные	Сталь 15Л	400—1000
	Мелкие	Медные сплавы	3000—10 000
	Средние		3000—8 000
Медные	Мелкие	Чугун	1000—10 000
	Средние		1000—8000
	Мелкие	Сталь	1000—1500
Средние	500—3000		
Алюминиевые, магниевые, цинковые	Мелкие	Чугун	Сотни тысяч
	Средние		Десятки тысяч
	Крупные		Несколько тысяч

Основной причиной разрушения кокиля являются сложные термохимические процессы в материале кокиля, вызываемые неравномерным циклическим нагревом и охлаждением его рабочей стенки во всех трех ее измерениях (по толщине, длине, ширине). Это приводит к появлению неоднородного, изменяющегося с изменением температуры поля напряжений в стенке кокиля, вызывающего ее упругие и пластические деформации. Для последних характерны остаточные деформации и напряжения. Теоретически показано, что в поверхностном слое кокиля нереализованная термическая деформация обычно в 2 раза превосходит деформацию, соответствующую пределу текучести материалов при определенной температуре. Поэтому в каждом цикле термического нагружения (заливка — удаление отливки) деформация сжатия сменяется деформацией растяжения, что приводит к термической усталости материала кокиля. Термические напряжения возникают также вследствие структурных превращений и роста зерна материала кокиля, протекающих тем интенсивнее, чем выше температура его нагрева.

Способность кокиля выдерживать термические напряжения зависит от механических свойств его материала при рабочих температурах кокиля. Эти свойства резко снижаются при нагреве. Например, предел текучести стали 15 при нагреве до температуры около 600 °С уменьшается приблизительно в 3 раза.

Уровень возникающих в кокиле напряжений зависит также от конструкции кокиля — толщины его стенки, конструкции ребер жесткости и т. д. Например, тонкие ребра жесткости большой высоты приводят к появлению трещин на рабочей поверхности кокиля, а низкие ребра могут не обеспечить жесткость кокиля и привести к короблению.

Стойкость кокилей обеспечивается конструктивными, технологическими и эксплуатационными методами.

Конструктивные методы основаны на правильном выборе материалов для кокилей в зависимости от преобладающего вида разрушения, разработке рациональной конструкции кокиля.

Термические напряжения, приводящие к снижению стойкости кокиля, являются следствием нереализованной термической деформации: менее нагретые части кокиля (слои рабочей стенки, прилегающие к внешней нерабочей поверхности, ребра жесткости) препятствуют расширению нагреваемой металлом отливки части кокиля. Уменьшить напряжения возможно, если термическая деформация нагретой части происходит беспрепятственно. Этого можно достичь, если расчленить рабочую стенку кокиля на отдельные элементы в продольном (рис. 2.12, а) или поперечном направлениях. Тогда вследствие зазоров между элементами кокиля каждый из них при нагреве расширяется свободно.

Для повышения стойкости кокилей используют сменные вставки, оформляющие рабочую полость кокиля (рис. 2.12, б). Благода-

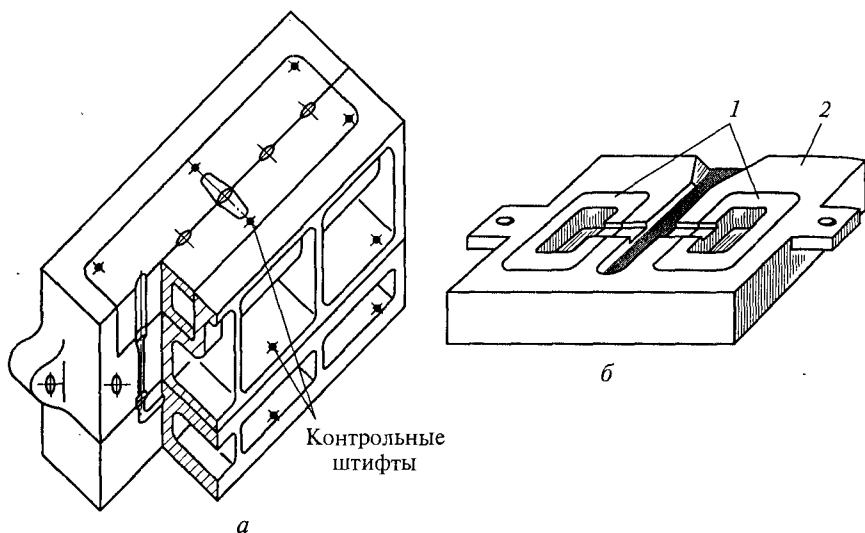


Рис. 2.12. Кокиль с расчленением стенок:

a — кокиль с составными стенками; *б* — кокиль с вставками;
 1 — вставки; 2 — корпус кокиля

ря зазорам между корпусом 2 и вставкой термическая деформация вставки протекает свободно, возникающие в ней напряжения снижаются, стойкость кокиля возрастает. Наиболее эффективно использование сменных вставок в многоместных кокилях.

Технологические методы направлены на повышение стойкости поверхностного слоя рабочей полости, имеющего наибольшую температуру при работе кокиля. Для этого используют поверхностное легирование, алитирование, силицирование, термическую обработку различных видов, наплавку, напыление на рабочую поверхность материалов, повышающих стойкость кокиля. Каждый из этих способов предназначен для повышения стойкости кокиля к разрушениям определенного вида.

Эксплуатационные методы повышения стойкости кокилей предусматривают строгую регламентацию температурного режима кокиля, который в первую очередь зависит от необходимых температур кокиля перед заливкой T_{ϕ} и заливаемого металла $T_{\text{зал}}$, от состава, свойств и состояния огнеупорного покрытия на его рабочей поверхности, темпа (частоты заливок) работы кокиля. Перед заливкой кокиль нагревают или охлаждают (если он был перегрет) до оптимальной для данного сплава и отливки температуры формы (кокиля) T_{ϕ} (см. далее на с. 122). Начальная температура T'_{ϕ} кокиля зависит от темпа работы кокиля (рис. 2.13). При повышении темпа работы сокращается продолжительность $\tau_{\text{ц}}$ цикла в основном за счет сокращения периода $\tau_{\text{п}}$ между операци-

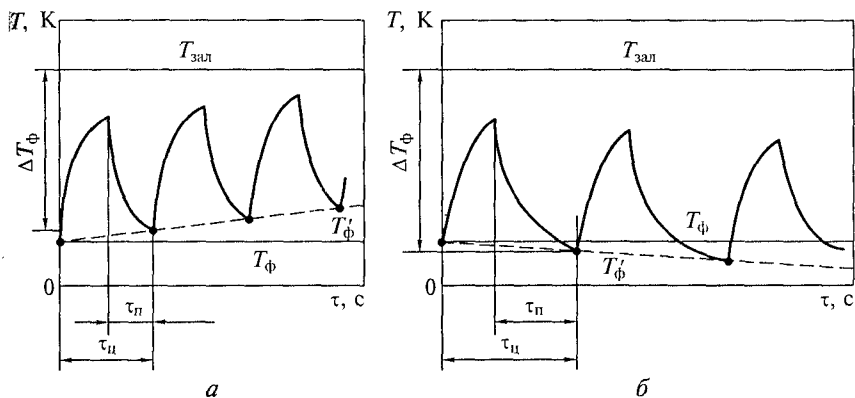


Рис. 2.13. Зависимость температуры кокиля $T'_ф$ от темпа работы:

a — кокиль от цикла к циклу нагревается; *б* — то же, охлаждается; $T_{зал}$, $T_ф$, $\Delta T_ф$, $\tau_п$, $\tau_ц$ — пояснение см. в тексте

ями удаления отливки из кокиля и следующей заливки. Это приводит к тому, что в момент заливки кокиль имеет температуру несколько выше требуемой (рис. 2.13, *a*). С увеличением температуры $T_ф$ кокиля уменьшается разность температур $\Delta T_ф = T_{зал} - T'_ф$ и соответственно уменьшаются напряжения в кокилях из упругопластических материалов. Вместе с тем повышение $T'_ф$ способствует интенсификации коррозии, структурных превращений и других процессов в материале кокиля, что снижает его стойкость.

При снижении темпа работы (рис. 2.13, *б*) продолжительность цикла возрастает. Это приводит к тому, что перед очередной заливкой температура $T'_ф$ будет ниже заданной, соответственно возрастает разность температур $\Delta T_ф$ и увеличатся напряжения в кокиле, а стойкость его понизится. Производственные данные показывают (рис. 2.14), что для каждого кокиля существует свой оптимальный темп работы m , при котором его стойкость $k_{зал}$ наибольшая.

На стойкость кокиля оказывает влияние температура заливаемого металла $T_{зал}$. Превышение температуры металла сверх требуемой по технологии для данной отливки приведет к снижению стойкости кокиля. Одновременно может ухудшиться качество отливки — появятся усадочные раковины, рыхлоты, трещины.

Долговечность кокиля может быть повышена при надлежащем уходе за ним в процессе эксплуатации. Это обеспечивается системой плано-предупредительного ремонта.

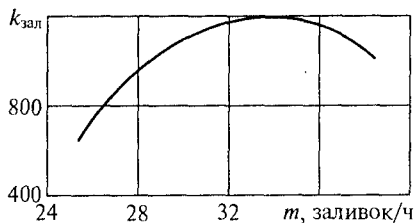


Рис. 2.14. Зависимость стойкости кокиля $k_{зал}$ от темпа работы m

2.3. Технология литья в кокиль

Технологические режимы литья. Требуемое качество отливки достигается при условии, если литейная форма заполнена расплавом без неспаев, газовых и неметаллических включений в отливке, а также если при затвердевании в отливке не образовалось усадочных дефектов (раковин, пористости, трещин) и ее структура и механические свойства соответствуют заданным. Из теории формирования отливки известно, что эти условия во многом зависят от того, насколько данный технологический процесс обеспечивает выполнение одного из общих принципов получения качественной отливки — ее направленное затвердевание и питание. Направленное затвердевание и питание отливки обеспечиваются комплексом мероприятий: конструкцией отливки, рациональным ее расположением в форме, конструкцией литниково-питающей системы, технологическими режимами литья, конструкцией и свойствами материала формы и т. д., назначаемых технологом с учетом свойств сплава и особенностей взаимодействия формы с расплавом. Напомним, что при литье в кокиль главная из этих особенностей — высокая интенсивность охлаждения расплава и отливки — вызывает затруднения при заполнении формы расплавом и не всегда благоприятно влияет на качество отливок, особенно чугунных.

Интенсивность теплового взаимодействия между кокилем и расплавом или отливкой можно регулировать. Обычно это достигается созданием определенного термического сопротивления на границе контакта отливки 1 (расплав) и рабочей поверхности полости кокиля 2 (рис. 2.15). Для этого на поверхность полости кокиля наносят слой 3 огнеупорной облицовки и краски (табл. 2.3). Благодаря меньшей по сравнению с металлом кокиля теплопроводности $\lambda_{кр}$ огнеупорного покрытия между отливкой и кокилем возникает термическое сопротивление переносу теплоты

$$1/\beta = \varepsilon/\lambda_{кр}, \quad (2.1)$$

где β — коэффициент тепловой проводимости огнеупорного покрытия, Вт/(м²·К); ε — толщина слоя огнеупорного покрытия, м.

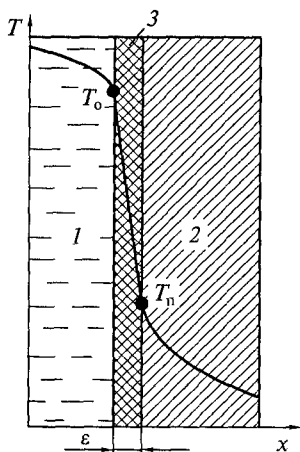


Рис. 2.15. Схема распределения температур в системе отливка—кокиль:

1 — отливка (расплав); 2 — кокиль; 3 — огнеупорное покрытие; T_0 — температура поверхности отливки; T_n — температура поверхности кокиля; x — линейный размер; ε — толщина покрытия

**Характеристика отдельных составов, применяемых
в качестве огнеупорных покрытий (красок) кокилей**

Материал отливок	Компоненты составов 1—6	Содержание компонента, мас. %	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·К)
Алюминиевые сплавы	1. Оксид цинка	15	0,41
	Асбест прокаленный (пудра)	5	
	Жидкое стекло	3	0,27
	Вода	77	
	2*. Асбест прокаленный	8,7	
	Мел молотый	17,5	
	Жидкое стекло	3,5	
Вода	70,3		
Магниевые сплавы	3. Тальк	18	0,39
	Гидроксид бора	2,5	
	Жидкое стекло	2,5	
	Вода	77	
Чугун	4. Пылевидный кварц	10... 15	0,58
	Жидкое стекло	3... 5	
	Вода	87... 80	0,25
	5*. Молотый шамот	40	
	Жидкое стекло	6	
	Вода	54	
	Марганцевокислый калий (сверх 100 %)	0,05	
Сталь	6. Огнеупорная составляющая (циркон, карборунд, оксид хрома)	30... 40	0,3
	Жидкое стекло	5... 9	
	Гидроксид бора	0,7... 0,8	
	Вода	Остальное (до плотности 1,1...1,22 г/см ³)	

* Состав применяют для покрытия поверхности литниковых каналов и выporов.

Огнеупорное покрытие уменьшает интенсивность отвода теплоты q от расплава и отливки пропорционально тепловой проводимости огнеупорного покрытия и разности температур T_0 поверхности отливки и T_n поверхности кокиля:

$$q = \beta(T_0 - T_n).$$

Технолог, изменяя в определенных пределах величины ϵ и $\lambda_{кр}$, может регулировать коэффициент тепловой проводимости огнеупорного покрытия и соответственно скорость охлаждения отливки, ее структуру, плотность и механические свойства.

В соответствии с необходимой интенсивностью отвода теплоты от разных мест отливки можно, изменяя толщину ϵ и теплопроводность $\lambda_{кр}$ огнеупорного покрытия в соответствующих частях кокиля, создавать условия для направленного затвердевания отливки, т. е. регулировать скорость ее охлаждения в отдельных местах.

Огнеупорное покрытие уменьшает скорость нагрева рабочей поверхности кокиля. Благодаря термическому сопротивлению огнеупорного покрытия температура рабочей поверхности кокиля будет ниже, чем в кокиле без покрытия. В результате уменьшаются разность температур по толщине кокиля, температурные напряжения в нем, т. е. повышается стойкость кокиля.

Теплопроводность огнеупорного покрытия кокиля должна быть заданной. Покрытие должно хорошо наноситься и удерживаться на поверхности формы, противостоять резким колебаниям температуры, при нагреве не выделять газов, способных растворяться в металле отливки или создавать на ее поверхности газовые раковины.

В состав покрытия входят (см. примеры составов в табл. 2.3) огнеупорные материалы, связующие, активизаторы и стабилизаторы.

В качестве огнеупорных материалов применяют пылевидный кварц, шамотный порошок, оксиды и карбиды металлов, тальк, графит, асбест.

Связующими для покрытий являются жидкое стекло, огнеупорная глина, сульфитный щелок.

Активизаторы применяют для улучшения схватывания с поверхностью кокиля. В качестве активизаторов используют для шамотных и асбестовых покрытий тетраборат натрия $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (буру) и гидроксид бора $\text{B}(\text{OH})_3$ (борную кислоту H_3BO_3)¹, для маршаллитовых — кремнефторитый натрий Na_2SiF_6 , для тальковых — тетраборат натрия, гидроксид бора или марган-

¹ Тривиальные названия активизаторов, приведенные в скобках, — бура и борная кислота — устойчиво используются в сфере производства. В то же время в специальной химической литературе, например, борную кислоту не рекомендуют называть кислотой, так как все три атома водорода молекулы на являются кислотными, т. е. не подвергаются кислотной диссоциации по Аррениусу. Таким образом, химически это гидроксид бора $\text{B}(\text{OH})_3$.

девокислый калий. Перед приготовлением огнеупорные материалы просеивают через сито № 016 или № 01.

Стабилизаторы применяют для того, чтобы уменьшить седиментацию (оседание) огнеупорных составляющих покрытия. Чаще всего стабилизаторы — это поверхностно-активные вещества марок ОП5, ОП7.

При литье в кокиль чугуна для устранения отбела в отливках на огнеупорное покрытие наносят копоть (сажу) ацетиленового пламени.

Толщину слоя огнеупорного покрытия контролируют измерительными пластинами, проволочками, прямым измерением, электроконтактным способом. При прямом измерении толщину слоя облицовки определяют микрометром (рис. 2.16), измеряя расстояние от базовой поверхности 1 до непокрытой 2 и покрытой 3 краской поверхностей. Разность измерений — это толщина слоя ϵ облицовки.

Схема распределения температур в системе отливка—покрытие—форма практически реализуется только для тех поверхностей отливки, которые при усадке сохраняют плотный контакт с кокилем. Если между охватываемыми поверхностями отливки и кокилем образуется зазор, изменяющийся по мере усадки отливки, то он заполнен воздухом и газами, выделяющимися из покрытия. Образование зазора приводит к увеличению термического сопротивления переносу теплоты от отливки в кокиль. Поэтому, как правило, со стороны внутренних стенок отливка охлаждается интенсивнее, чем со стороны внешних. В результате зона образования осевой пористости отливки смещается к наружной ее стенке, что следует учитывать при разработке системы питания усадки отливки.

Рассмотренное явление используют, например, для устранения отбела в поверхностных слоях чугунных отливок. Для этого после образования в отливке твердой корочки достаточной прочности кокиль слегка раскрывают так, чтобы между поверхностями отливки и кокиля образовался воздушный зазор. Тогда теплота затвердевания внутренних слоев отливки, проходя через затвердевающую наружную корку, разогревает ее и в результате происходит «самоотжиг» отливки — она получается без отбела.

Скорость отвода теплоты от расплава и отливки зависит от разности температур поверхностей отливки T_0 и кокиля T_n . С повы-

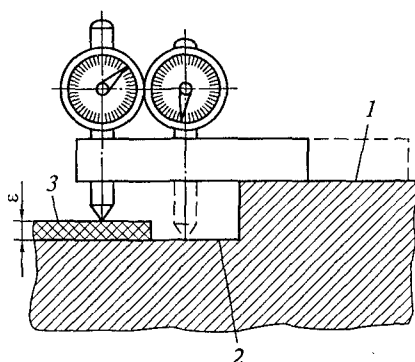


Рис. 2.16. Измерение толщины краски на кокиле:

1 — базовая поверхность; 2 — рабочая поверхность кокиля; 3 — поверхность слоя краски; ϵ — толщина покрытия

шением температуры заливаемого расплава возрастают температура T_0 и скорость отвода теплоты от отливки; с повышением температуры T_n скорость отвода теплоты от отливки уменьшается. Поэтому на практике широко используют регулирование скорости отвода теплоты от расплава и отливки, изменяя температуры заливаемого сплава или кокиля перед заливкой. Однако чрезмерное снижение температуры заливаемого сплава приводит к ухудшению заполняемости кокиля. Повышение температуры кокиля увеличивает опасность приваривания отливки к кокилю, особенно при литье чугуна и стали, снижает стойкость кокиля.

Практически установлено, что оптимальная температура кокиля перед заливкой (табл. 2.4) зависит от заливаемого сплава, толщины стенки отливки и ее конфигурации.

Температура заливки расплава в кокиль зависит от химического состава заливаемого сплава, толщины стенки отливки, способа ее питания при затвердевании. Оптимальные температуры заливки в кокиль различных сплавов приведены в табл. 2.4.

Технологические режимы изготовления отливок из различных сплавов обусловлены их литейными свойствами, конструкцией отливок и требованиями, предъявляемыми к их качеству. Рассмотрим особенности изготовления отливок из разных сплавов.

Таблица 2.4

Температура нагрева кокилей перед заливкой

Сплавы	Характер отливок	Толщина стенки отливки, мм	Температура нагрева кокиля T_{ϕ} , К (t_{ϕ} , °С)
Алюминиевые	Тонкостенные, ребристые; ребристые корпусные; простые без ребер	2,2... 4,0	673... 693 (400... 420)
		5... 10	623... 673 (350... 400)
		Менее 8	523... 623 (250... 350)
		Более 8	473... 523 (200... 250)
Магниевые	Тонкостенные, сложные Толстостенные	3... 4	623... 673 (350... 400)
		—	523... 623 (250... 350)
Медные	Средней сложности	5... 10	393... 473 (120... 200)
Серый чугун	Разная сложность отливок	Менее 5	673... 723 (400... 450)
		5... 10	573... 673 (300... 400)
		10... 20	523... 673 (250... 400)
		20... 40	423... 523 (150... 250)
Сталь	Тонкостенные Толстостенные	—	573 (300)
		—	423 (150)

Отливки из алюминиевых сплавов. *Литейные свойства.* Согласно ГОСТ 1583—73 литейные алюминиевые сплавы разделены на пять групп (I—V). Наилучшими литейными свойствами обладают сплавы I группы — силумины. Для них характерны хорошая жидкотекучесть, небольшая (0,9...1%) линейная усадка, стойкость к образованию трещин, достаточная герметичность. Силумины марок АЛ2, АЛ4, АЛ9, АК12, АК9, АК7 широко используют в производстве, однако они склонны к образованию грубой крупнозернистой эвтектики в структуре отливки и растворению газов.

Сплавы II группы (так называемые «медистые силумины») также нередко отливают в кокиль. Эти сплавы, обладающие достаточно хорошими литейными свойствами и более высокой прочностью, чем силумины I группы, менее склонны к образованию газовой пористости в отливках.

Сплавы III—V групп имеют более низкие литейные свойства по сравнению со сплавами I и II групп — пониженную жидкотекучесть, повышенную (до 1,3%) усадку, склонны к образованию трещин, рыхлот и пористости в отливках. Получение отливок из сплавов III—V групп сопряжено со строгим соблюдением технологических режимов для обеспечения хорошего заполнения формы и питания отливок при затвердевании.

Все литейные алюминиевые сплавы в жидком состоянии интенсивно растворяют газы и окисляются. При их затвердевании газы выделяются из раствора и образуют газовую и газоусадочную пористость, которая снижает механические свойства и герметичность отливок. Образующаяся на поверхности расплава пленка оксидов при заполнении формы может разрушаться и попадать в тело отливки, снижая ее механические свойства и герметичность. При высоких скоростях движения расплава в литниковой системе пленка оксидов, перемешиваясь с воздухом, образует пену, которая попадает в полость формы, приводя к образованию дефектов в теле отливки.

Влияние кокиля на свойства отливок. Интенсивное охлаждение сначала расплава, затем отливки в кокиле способствует увеличению скорости затвердевания отливки, что благоприятно влияет на ее структуру, так как при этом измельчается зерно твердого раствора, эвтектики и вторичных фаз. Структура силуминов, отлитых в кокиль, близка к структуре модифицированных сплавов; снижается опасность появления газовой и усадочной пористости, уменьшается вредное влияние железа и других примесей. Это позволяет допускать большее содержание железа в алюминиевых отливках, получаемых в кокилях, по сравнению с отливками в песчаные формы. Все это способствует повышению механических свойств отливок, их герметичности.

Кокили для мелких отливок из алюминиевых сплавов часто массивные, толстостенные. Такие кокили имеют высокую стойкость

и большую тепловую инерцию: после нагрева до рабочей температуры они охлаждаются медленно. Это позволяет с большей точностью поддерживать температурный режим литья и получать тонкостенные отливки. Для отливок сложной конфигурации используют кокили, имеющие системы нагрева или охлаждения отдельных частей, что обеспечивает направленное затвердевание и питание отливок.

Положение отливки в форме должно способствовать ее направленному затвердеванию: тонкие части отливки располагают внизу, а массивные вверху, устанавливая на них прибыли и питающие выпоры. Литниковая система должна обеспечивать спокойное, плавное поступление расплава в полость формы, надежное улавливание оксидных плен, шлаковых включений и, предотвращая их образование в каналах литниковой системы и полости кокиля, способствовать направленному затвердеванию и питанию массивных узлов отливки.

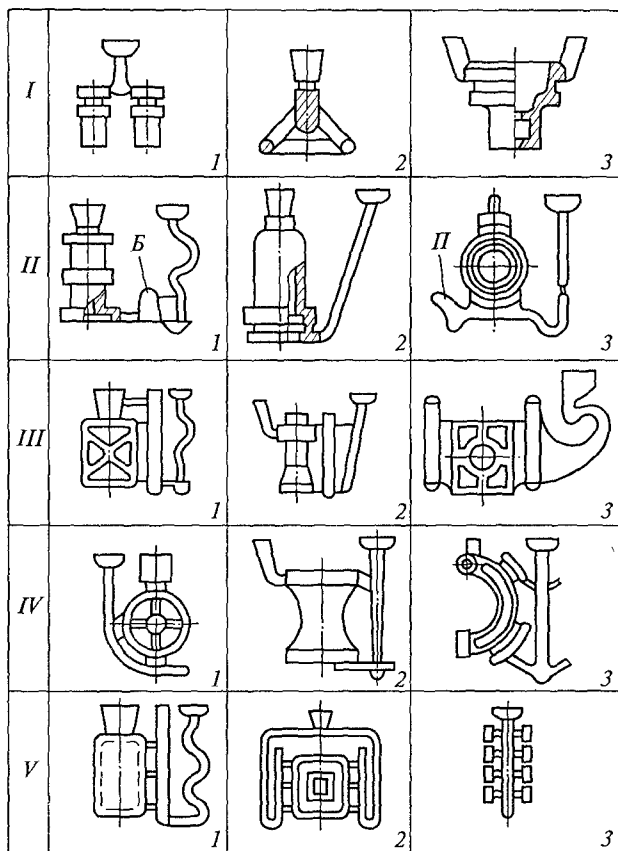
Используют литниковые системы с подводом расплава сверху, снизу, сбоку, комбинированные и ярусные (рис. 2.17, а).

Литниковые системы с верхним подводом применяют для мелких невысоких отливок типа втулок и колец (рис. 2.17, а, I, 1—3). Такие литниковые системы просты, позволяют достичь высокого коэффициента выхода годного, способствуют направленному затвердеванию отливок.

Литниковые системы с подводом расплава снизу используют для отливок корпусов, высоких втулок, крышек (рис. 2.17, а, II, 1—3). Для уменьшения скорости входа расплава в форму стояк делают зигзагообразным (II, 1), наклонным (II, 2). Для задержания шлака устанавливают шлакозадерживающие бобышки Б (см. рис. 2.17, а, II, 1); для удаления первых охлажденных порций расплава, содержащих шлаковые включения, используют промывники П (см. рис. 2.17, а, II, 3).

Литниковые системы с подводом расплава сбоку через щелевой литник (рис. 2.17, а, III, 1—3), предложенные акад. Л. А. Бочваром и проф. А. Г. Спасским, сохраняют преимущества сифонной заливки и способствуют направленному затвердеванию отливки, т. е. в верхних частях отливок температура залитого расплава будет выше, чем в нижних. На практике используют несколько вариантов таких систем. Стояки выполняют также наклонными или сложной формы («гусиные шейки»). Эти стояки снижают скорость, исключают захват воздуха, образование шлаков и пены в литниковой системе, обеспечивают плавное заполнение формы расплавом.

При заливке крупных отливок обязательным элементом литниковой системы является вертикальный канал, являющийся коллектором. Расплав (рис. 2.17, б) из чаши 1 поступает в зигзагообразный стояк 2, а из него — в вертикальный канал 3 — «обратный стояк» — и вертикальный щелевой питатель 4. Соотношение пло-



a

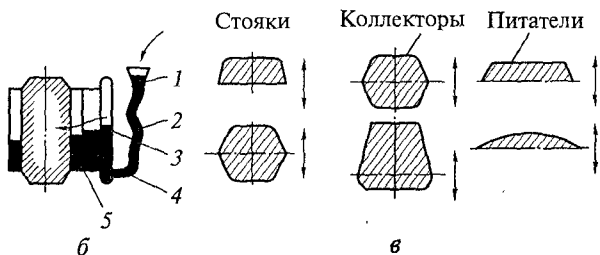


Рис. 2.17. Литниковые системы при литье в кокиль:

a — типы литниковых систем для алюминиевых и магниевых сплавов при подводе расплава сверху (*I*, примеры 1–3), снизу (*II*, примеры 1–3), сбоку (*III*, примеры 1–3), комбинированные (*IV*, примеры 1–3) и ярусные (*V*, примеры 1–3); *B* — бобышка; *П* — промывник; *b* — принцип работы щелевой литниковой системы: 1 — чаша; 2 — стояк; 3 — канал; 4 — щелевой питатель; 5 — отливка; *в* — сечения элементов литниковой системы: стрелками показано направление разъема кокиля

щадей поперечных сечений элементов литниковой системы, показанных на рис. 2.17, в, подбирают так, чтобы уровень расплава в форме во время ее заполнения был ниже уровня в канале 3 (см. рис. 2.17, б); верхние порции расплава должны сливаться в форму и замещаться более горячим металлом. Размеры канала 3 и питателя 4 назначают сообразно с толщиной стенки отливки 5; чтобы избежать усадочных дефектов в отливке, расплав в канале 3 и питателе 4 должен затвердевать позже, чем в теле отливки. Недостаток литниковой системы — большой расход металла на систему и сложность отделения ее от отливки.

Литниковые системы с комбинированным подводом используют для сложных отливок (см. рис. 2.17, а, IV, 1—3). Нижний питатель способствует спокойному заполнению формы, а через верхний питатель наиболее горячий расплав подается под приливом, тем самым улучшается ее питающее действие.

Ярусные литниковые системы используют для улучшения заполнения формы тонкостенных сложных или мелких отливок (рис. 2.17, а, V, 1—3).

Расчет литниковых систем. Методы расчета литниковых систем при литье в кокиль аналогичны методам расчета в песчаные формы для соответствующих типов систем.

Размеры элементов литниковых систем для отливок из алюминиевых, как и магниевых, сплавов определяют, исходя из следующих положений: критерий Re для различных элементов литниковой системы и формы не должен превышать значений, гарантирующих минимальное попадание газов, оксидов и неметаллических включений в отливку вследствие нарушения сплошности потока (гидродинамические условия литья); скорость движения расплава в форме должна обеспечивать ее полное заполнение без образования в отливке неслитин (тепловые условия литья).

Допустимые максимальные значения критерия $Re = 4uR_r/v$ (где u — максимальное значение скорости расплава в соответствующем элементе, м/с; R_r — гидравлический радиус элемента, равный отношению F/Π площади поперечного сечения элемента F , м², к его периметру Π , м; v — кинематическая вязкость расплава, м²/с) для отдельных элементов обычных литниковых систем и формы по данным [7] равны:

	Re
Стояк	43 500... 48 300
Коллектор	28 000... 33 800
Питатель	7800... 5300
Форма:	
простая	2600...1350
сложная	780

По величине критерия Re для формы можно рассчитать максимально допустимую скорость подъема металла в форме u_{\max} . Минимально допустимая скорость подъема металла в форме u_{\min} может быть оценена по формуле Н. М. Галдина, см/с:

$$u_{\min} = \frac{\sqrt{H_0}}{\delta_0 \ln \left(\frac{t_{\text{зал}}}{380} \right)},$$

где H_0 — высота отливки в форме, см; δ_0 — толщина стенки отливки, см; $t_{\text{зал}}$ — температура заливки расплава, °С.

Оптимальная скорость подъема металла в полости формы $u_{\text{ф}}$ находится между этими значениями: $u_{\max} > u_{\text{ф}} > u_{\min}$. Для тонкостенных отливок $u_{\text{ф}}$ ближе к u_{\max} , для толстостенных — к u_{\min} . Выбрав значение $u_{\text{ф}}$, можно определить необходимое время заливки, с:

$$\tau_{\text{зал}} = H_0 / u_{\text{ф}}. \quad (2.2)$$

Далее по формулам, известным из теории гидравлики, определяют площадь поперечного сечения узкого места литниковой системы, м²:

$$F_{\text{уз}} = \frac{G}{\rho \tau_{\text{зал}} \mu \sqrt{2gH_p}}, \quad (2.3)$$

где G — масса отливки с прибылями, кг; ρ — плотность расплава, кг/м³; $\tau_{\text{зал}}$ — время заливки формы, с; μ — коэффициент расхода ($\mu = 0,4 \dots 0,5$ для нижнего подвода металла, $\mu = 0,7 \dots 0,8$ для ярусной системы, $\mu = 0,56 \dots 0,67$ для комбинированного способа подвода; минимальные значения μ принимают для пониженных температур заливки); g — ускорение свободного падения, м/с²; H_p — расчетный напор, определяемый по известным формулам¹ [24], м.

На массивных частях отливок устанавливают прибыли, размеры которых определяют по общепринятым методикам¹ [8].

Исходя из данных относительно критерия Re для получения качественных отливок скорость движения расплава должна убывать от сечения стояка к питателю. Поэтому для отливок из алюминиевых сплавов применяют расширяющиеся литниковые системы, для которых $F_{\text{уз}} = f_{\text{с}}$ и выполняется соотношение:

$$f_{\text{с}} : f_{\text{к}} : f_{\text{п}} = 1 : 2 : 3 \text{ или } 1 : 2 : 4,$$

где $f_{\text{с}}$, $f_{\text{к}}$, $f_{\text{п}}$ — площади поперечного сечения соответственно стояка, коллектора, питателя.

¹ См. сноску на с. 4.

Для крупных (50...70 кг) и высоких (750 мм) отливок приведенное соотношение $f_c : f_k : f_n = 1 : 3 : 4$ или $1 : 3 : 5$. Найдя площади поперечных сечений литниковой системы, проверяют их на соответствие с критерием Re. При литье крупных и сложных отливок для определения размеров литниковых систем разных типов пользуются специальными методами [7].

Технологические режимы литья. В зависимости от свойств сплава, конфигурации отливки и предъявляемых к ней требований назначают соответствующие режимы литья, называемые технологическими.

Состав и толщину слоя краски на поверхности рабочей полости кокиля назначают в соответствии с рекомендациями (см., например, табл. 2.3). Для регулирования скорости отвода теплоты от отдельных частей отливки добиваются, чтобы толщина и свойства огнеупорных покрытий в отдельных частях кокиля различались, поэтому для нанесения краски используют трафареты. Поверхности каналов литниковой системы и прибылей покрывают более толстым слоем красок с пониженной теплопроводностью.

Температуру нагрева кокиля перед заливкой принимают, руководствуясь данными табл. 2.4.

Температуру заливки расплава в кокиль назначают в зависимости от химического состава и свойств сплава, толщины стенки отливки и ее размеров. Для силуминов типа АЛ2, АЛ4, АЛ9 ее принимают в пределах 700...750 °С, для сплавов с широким интервалом затвердевания, в частности для сплавов типа АЛ19, обладающих пониженной жидкотекучестью, — в пределах 720...770 °С.

Продолжительность выдержки отливки в кокиле назначают с учетом ее размеров и массы. Обычно отливки охлаждают в форме до температуры около 400 °С. Продолжительность охлаждения отливки до температуры выбивки определяют расчетом [1, 12] и окончательно корректируют при доводке технологического процесса.

Отливки из магниевых сплавов. *Литейные свойства.* Магниевые литейные сплавы по сравнению с алюминиевыми обладают худшими литейными свойствами: пониженной жидкотекучестью, большой (1,2...1,5%) усадкой, склонностью к образованию горячих трещин, пониженной герметичностью, высокой склонностью к окислению в жидком и твердом состояниях, способностью воспламеняться в жидком состоянии. Магниевые сплавы имеют большой интервал кристаллизации, склонны к растворению газов и поэтому в отливках часто образуются микрорыхлоты. Отливки из магниевых сплавов склонны к короблению при затвердевании и термической обработке.

Наибольшее применение для литья в кокиль нашли сплавы марок МЛ5 и МЛ6 (системы Mg—Al—Zn), МЛ12 (системы Mg—Zn—Zr), МЛ10 (Mg—Nd—Zr).

Влияние кокиля на свойства отливок. Пониженная жидкотекучесть сплавов вызывает необходимость заливать их в кокили при повышенной температуре, особенно при изготовлении тонкостенных отливок. Это приводит к усилению окисляемости сплава, вероятности попадания оксидов в отливку, увеличению размеров зерна в структуре, ухудшению механических свойств отливки.

Для предотвращения горячих трещин в отливках, обусловленных повышенной усадкой сплавов, необходимо осуществлять «подрыв» неподатливых металлических стержней или использовать песчаные стержни; использовать модифицирование сплавов церием и висмутом, которое повышает трещиностойкость сплавов.

Положение отливки из магниевого сплава в кокиле имеет особое важное значение для направленного ее затвердевания и питания. Для питания отливки обязательно используют верхние (прямые) или боковые (отводные) прибыли; чтобы улучшить работу прибыли, их выполняют в стержневых, асбестовых или керамических вставках.

Расчет литниковых систем. Для литья магниевых сплавов используют расширяющиеся литниковые системы, для которых $f_c : f_k : f_n = 1 : 2 : 3$ (для крупных и сложных отливок $f_c : f_k : f_n = 1 : 4 : 6$).

Размеры элементов литниковых систем определяют, пользуясь формулами (2.2), (2.3) и зависимостями коэффициентов расхода, приведенными ранее для алюминиевых сплавов. Оптимальную скорость подъема металла в полости формы u_ϕ , мм/с, можно оценить по экспериментальной формуле В.Д. Топоркова, согласно которой

$$\lg u_\phi = 1,874 - 0,3924 \lg V_0 - 0,393 \lg \delta_0 + 1,039 \lg h_0, \quad (2.4)$$

где V_0 — объем отливки, мм³; δ_0 — средняя толщина стенки отливки, мм; h_0 — высота отливки с прибылями, мм.

Формула пригодна для нижней литниковой системы. Имеются подобные зависимости и для других типов систем. Объем прямой или отводной прибыли определяют из соотношения $V_{пр} = (2 \dots 2,5) V_{п.о.}$, где $V_{п.о.}$ — объем питаемого узла отливки. Способы подвода расплава в кокиль и конструкции литниковых систем такие же, как и для алюминиевых сплавов (см. рис. 2.17). Особое внимание следует обращать на рассредоточенный подвод расплава в рабочую полость. Это вызвано пониженной жидкотекучестью магниевых сплавов и их малой теплопроводностью. Последнее свойство при сосредоточенном подводе приводит к замедленному охлаждению отливки в месте подвода питателя и образованию в этом месте усадочных дефектов — пористости, рыхлот, трещин.

Технологические режимы литья. С учетом литейных свойств магниевых сплавов, конфигурации отливки и предъявляемых к ней

требований назначают технологический режим литья магниевых сплавов в кокиль.

Состав и толщину краски для нанесения на рабочую полость кокиля принимают по специальным рекомендациям (см. пример в табл. 2.3). Для устранения окисления и возгорания сплава при заливке рекомендуется покрывать поверхность кокиля и кромки заливочной чаши «серным цветом» (сгорая, он создает защитную среду SO_2 вокруг отливки).

Температуру нагрева кокиля перед заливкой назначают в пределах, указанных в табл. 2.4.

Температура заливки магниевых сплавов зависит от их химического состава, но обычно она на $100...150^\circ C$ выше линии ликвидуса, что вызвано пониженной жидкотекучестью этих сплавов. Обычно температура заливки составляет $700...750^\circ C$ для тонкостенных отливок и $650...700^\circ C$ для массивных, толстостенных.

Отливки из медных сплавов. *Литейные свойства.* Литьем в кокиль изготавливают отливки из латуней, бронз, а также из чистой меди.

Л а т у н и имеют обычно небольшой интервал кристаллизации, хорошую жидкотекучесть, но большую усадку — $1,5...2,5\%$ в зависимости от химического состава. Латуни мало склонны к образованию усадочной пористости, но интенсивно растворяют водород. Эта особенность всех медных сплавов особенно проявляется у кремнистых латуней, отливки из которых часто поражаются газовой пористостью.

Б р о н з ы о л о в я н н ы е имеют хорошую жидкотекучесть, повышенную ($1,4...1,6\%$) усадку, большой интервал кристаллизации, а потому и повышенную склонность к образованию усадочной пористости в отливках. А л ю м и н и е в ы е б р о н з ы имеют небольшой интервал кристаллизации, большую ($1,7...2,5\%$) усадку. Отливки из них получаются плотными, но они склонны к образованию оксидных плен из-за повышенной окисляемости содержащегося в них алюминия. Плены, попадающие в тело отливки, снижают механические свойства и герметичность изделий из алюминиевых бронз. К р е м н и с т ы е б р о н з ы аналогично кремнистым латуням, склонны к образованию газовой пористости. С в и н ц о в ы е б р о н з ы склонны к ликвиции, ухудшающей свойства отливок.

Влияние кокиля на свойства отливок. Высокие скорости охлаждения и затвердевания при литье в кокиль благоприятно влияют на качество отливок: повышаются их механические свойства, герметичность, плотность по сравнению с литьем в песчаные формы, улучшается структура. Повышение скорости охлаждения способствует приближению объемного характера затвердевания сплавов с широким интервалом кристаллизации к последовательному. Поэтому, например, отливки из оловянных бронз, полученные в кокиле, имеют бóльшую плотность, чем отливки из тех же бронз,

полученные в песчаных формах. По сравнению с литьем в песчаные формы отливки из кремнистых латуней и бронз в кокиль меньше поражены газовой пористостью, так как высокая скорость охлаждения расплава препятствует выделению газов из раствора. Повышенная скорость затвердевания отливок из свинцовых бронз уменьшает ликвацию, способствует измельчению включений свинца, что повышает антифрикционные свойства отливок.

Отливки из медных сплавов при литье в кокиль часто поражаются трещинами. Это затрудняет получение в кокилях сложных тонкостенных отливок. Главная мера предупреждения этих дефектов — хорошее раскисление и рафинирование сплавов — освобождение их от оксидов, сильно влияющих на трещиностойкость сплавов.

Положение отливки в кокиле должно обеспечивать направленное затвердевание и питание ее при усадке. Поэтому массивные части отливки располагают сверху и на них устанавливают прибыли.

Расчет литниковых систем. Литниковая система (рис. 2.18, а—в) для медных сплавов должна обеспечивать плавное заполнение формы и питать отливку в процессе ее затвердевания. Поэтому литники делают большого сечения, они одновременно выполняют функции прибылей. Между стояком и питателем установлена питающая бобышка *Б* (бобышек может быть несколько), в которой происходит также частичное шлакозадержание. Для отливок из алюминиевых, марганцевых и кремнистых бронз используют нижний подвод расплава через зигзагообразные и наклонные стояки (см. рис. 2.18, б, в), шлакоуловители и плоские щелевидные питатели. Тонкостенные мелкие отливки заливают сверху (см. рис. 2.18, а) обычно с подводом расплава в питающую бобышку *Б*. Для отливок из медных сплавов применяют как расширяющиеся, так и сужающиеся литниковые системы. Для сплавов, склонных к образованию плен (алюминиевых, марганцевых бронз), используют расширяющиеся литниковые системы (соотношение площадей поперечного сечения питателя, лит-

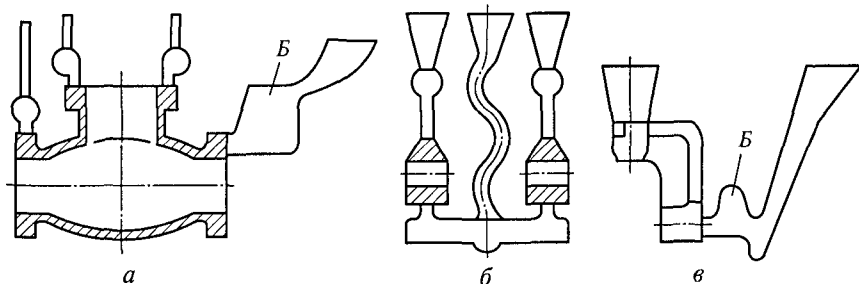


Рис. 2.18. Литниковые системы для медных сплавов:

а — заливка сверху; б, в — заливка снизу; Б — питающая бобышка

никового хода и стояка $f_n : f_{л.х} : f_c = 3 : 2 : 1$), а для латуни — сужающиеся ($f_n : f_{л.х} : f_c = 1 : 2,5 : 3,5$).

Размеры элементов литниковой системы определяют, пользуясь гидравлическим методом расчета по формуле (2.3) [7].

Технологические режимы литья. В зависимости от литейных свойств медных сплавов, конфигурации отливок и требований к ним назначают соответствующие технологические режимы литья.

В состав красок рабочих поверхностей кокилей вводят вещества, способные при взаимодействии с расплавом испаряться и газифицироваться с образованием восстановительной среды, предотвращающей окисление расплава. Обычно это масла, графит, а также органические лаки, термореактивные смолы. Такие покрытия наносят на поверхность кокиля перед каждой заливкой или через две-три заливки.

Температуру нагрева кокиля перед заливкой назначают по данным табл. 2.4. Для получения отливок высокого качества из свинцовых бронз необходимо обеспечить высокую скорость затвердевания. Это достигается охлаждением кокилей водой, использованной для кокилей высокотеплопроводных материалов.

Температура заливки медных сплавов зависит от химического состава сплава и конфигурации отливки. Для отдельных сплавов температура заливки составляет, °С: оловянные бронзы — 1150...1200; алюминиевые бронзы — 1100...1150; кремнистые латуни — 1000...1050, свинцовые латуни — 1000...1100. При этом массивные отливки заливают при температурах, близких к нижнему пределу рекомендованных, а тонкостенные — к верхнему.

Температуру выбивки отливок из кокилей назначают в зависимости от химического состава сплава, толщины стенки отливки и ее конфигурации.

Финишные операции и контроль отливок из цветных сплавов.

Отливки из алюминиевых, магниевых, медных сплавов контролируют дважды: до отрезки литниковой системы и прибылей (предварительный контроль) и после отрезки. Литниковую систему и прибыли отрезают ленточными и дисковыми пилами, а в массовом производстве — на специальных станках. От мелких отливок из латуней их часто отделяют в штампах на прессах. При отрезке литниковой системы от отливок из магниевых сплавов должны быть приняты особые меры для удаления стружки, способной к самовозгоранию. Режимы термической обработки назначают, руководствуясь химическим составом, конфигурацией отливки и требованиями технических условий. После этого проводят окончательный контроль отливок, проверяя их соответствие требованиям технических условий.

Дефекты отливок из цветных сплавов и меры их предупреждения. Общими характерными дефектами отливок при литье в ко-

киль являются: 1) недоливы и неслитины при низкой температуре расплава и кокиля перед заливкой, недостаточной скорости заливки, большой газотворности стержней и красок и плохой вентиляции кокиля; 2) усадочные дефекты (раковины, утяжины, пористость, трещины) из-за недостаточного питания массивных узлов отливки, чрезмерно высокой температуры расплава и кокиля, местного перегрева кокиля, нерациональной конструкции литниковой системы; 3) трещины вследствие несвоевременного подрыва металлического стержня или вставки, высокой температуры заливки, нетехнологичной конструкции отливки; 4) шлаковые включения при использовании загрязненных шихтовых материалов, недостаточном рафинировании сплава перед заливкой, неправильной работе литниковой системы; 5) газовая пористость при нарушении хода плавки (использовании загрязненных влагой и маслом шихт, чрезмерно высокого перегрева, недостаточного рафинирования или раскисления сплава).

Специфические дефекты отливок из магниевых сплавов — это дефекты усадочного происхождения (пористость, трещины, рыхлоты), обусловленные широким температурным интервалом застывания этих сплавов. Для устранения этих дефектов требуется доводка и точное соблюдение технологических режимов — температуры расплава и кокиля, применение краски и др. Часто отливки из магниевых сплавов из-за плохой работы литниковой системы поражены шлаковыми включениями, что приводит к коррозии отливки при ее эксплуатации и хранении. Такие дефекты устраняют тщательной доводкой литниковой системы.

Специфическими дефектами отливок из медных сплавов являются: газовая пористость при плохом рафинировании и очистке сплава от шлаковых частиц, вторичные оксидные пленки при литье алюминиевых бронз вследствие разделения потока расплава на струи и окисления его в форме, трещины из-за плохого раскисления сплавов при плавке.

Отливки из чугуна. *Литейные свойства.* Серые чугуны обладают хорошими литейными свойствами: высокой жидкотекучестью, небольшой (до 1%) усадкой, незначительным влиянием газосодержания на механические свойства, достаточно высоким сопротивлением образованию горячих трещин, малой склонностью к образованию усадочных раковин и пористости. Литейные свойства чугуна существенно зависят от его химического состава. С увеличением содержания углерода жидкотекучесть доэвтектических чугунов повышается, а заэвтектических уменьшается. При увеличении содержания кремния и фосфора жидкотекучесть чугуна повышается, влияние марганца и серы на жидкотекучесть несущественно.

Линейная усадка чугунов зависит от химического состава и скорости охлаждения: перлито-ферритные чугуны со структурой

($P + \Phi + Gr$) имеют усадку 0,7...0,9, перлитные — 1,1...1,15, белые — 1,65...1,75 %.

Трещиностойчивость чугунов возрастает с повышением содержания углерода и кремния; увеличение содержания серы снижает трещиностойчивость чугунов; увеличение содержания марганца до 0,9% повышает трещиностойчивость, а при дальнейшем увеличении его содержания вероятность появления трещин возрастает. При содержании в чугуне 0,2% фосфора резко возрастает опасность появления трещин.

Свойства отливок. Заполняемость кокилей чугуном, как и другими сплавами, ниже, чем песчаных форм. Заполняемость увеличивается с повышением температуры кокиля, увеличением толщины огнеупорного покрытия, уменьшением теплопроводности его материала. Закономерности влияния этих факторов известны из общей теории формирования отливок [1].

Линейная усадка чугунов при литье в кокиль больше, чем при литье в песчаную форму. Однако по сравнению с другими сплавами усадка чугуна меньше, что позволяет изготавливать из него широкую номенклатуру отливок в кокилях.

Чугунные отливки, полученные в кокилях, меньше поражены газовыми раковинами, чем отливки, полученные в песчаных формах, так как вследствие высокой скорости охлаждения металла в кокилях газы не успевают выделяться из расплава. Однако неправильная конструкция вентиляционной и литниковой систем, нарушения при окраске кокилей и подготовке расплава повышают вероятность образования газовых дефектов в отливке.

Чугун в большей степени, чем другие сплавы, способен изменять структуру в зависимости от скорости охлаждения и затвердевания отливки. Поэтому, управляя скоростями охлаждения чугуна, можно получать отливки с любой структурой. Большое влияние на структуру чугуна оказывает также его химический состав. В свою очередь, от структуры чугуна зависят механические свойства, износостойкость, герметичность, обрабатываемость отливки. Повышение скорости охлаждения отливки при литье в кокиль приводит к уменьшению количества и размеров графитных включений, к увеличению содержания перлита и уменьшению его зерна, что повышает механические и другие служебные свойства отливок.

Однако высокая скорость охлаждения может привести к образованию отбеленного поверхностного слоя в отливке. В этом слое углерод почти полностью находится в виде цементита (Fe_3C), определяющего высокую твердость структуры. В результате отливки с отбеленной поверхностью трудно обрабатываются, но обладают высокой износостойкостью. Их применяют обычно без механической обработки или после шлифования. Примером служат мелющие тела для дробильно-размольного оборудования, валки для

прокатки металлов и др. Чугунные отливки с отбеленным поверхностным слоем, которые необходимо подвергать обработке резанием, предварительно термически обрабатывают — подвергают графитизирующему отжигу для устранения отбела.

Для проведения отжига отливок требуется дополнительное оборудование, он сопряжен с энергозатратами, удлиняющими технологический цикл. По этой причине получение в кокилях отливок из чугуна с заданной структурой является одной из важнейших проблем данного способа литья. Исследования и производственный опыт показывают, что основными направлениями решения этой проблемы являются: правильный выбор химического состава чугуна и способов его модифицирования; снижение скорости охлаждения чугуна путем повышения начальной температуры кокиля, нанесения на его поверхность облицовок и красок, создающих термические сопротивления переносу теплоты от отливки к кокилю.

Для предотвращения отбела повышают содержание углерода и кремния в чугуне. Однако содержание кремния не должно быть выше 2,5%, так как иначе снижается жидкотекучесть чугуна и в структуре отливок появляются силикокарбиды. Уменьшение глубины отбела может быть достигнуто модифицированием чугуна ферросилицием, силикокальцием. Наилучшими являются комплексные модификаторы, вводимые в состав чугуна в количестве 0,2... 0,3 мас.%, например модификатор марки ФЦМ5. Составы чугунов, рекомендуемых для литья в кокиль, и режимы модифицирования приведены в табл. 2.5.

Связь между химическим составом, структурой, механическими свойствами и скоростью охлаждения отливки выражается обыч-

Таблица 2.5

**Химический состав серого чугуна, мас. % (остальное — Fe),
рекомендуемый для кокильного литья**

Характеристика отливки	C	Si	Mn	S	P	Модификатор
				не более		
Тонкостенные ребристые, отжигаемые на феррит	3,6... 3,7	2,1... 2,3	0,4... 0,5	0,1	0,05	До 0,05 ФЦМ5*
Машиностроительные (без отбела)	3,5... 3,7 (3,2... 3,4)	2,0... 2,2	0,5... 0,9	0,6	0,12	0,2 Al (0,2 Al и 0,3 ФС75)

* В плавильную печь вводят 0,1% коксовой мелочи, модификатор вводят в разливочный ковш.

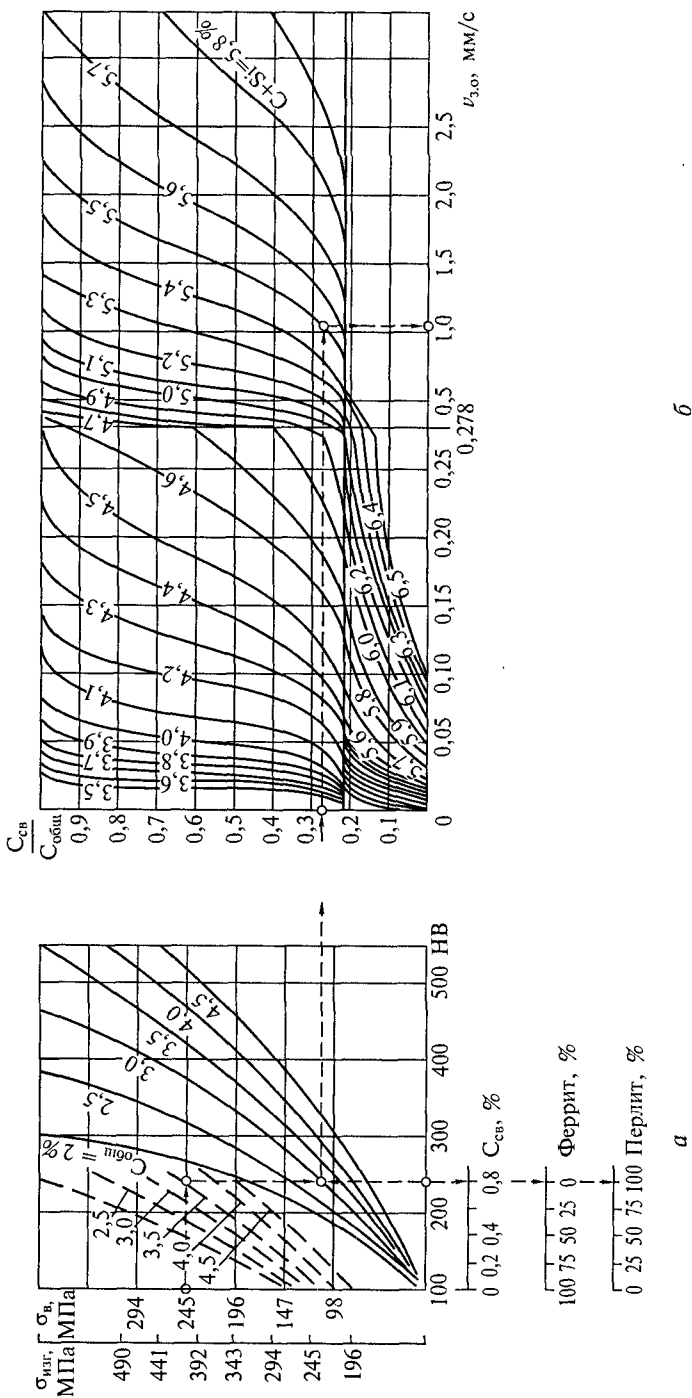


Рис. 2.19. Структурная диаграмма для серого чугуна при литье в кокиль:

а — взаимосвязь твердости чугуна и его прочностных характеристик при разном общем содержании углерода $C_{общ}$; *б* — зависимость относительного содержания связанного углерода $C_{св}/C_{общ}$ от технологического параметра — линейной скорости затвердевания $v_{3,0}$ отливки

о структурными диаграммами. Одна из таких структурных диаграмм предложена проф. А. И. Вейником на основе исследований проф. Г. Ф. Баландина (рис. 2.19). Параметром процесса при построении структурной диаграммы является объемная или линейная скорость $v_{3,0}$ затвердевания отливки.

Штриховые линии на рис. 2.19, *a* (далее по тексту — левая часть диаграммы) — взаимосвязь твердости чугуна и его прочностных характеристик при разном общем содержании углерода (см. цифры у кривых); сплошные линии, расположенные ниже в поле диаграммы, — взаимосвязь твердости чугуна с отношением свободного к общему содержанию углерода при разном общем содержании углерода (см. цифры у кривых). На рис. 2.19, *б* (далее по тексту — правая часть диаграммы) представлена зависимость относительного содержания связанного углерода $C_{св}/C_{общ}$ (где $C_{св}$ — содержание связанного углерода; $C_{общ}$ — общее содержание углерода) от объемной линейной скорости затвердевания и суммарного содержания $C + Si$ (см. цифры у кривых). Заданным значениям относительного содержания связанного углерода и суммы $C + Si$ соответствует определенная скорость затвердевания отливки, которая должна быть обеспечена технологическими средствами.

Если заданы прочностные свойства чугуна и необходимо выбрать технологические режимы для их получения, то расчет ведут от левой части диаграммы (см. рис. 2.19, *a*) к правой (см. рис. 2.19, *б*), и, наоборот, с помощью этой же диаграммы по заданной технологии можно определять прочностные свойства чугуна. Требуемая скорость затвердевания отливки обеспечивается выбором соответствующих параметров кокиля и его облицовки.

При литье в массивный окрашенный кокиль скорость затвердевания отливки определяют по формуле

$$v_{3,0} = \beta(T_{кр} - T_{\phi})/(\rho L), \quad (2.5)$$

где β — коэффициент тепловой проводимости огнеупорного покрытия; $T_{кр}$ — температура кристаллизации сплава; T_{ϕ} — начальная температура кокиля; ρ — плотность материала отливки; L — удельная теплота кристаллизации сплава. Значение β рассчитывают по формуле (2.1).

Пример [23]. Рассмотрим задачу, в которой требуется получить отливку из чугуна прочностью $\sigma_b = 245$ МПа и твердостью НВ 240.

На пересечении прямых, проведенных из точек, соответствующих значениям σ_b и НВ в левом поле диаграммы (см. рис. 2.19, *a*), находим, что эти значения соответствуют чугуну с общим содержанием углерода 3,5...3,6% (штриховые линии) и отношению $C_{св}/C_{общ} = 0,26$ (на правой части диаграммы) (см. рис. 2.19, *б*). Содержание кремния в чугуне определяют с учетом того, что при литье в кокиль интенсивность охлаждения отливки выше, чем в песчаной форме, поэтому и содержание кремния принимают более высоким для получения одинаковой структуры.

Принимаем, что в рассматриваемом случае сумма $C + Si$ должна составлять 5,5%, тогда скорость затвердевания (см. правое поле диаграммы) должна быть $v_{з.о} \approx 0,001$ м/с (1 мм/с). Из формулы (2.5) при $v_{з.о} = 0,001$ м/с; $T_{кр} = (T_L + T_S)/2 = 1498$ К; $\rho = 7200$ кг/м³; $L = 263$ Дж/кг; $T_{ф} = 598$ К (325 °С) (см. рекомендации табл. 2.4) находим $\beta = 2120$ Вт/(м²·К).

Состав краски, которой будет покрыта рабочая поверхность кокиля, содержит 15% пылевидного кварца, 5% жидкого стекла и 80% воды. Краска имеет теплопроводность $\lambda_{кр} = 0,467$ Вт/(м·К). С учетом этого из соотношения (2.1) находим толщину покрытия формы, обеспечивающую требуемую скорость затвердевания:

$$\varepsilon = \lambda_{кр}/\beta \approx 0,0002 \text{ м} \approx 0,2 \text{ мм.}$$

Расчет литниковых систем. Для литья чугуна в кокиль используют литниковые системы с верхним (рис. 2.20, а) подводом, комбинированным подводом и подводом сбоку (рис. 2.20, б), а также нижним подводом (рис. 2.20, в). В практике наибольшее применение получили литниковые системы с верхним подводом чугуна в кокиль из-за уменьшенных по сравнению с другими вариантами тепловых потерь на пути движения расплава в полости кокиля. Как следствие, стойкость кокиля в этом варианте выше, расход металла на литники меньше, т.е. создаются условия для направленного затвердевания отливки.

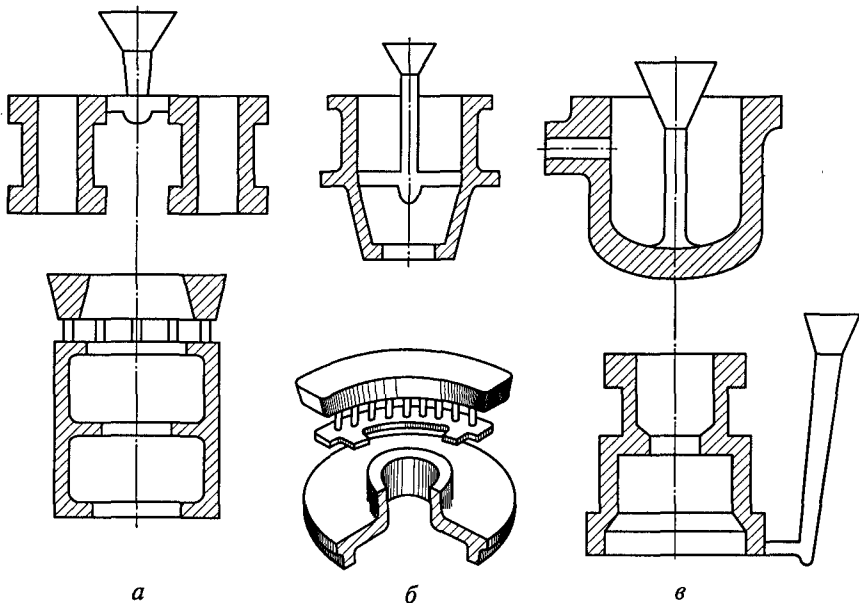


Рис. 2.20. Литниковые системы для чугуна:

а — верхняя; б — боковая; в — нижняя

Для чугунных отливок обычно используют суживающиеся (запертые) от стояка к питателю литниковые системы.

Площадь поперечного сечения питателя $F_{уз} = f_{п}$ определяют по формуле (2.3), принимая коэффициент расхода $\mu = 0,4 \dots 0,5$ (нижняя литниковая система).

Время заливки можно оценить по формуле

$$\tau_{зал} = A\delta^m G^n,$$

где A — постоянная величина, для нижней литниковой системы $A = 1,4$; $m = n = 1,3$; δ — толщина стенки, мм; G — масса отливки, кг.

Соотношение площадей поперечного сечения остальных элементов литниковой системы (питателя, литникового хода, стояка)

$$f_{п} : f_{л.х} : f_{с} = 1 : 1,15 : 1,25.$$

Технологические режимы литья. Для чугуна технологические режимы литья назначают из условий получения отливок без неслитин, неспаев, усадочных дефектов с заданными структурой и механическими свойствами.

Состав огнеупорных красок оказывает большое влияние на формирование структуры чугунных отливок. Наиболее широко используют покрытия, состав которых приведен ранее в табл. 2.3.

Температуру нагрева кокиля назначают в соответствии с рекомендациями табл. 2.4, при этом следует учитывать, что превышение температуры кокиля по сравнению с рекомендуемой приводит к снижению его стойкости.

Температура заливки чугуна в кокиль составляет обычно $1300 \dots 1350$ °С, при более высоких температурах заливки снижается стойкость кокиля. Температуру заливки назначают в зависимости от толщины стенки отливки.

Температура выбивки отливки из кокиля обычно находится в пределах $600 \dots 1000$ °С.

Финишные операции, контроль и термическая обработка отливок. *Контроль качества.* Качество отливок оценивается в соответствии с требованиями технических условий. Первичный контроль — это внешний осмотр. Отливки без видимых внешних дефектов подвергают очистке, литники отбивают.

Термическую обработку чугунных отливок обычно выполняют с целью устранения отбела, а также для уменьшения внутренних напряжений, улучшения механических свойств.

Отжиг для устранения отбела состоит в нагреве отливок до $850 \dots 950$ °С, выдержке $2 \dots 4$ ч и охлаждении на воздухе. Для уменьшения внутренних напряжений отливки нагревают до $500 \dots 600$ °С и после выдержки при температуре нагрева в течение $2 \dots 8$ ч (в зависимости от толщины стенки и массы отливки) их охлаждают с печью со скоростью $20 \dots 50$ °С/ч до 250 °С.

Дефекты отливок и меры их предупреждения. Наиболее характерными дефектами чугунных отливок, полученных литьем в кокиль, являются: неслитины и недоливы вследствие недостаточно высокой температуры кокиля или заливаемого чугуна, а также большой протяженности литниковых каналов или недостаточной площади их поперечного сечения; трещины, вызванные нетехнологичной конструкцией отливки, местным перегревом кокиля, заливами металла по поверхностям сопряжения частей кокиля; газовые раковины, обусловленные недостаточной вентиляцией кокиля, повышенной газотворной способностью огнеупорного покрытия или песчаных стержней, повышенным газосодержанием чугуна; несоответствие структуры заданной вследствие отклонения химического состава чугуна, температуры кокиля, нарушений в составе, толщине и режимах нанесения огнеупорного покрытия кокиля.

Особенности изготовления отливок из высокопрочного чугуна в кокилях. Литейные свойства высокопрочного чугуна во многом определяются присутствием шаровидного графита и в этой связи имеют ряд особенностей: линейная усадка (1,17...2%) больше, чем у серого чугуна, поэтому для питания массивных узлов отливки используют питающие бобышки и прибыли. Однако, так как его предусадочное расширение в 2—3 раза больше, чем у серого чугуна, вероятность образования в отливках горячих трещин снижена. Высокопрочные чугуны склонны к образованию холодных трещин. При модифицировании магний из модификатора и сера, содержащаяся в чугуне, образуют сульфиды магния, вследствие чего в структуре отливки появляются «темные пятна», которые отрицательно влияют на служебные характеристики металла. Для их устранения понижают содержание серы в чугуне, обрабатывая его флюсами (криолитом, плавиковым шпатом и т.д.). Высокопрочные чугуны после модифицирования магнием обладают повышенной окисляемостью. Пленки оксидов могут содержаться в металле отливки и механические свойства его снижаются. Эти особенности литейных свойств высокопрочных чугунов учитывают при назначении технологических режимов литья.

Расчет литниковых систем. Литниковые системы должны обеспечивать плавное заполнение формы, хорошее отделение неметаллических включений, питание массивных узлов отливки. Используют подвод расплава сверху, снизу и сбоку. Рациональным считают подвод расплава через питающую бобышку или прибыль, что улучшает питающее действие литниковой системы. В то же время литниковая система должна быть сужающейся. Размеры литниковой системы определяют по формуле (2.3), принимая коэффициент расхода $\mu = 0,18...0,39$, т.е. сечения питателей для отливок из высокопрочного чугуна должны быть большими, чем для отливок из серого чугуна.

Соотношение площадей поперечного сечения элементов литниковых систем (питателя и стояка) без шлакоуловителя $f_n : f_c = 1,0 : 1,1$. В случае шлакоуловителя площадью поперечного сечения $f_{шл}$ соотношение площадей $f_n : f_{шл} : f_c = 1 : (1,2...1,4) : 1,1$. Температура заливки чугуна в кокиль 1300... 1340 °С.

Прибыли и питающие бобышки рекомендуется выполнять в песчаных стержнях. Размеры прибыли или бобышек определяют по известным методам [7, 8].

Термическая обработка отливок из высокопрочного чугуна. Отжиг отливок из чугуна с шаровидным графитом проводят для снижения внутренних напряжений по режиму: нагрев до 550... 650 °С, выдержка при температуре нагрева 2... 6 ч в зависимости от конфигурации и толщины стенки отливки. Для получения перлитной структуры проводят нормализацию по режиму: нагрев до 900... 950 °С, выдержка 1... 3 ч и охлаждение на воздухе. Далее для получения высоких механических свойств и пластичности проводят изотермическую закалку по режиму: нагрев до 850 °С, выдержка при температуре нагрева 2... 2,5 ч и охлаждение в масле, нагревом до 300... 350 °С.

Отливки из стали. *Литейные свойства сталей.* Стали обладают низкими литейными свойствами: плохой жидкотекучестью, большой (до 2%) усадкой. Стали склонны к образованию раковин, рыхлот и трещин в отливках. Температура заливки стали значительно выше, чем температура заливки серого чугуна. Все это осложняет технологический процесс литья стали в кокиль. Обычно в кокилях отливают углеродистые стали марок 20Л, 25Л, 35Л, 45Л, а также некоторые легированные стали, например стали марок 110Г13Л, 5ХНВЛ и др.

Особенности технологии литья стали в кокиль обусловлены ее плохими литейными свойствами. Основное требование к технологии сводится к созданию условий направленного затвердевания и питания усадки отливки. Это достигается рациональной конструкцией отливки, которая должна иметь простую конфигурацию с равномерной толщиной стенок и не иметь выступающих частей, тормозящих усадку отливки. Важна рациональная конструкция литниково-питающей системы, которая должна создавать минимальные тепловые и гидравлические потери на пути движения жидкой стали в полость кокиля. Поэтому целесообразным является использование подвода металла сверху через прибыли при совмещении по возможности функций прибыли и стояка.

Прибыли выполняют чаще в песчаных стержнях или используют иные способы повышения тепловой изоляции прибылей. Литниковые каналы должны быть покрыты достаточно толстым слоем огнеупорной облицовки во избежание охлаждения жидкой стали и чрезмерного нагрева кокиля. Температура кокиля не должна превышать рекомендованных в табл. 2.4 значений, так как при боль-

шой температуре снижаются его стойкость, а также и пластические характеристики металла отливки. Температура заливки углеродистых сталей, содержащих 0,2...0,4 % углерода, составляет 1450...1500 °С. Стойкость кокиля существенно зависит от продолжительности выдержки в нем отливок. Поэтому стальные отливки стремятся выбивать из кокиля сразу же после затвердевания.

Наибольший эффект от литья в кокиль достигается при изготовлении отливок с повышенными требованиями к их свойствам.

Технология литья в облицованные кокили. Поиски путей регулирования теплового режима взаимодействия отливки и кокиля, защиты кокиля от воздействия высоких температур при заливке чугуном и сталью привели к созданию в нашей стране нового способа получения отливок литьем в облицованные кокили.

Способ литья в облицованный кокиль предполагает нанесение достаточно толстого (4...6 мм), соизмеримого с толщиной стенки отливки слоя облицовки из дисперсных материалов на рабочей поверхности кокиля. Благодаря этому слою резко повышается термическое сопротивление переносу теплоты от отливки к стенке кокиля, снижается скорость охлаждения отливки и температура рабочей поверхности кокиля. Использование способа литья в облицованные кокили позволило гарантированно устранить отбел у чугунных отливок и решить проблему стойкости кокиля при изготовлении отливок из черных сплавов.

В качестве материала для облицовочного слоя используют формовочные смеси повышенной текучести: сыпучие на термотвердеющем или холоднотвердеющем связующем, а также жидкоподвижные на самотвердеющем или термотвердеющем связующем.

По существу этот способ можно отнести к способам литья в разовую съемную форму, так как облицовочный слой смеси, контактирующий с отливкой, удаляется из кокиля после извлечения отливки и наносится вновь перед следующей заливкой. Последовательность технологических операций для наиболее распространенной разновидности процесса — литья в кокиль, облицованный сыпучей термотвердеющей смесью, — приведена на рис. 2.21. Для нанесения облицовки на рабочую поверхность кокиля 1 используют модельную плиту 2 с металлической моделью отливки; кокиль устанавливают на модельную плиту по центрирующим штырям так, чтобы между поверхностями кокиля и модели образовался зазор 3, равный толщине облицовки (рис. 2.21, а). Кокиль и модельную плиту предварительно нагревают до 200...220 °С. Для улучшения сцепления облицовки с поверхностью кокиля его рабочую полость не обрабатывают, чтобы она осталась шероховатой. Для лучшего отделения модели отливки от облицовки поверхность модели покрывают разделительной смазкой марок СКТ или СКТР. После нагрева кокиль подают на позицию задува оболочковой смеси (рис. 2.21, б). Эта операция осуществля-

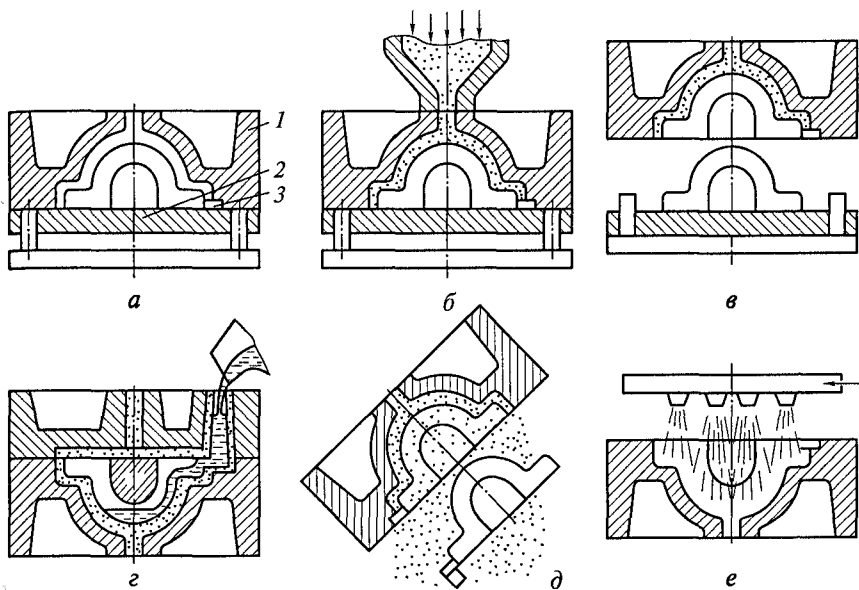


Рис. 2.21. Последовательность изготовления отливки в облицованном кокиле:

a — нагрев кокиля; *б* — нанесение облицовочного слоя (стрелками показано направление подачи смеси); *в* — удаление модели; *г* — сборка и заливка кокиля; *д* — удаление отливки; *е* — очистка кокиля; 1 — кокиль; 2 — модельная плита; 3 — зазор

ются на пескодувных машинах. Для оболочки чаще всего используют сыпучую термотвердеющую песчано-смоляную смесь, содержащую 2,0...2,5% фенолформальдегидного связующего. Для вывода воздуха из пространства между моделью и кокилем служат вентиляционные каналы, выполненные в кокиле. После задува смеси в пространство между кокилем и моделью смесь отвердевает за счет теплоты оснастки, и кокиль с облицовкой снимают с модельной плиты (рис. 2.21, *в*).

Аналогично наносят облицовку на вторую половину кокиля. Затем кокиль собирают, устанавливая стержни, которые могут быть обычными или оболочковыми. После заливки расплава (рис. 2.21, *г*), затвердевания и охлаждения отливки кокиль раскрывают и отливку удаляют (рис. 2.21, *д*). Одновременно частично удаляется часть облицовки. Перед следующим циклом рабочую поверхность кокиля тщательно очищают от остатков оболочки (рис. 2.21, *е*): из отверстий для вдува смесь удаляют штырями-толкателями, а с рабочей поверхности — сжатым воздухом.

Особенности формирования отливок в облицованных кокилях заключаются в следующем.

1. Бóльшая по сравнению с обычными облицовками и красками толщина песчано-смоляной облицовки позволяет существенно снизить скорость охлаждения расплава, что важно, например, при изготовлении отливок из серого чугуна. Так как толщину слоя облицовки можно делать разной, изменяя зазор между кокилем и моделью, следовательно, можно регулировать и скорость охлаждения расплава и затвердевания отливки в отдельных ее местах, т. е. получать отливку с дифференцированными свойствами.

2. Деформация облицовки, имеющей жесткую металлическую опору — кокиль, весьма мала. Это способствует сохранению характерных для кокиля повышенных точности отливок и плотности чугунных отливок.

3. Песчаная облицовка придает жесткому кокилю некоторую податливость, поэтому в отливках уменьшаются внутренние напряжения, коробление и соответственно дополнительно повышается точность отливок. Вместе с тем толстая облицовка на поверхности кокиля улучшает условия его работы: большое термическое сопротивление облицовки снижает температурное воздействие на кокиль, благодаря чему уменьшается коробление кокиля, повышается его стойкость.

Указанные особенности формирования отливки и работы кокиля обуславливают преимущества этого технологического процесса. Однако он не лишен недостатков.

К недостаткам способа литья в облицованные кокили следует отнести повышенную сложность и стоимость оснастки, трудности переналадки специального оборудования, ограниченные размеры кокилей и соответственно отливок.

Указанные преимущества и недостатки определяют рациональную область использования способа литья в облицованные кокили. Вследствие повышенной сложности и стоимости оснастки, трудностей переналадки оборудования целесообразно использовать этот процесс в массовом и крупносерийном производстве отливок из чугуна и стали массой до 200 кг.

2.4. Кокильные машины и автоматизация литья в кокиль

Анализ основных операций литья в кокиль показывает, что этот процесс малооперационный. При механизации процесса основные операции — раскрытие кокиля, извлечение стержней и отливки, нанесение огнеупорного покрытия, установка стержней, запирающие кокиля, заливка расплава — выполняются механизмами кокильной машины или литейного комплекса, которыми управляет рабочий-оператор.

При автоматизации процесса управление механизмами осуществляется системой управления машиной или комплексом, часто связанным с управляющей ЭВМ.

В зависимости от серийности производства, массы, размеров, сложности отливок и предъявляемых к ним требований степень механизации и автоматизации процесса может быть разной.

При серийном и мелкосерийном производстве крупных, сложной конфигурации отливок более эффективными оказываются автоматизированные кокильные машины или механизированные кокили. В массовом и крупносерийном производстве мелких и средних отливок более эффективно использование автоматических литейных кокильных машин, комплексов, автоматических линий.

Кокильные машины. Заливочные кокильные машины подразделяют на универсальные стационарные, нестационарные и специальные. Стационарные машины чаще всего однопозиционные, а нестационарные (карусельные) — четырехпозиционные и с большим числом позиций.

Специальные, часто специализированные машины предназначены для изготовления в массовом производстве отливок определенного типа, таких, например, как поршни двигателей внутреннего сгорания, крышки электродвигателей и т. д., или для получения крупных отливок.

Универсальные однопозиционные кокильные машины чаще используют в условиях серийного производства. Для массового и крупносерийного производства более эффективно применение многопозиционных машин карусельного типа, а также конвейерных кокильных линий. Эти машины имеют более высокую производительность вследствие совмещений по времени операций технологического процесса, занимают небольшую площадь, характеризуются малыми энергозатратами; они могут быть встроены в автоматические кокильные линии.

В зависимости от расположения в пространстве плоскости разъема и направления перемещения частей кокиля и металлических стержней различают машины для получения отливок в кокилях с горизонтальной и вертикальной плоскостями разъема, а также с комбинированной плоскостью разъема.

Для перемещения рабочих частей машины — подвижных плит, механизмов извлечения стержней, выталкивания отливок, поворота каруселей — обычно используют гидравлический привод, обеспечивающий значительные усилия, плавность перемещения, широкое регулирование скорости и усилий, бесшумность работы, компактность машины.

Универсальные однопозиционные кокильные машины предназначены для получения отливок из цветных и черных сплавов в кокилях нормального ряда с размерами от 400 × 500 до 1000 × 1250 мм в плане. Модификации машин в соответствии с

основными разновидностями кокилей, приведенных на рис. 2.4, относятся к пяти типам:

I — вертикальный или горизонтальный разъем кокиля с одной подвижной плитой (см. рис. 2.4, а, б);

II — вертикальный разъем кокиля и две подвижные плиты (см. рис. 2.4, в);

III — вертикальный разъем кокиля, две подвижные плиты, поддон и механизм удаления нижних стержней (см. рис. 2.4, д);

IV — две подвижные плиты, поддон, нижний и верхний металлические стержни (четыре подвижных элемента, см. рис. 2.4, е);

V — три подвижные плиты (одна торцевая) с поддоном, нижним и верхним металлическими стержнями (пять подвижных плит, см. рис. 2.4, ж).

Кокильные машины обеспечивают широкие возможности получения отливок сложной конфигурации.

Большими технологическими возможностями обладают машины III типа (рис. 2.22). На этих машинах изготавливают отливки в кокилях с вертикальным разъемом и поддоном. Машины имеют механизмы подвижных плит, выполненные в виде агрегатных узлов — левого А и правого Б. Подкокильные плиты 3 закреплены консолью на двух цилиндрических направляющих, которые перемещаются в опорах неподвижной стойки гидроцилиндрами. В каждом из агрегатных узлов имеются системы выталкивания и фиксации отливки на поддоне и возврата толкателей в исходное положение при полном раскрытии кокиля. Поддон имеет механизм

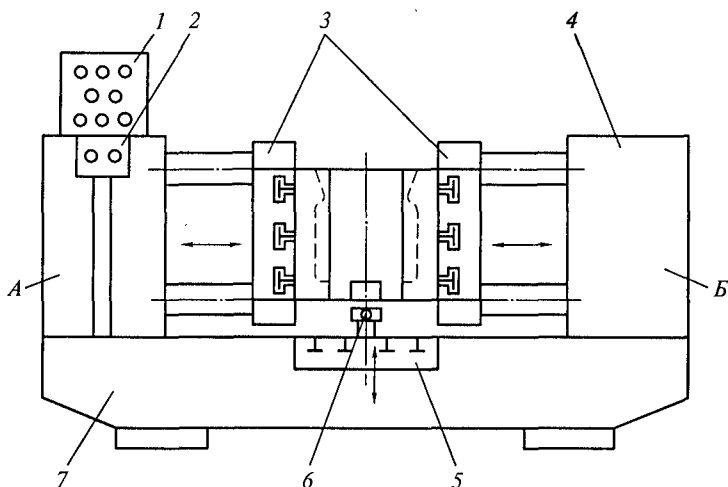


Рис. 2.22. Кокильная машина III типа:

1 — наладочный пульт; 2 — рабочий пульт; 3 — подкокильные плиты; 4 — гидроагрегат (А — левый; Б — правый); 5 — нижняя плита; 6 — механизм нижнего стержня; 7 — станина

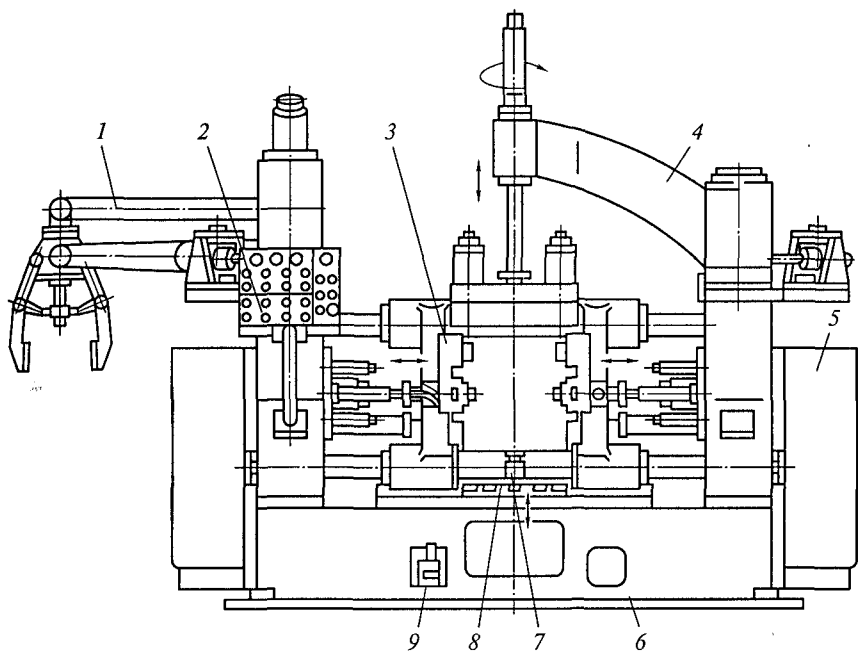


Рис. 2.23. Кокильная машина IV типа:

1 — съемник отливки; 2 — пулт; 3 — подкокильная плита; 4 — механизм верхнего стержня; 5 — гидроагрегат; 6 — станина; 7 — механизм нижнего стержня; 8 — нижняя плита; 9 — панель управления

выталкивания отливки и извлечения металлического стержня. На этих машинах можно устанавливать кокили с двумя дополнительными боковыми стержнями, имеющими гидропривод от гидростанции машины. Отсутствие направляющих в зоне установки кокиля облегчает его обслуживание и позволяет использовать автоматические дозирующие заливочные устройства.

Для изготовления отливок более сложной конфигурации предназначены машины IV типа. На этих машинах можно изготавливать отливки в кокилях, состоящих из четырех и более подвижных частей (рис. 2.23). Половины кокиля, имеющего вертикальный разъем, закрепляются на подкокильных плитах, перемещающихся по двум диагонально расположенным направляющим, закрепленным в неподвижных стойках. При раскрытии кокиля толкатели фиксируют отливку на поддоне, и она удаляется съемником 1. Съемник захватывает отливку, отводит ее в сторону и опускает на приемный стол или транспортное средство.

Полости в отливке можно выполнять металлическими стержнями, один из которых приводится в движение механизмом верхнего металлического стержня, смонтированным на траверсе, име-

ющей возможность поворачиваться вокруг вертикальной колонны на 90° .

Машины V типа предназначены для изготовления особо сложных (оребранных, с глубокими полостями) отливок.

Машины универсальной гаммы работают в наладочном и полуавтоматическом режимах; в каждом цикле проводятся сборка кокиля, выдержка отливки при затвердевании, извлечение металлических стержней, раскрытие кокиля. Выталкивание отливки или съём ее и вынос из рабочей зоны осуществляются механизмами машины автоматически.

На базе однопозиционных машин разрабатывают автоматизированные литейные комплексы, в состав которых кроме кокильных машин входят манипуляторы для заливки сплава, извлечения отливок, термостаты, механизмы обдувки и окраски формы.

Карусельные кокильные машины, как правило, предназначены для массового производства отливок. Такие машины имеют 6, 8, 12, 16 позиций. Благодаря совмещению основных операций эти машины отличаются высокой производительностью. Обычно такие машины имеют вертикальную ось вращения карусели, реже — горизонтальную.

Карусельные машины с вертикальной осью вращения карусели состоят из однопозиционных кокильных секций с самостоятельными приводами для закрытия и раскрытия кокиля, выталкивания отливок. Эти секции смонтированы на столе карусели. Стол карусели может иметь непрерывное или пульсирующее вращение. Пульсирующее движение стола упрощает заливку форм, нанесение на их рабочую поверхность огнеупорного покрытия, извлечение отливки и другие операции. Такие машины часто используют в составе автоматизированных литейных комплексов.

На рис. 2.24, а представлен автоматизированный литейный комплекс. Расплав из дозатора 1 заливается в кокили 2, установленные на восьмипозиционной карусельной машине. Песчаные стержни из магазина 4 устанавливаются в кокиль манипулятором 3. После затвердевания и раскрытия кокиля отливки извлекаются манипулятором 6 и им же подаются в пресс 8 для отделения литниковой системы. Готовые отливки попадают в тару 7, а затем по подвесному конвейеру 5 транспортируются на дальнейшую обработку. Расплав от плавильных агрегатов подается в дозатор по монорельсу 9 ковшами. Комплекс обслуживается тремя операторами.

На рис. 2.24, б представлен автоматизированный литейный комплекс, состоящий из двух однопозиционных кокильных машин. Расплав из дозатора заливается попеременно в кокили, установленные на машинах 2. После затвердевания отливки и раскрытия кокиля отливка извлекается манипулятором 4 и передается в тару 3. Комплекс управляется оператором с пульта 5.

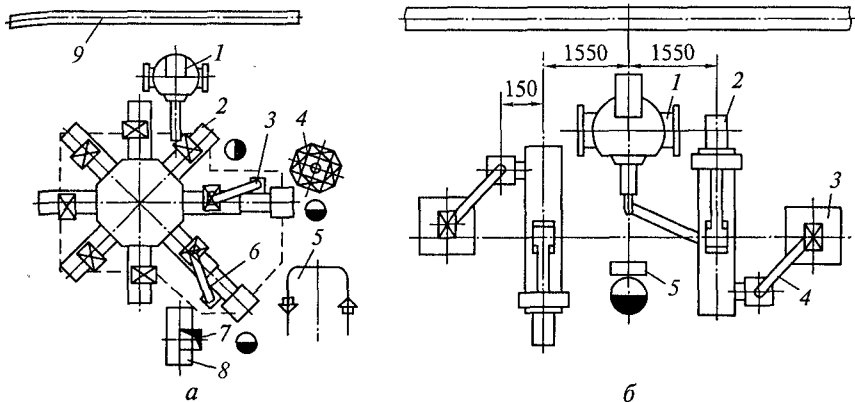


Рис. 2.24. Схемы автоматизированных литейных комплексов литья в кокиль на базе:

a — восьмипозиционной карусельной машины: 1 — дозатор; 2 — кокиль; 3 — манипулятор установки стержней; 4 — магазин стержней; 5 — конвейер для отливок; *b* — манипулятор извлечения отливок; 7 — тара для литниковых систем; 8 — пресс; 9 — монорельс; *b* — однопозиционной машины: 1 — дозатор; 2 — кокильная машина; 3 — тара для отливок; 4 — манипулятор; 5 — пульт управления

Специальные кокильные машины предназначены для изготовления какой-либо одной отливки или однотипных отливок, например станин и крышек электродвигателей, отопительных радиаторов, поршней двигателей внутреннего сгорания, стоек плугов и других отливок в массовом производстве. Часто эти машины бывают двух-, трех-, четырехпозиционными, что позволяет путем совмещения времени операций технологического процесса повысить производительность.

Кокильные конвейеры. В массовом производстве однотипных отливок, например фасонных отливок сантехники, а также для изготовления отливок с разной серийностью выпуска, разной массы используют кокильные конвейеры. Основные их преимущества — высокая производительность, возможность для организации потока при производстве разногабаритных отливок широкой номенклатуры. Кокильные конвейеры могут быть горизонтально замкнутыми и вертикально замкнутыми.

Автоматизированные линии литья в кокили. В массовом и крупносерийном производстве применяют специализированные автоматизированные линии литья в кокили, предназначенные для изготовления как одной отливки, так и нескольких однотипных отливок. Обычно в автоматизированные линии входят: многопозиционные карусельные кокильные машины; заливочные машины или дозаторы для заливки расплава в кокили; установки для нанесения огнеупорных покрытий на кокили; устройства для очи-

стки кокилей, а также манипуляторы для передачи отливок из кокиля в установки для обрубки литников, выбивки песчаных стержней, очистки отливок. В состав автоматизированных линий могут также входить плавильные агрегаты, транспортные средства для подачи расплава к заливочным устройствам, автоклавы для обработки чугуна магнием, агрегаты для термической обработки отливок, транспортные устройства для удаления отходов, оборудование для очистки отливок, установки и приборы для контроля качества отливок. Эти линии отличаются высокой производительностью, компактностью, небольшой энергоемкостью.

Автоматизированные линии литья в облицованные кокили. В связи с высокой стоимостью оснастки, сложностью переналадки оборудования и технологических режимов литья в облицованные кокили используют в крупносерийном и массовом производстве. Поэтому наибольшее применение получили автоматизированные и комплексно-механизированные линии литья в кокили, облицованные сыпучей сухой термотвердеющей песчано-смоляной смесью. Такие линии состоят из отдельных участков: нанесения облицовки, сборки, заливки, разборки, выбивки, очистки, охлаждения кокилей, их кантовки.

Линия, предназначенная для изготовления отливок из чугуна в кокилях размерами от $1000 \times 1000 \times 200$ до $1300 \times 700 \times 250$ мм, имеет металлоемкость форм 100... 200 кг, производительность 12... 29 тыс. т отливок в год; ее обслуживают восемь операторов.

Механизация и автоматизация заливки кокилей. Комплексное решение проблемы автоматизации производства отливок с целью уменьшения потерь металла, сокращения брака отливок по причине нарушения режимов, наблюдаемого при ручной заливке, уменьшения массы литниковой системы и повышения точности отливок возможно средствами механизации и автоматизации заливки форм. Применение автоматической заливки позволяет решить важную социальную задачу: исключить тяжелый ручной труд в зоне с повышенной температурой и загазованностью, превратить труд заливщика в труд квалифицированного оператора, управляющего сложной техникой.

Требования к автоматическим системам заливки. Заливка любой формы, в том числе и кокиля, является одной из самых ответственных и сложных операций для автоматизации. Это объясняется тем, что для нормальной (без недоливов и переливов, сплесков) заливки формы расход из ковша может изменяться по сложному закону. На начальной стадии заливки, до достижения в заливочной чаше определенного уровня, расход превосходит среднее значение, определяемое технологическим режимом. Затем заполнение формы протекает по закону, определяемому конструкцией отливки и типом литниковой системы. В конце заливки во избежание перелива расплава расход должен быть уменьшен. Для

каждой формы с рабочей полостью и литниковой системой требуется соблюдение вполне определенного оптимального режима заливки, нарушение которого может привести к браку отливок.

Все это определяет комплекс требований к системе заливочное устройство — форма при автоматизации заливки, а именно: кокиль и заливочное устройство должны строго фиксироваться в пространстве один относительно другого; положение чаши, выпоров или прибылей и их размеры должны быть унифицированы для разных отливок; заливочное устройство должно обеспечивать точное соблюдение закона изменения расхода и иметь погрешность дозирования (отклонение массы расплава от заданной) не более 2...3%; важно отсутствие в расплаве неметаллических включений, пленок оксидов; потери теплоты при движении расплава из раздаточной емкости в кокиль должны быть минимальными и постоянными, а температура сплава должна находиться в пределах, заданных технологией заливки; конструкция заливочного устройства должна обеспечивать быструю переналадку системы на новый технологический режим.

Механизмы дозирования. На производстве используют заливочные установки, машины, дозаторы, работающие на различных принципах дозирования, способах выдачи дозы, контроля за процессом заполнения формы. Для автоматизации заливки кокилей чугуном применяют установки с наклоняемой емкостью, с пневматической выдачей расплава и магнитодинамические установки. Для автоматизации заливки форм алюминиевыми сплавами используют установки с пневматической выдачей дозы, черпакового типа, магнитодинамические. Последние используют также при литье магниевых сплавов.

Заливочные установки с наклоняемой емкостью (рис. 2.25) предназначены для заливки в кокили чугуна. Элементами этих установок являются обогреваемый газом миксер 1, поворотная рама 4, на которой установлены два ковша 5, гидроцилиндры 6 и 7 наклона ковшей, привод поворотной рамы. Установка работает в автоматическом режиме. Чугун из миксера 1 по желобу 3 поступает в один из ковшей 5. После наполнения ковша рама 4 с ковшами поворачивается, полный ковш поступает на позицию заливки, опорожненный — на позицию заполнения. При подходе очередного кокиля на позицию заливки наполненный ковш 5 наклоняется гидроцилиндром 6, и чугун заливается в кокиль. По достижении соответствующего уровня жидкого металла от контактного датчика, установленного в кокиле, поступает команда на реверс ковша. При порции заливаемого чугуна 4...5 кг точность дозирования составляет 2...3%. После опорожнения ковша рама 4 вновь поворачивается; остатки чугуна сливаются из ковша в изложницу 8, ковш наклоняется гидроцилиндром 7. Для защиты обслуживающего персонала от излучения предусмотрен экран 2.

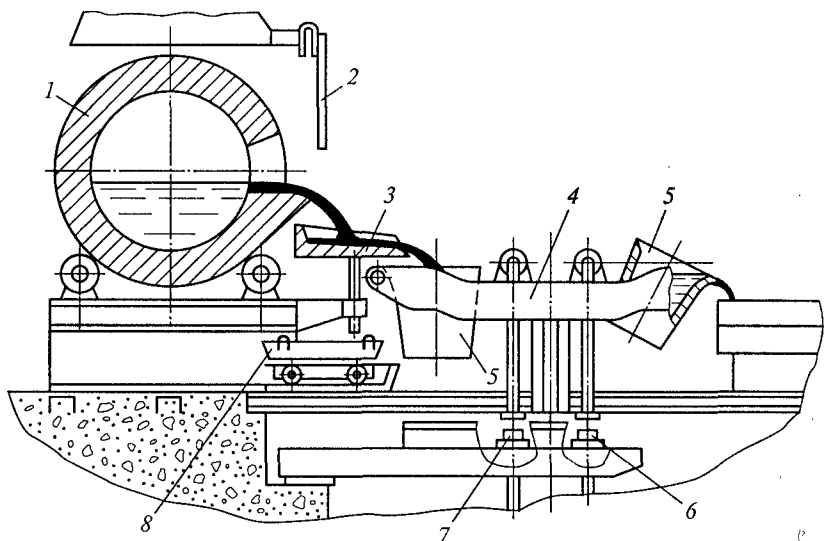


Рис. 2.25. Заливочная установка с наклоняемой емкостью:

1 — миксер; 2 — защитный экран; 3 — желоб; 4 — поворотная рама; 5 — ковши; 6, 7 — гидроцилиндры наклона ковшей; 8 — изложница для слива остатков металла

Производительность установки достигает 200 заливок/ч при дозированной порции 4...5 кг и емкости ковша 75 кг. В НИИСЛ (г. Одесса) разработан ряд таких установок с ковшами емкостью 250...2500 кг чугуна.

Пневматические дозаторы получили большое применение для заливки в кокиль алюминиевых сплавов (рис. 2.26), но их используют также для заливки в формы чугуна. Дозаторы этого типа обеспечивают достаточную чистоту сплава, минимальные потери теплоты, точность выдачи дозы жидкого металла и простоту ее регулировки.

Электрическая печь сопротивления 9, обогреваемая спиралью 10, герметически закрывается крышкой 4. Расплав 8 заливается в предварительно разогретый дозатор через окно 1, также герметически закрывающееся крышкой 2. Для выдачи дозы расплава через клапан 3 внутрь дозатора подается сжатый воздух под таким давлением, что расплав, поднимаясь по обогреваемому металлопроводу до уровня сливного насадка 6, замыкает электродоконттакт 7. При этом подается сигнал на открытие клапана 5, через который в дозатор дополнительно впускается воздух при определенном давлении. Под действием давления воздуха в течение определенного времени доза расплава вытекает через калиброванное отверстие насадка 6 в кокиль. Точность выдачи дозы составляет 5% при массе дозы 0,2...5 кг. Такие дозаторы используют также при автоматизированной заливке при литье под давлением.

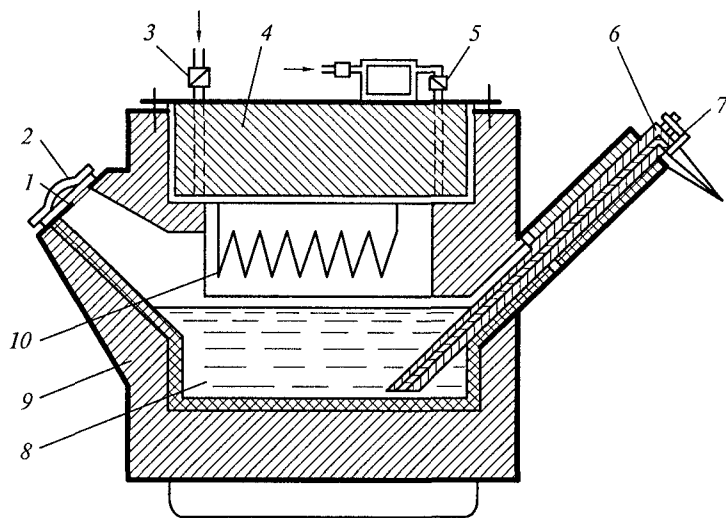


Рис. 2.26. Пневматический дозатор для алюминиевых сплавов:

1 — окно; 2 — крышка; 3 — клапан; 4 — крышка печи; 5 — клапан (стрелка — направление подачи воздуха); 6 — сливной насадок; 7 — электроконтакт; 8 — расплав; 9 — электропечь сопротивления; 10 — спираль

Преимуществом дозаторов этого типа является отсутствие подвижных частей, соприкасающихся с расплавом, а также сифонная выдача наиболее чистого расплава. Однако эти дозаторы имеют недостатки, в их числе: недолговечность металлопровода; большое зеркало расплава, соприкасающееся с воздухом; сравнительно низкая точность дозирования, особенно для малых доз; большая инерционность за счет продолжительного набора и сброса давления в камере.

Для заливки чугуна используют пневматические дозаторы, схема которых приведена на рис. 2.27. Основа установки — канальная индукционная печь промышленной частоты. Ванна 1 с расплавом и окно для скачивания шлака герметизированы. Печь имеет два металлопровода: заливочный 2 и выпускной 4, образующие сифон. Поэтому в выдаваемом из установки чугуне практически не содержится шлаковых включений.

Перед началом работы дозатор заполняется расплавом (показано стрелкой) через заливочный металлопровод 2. Далее для выдачи дозы расплава через отверстие в крышке 3 внутрь камеры печи подается сжатый воздух 6, под действием которого на зеркало расплава (показано стрелками) чугун поднимается в выпускном 4 и заливочном 2 металлопроводах. Через металлопровод 4 чугун поступает в камеру 5 с калиброванной сливной втулкой (показана стрелкой). Дозировка расплава ведется по уровню его в

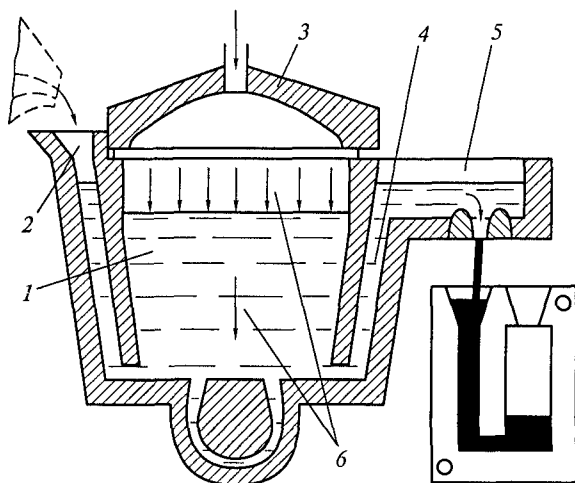


Рис. 2.27. Пневматический дозатор для чугуна:

1 — ванна с расплавом; 2 — заливочный металлопровод; 3 — крышка; 4 — выпускной металлопровод; 5 — камера; 6 — подача воздуха

форме или по времени заливки. Расход чугуна регулируется изменением уровня расплава в камере 5 или сменой сливных втулок с калиброванными отверстиями. Для поддержания постоянного уровня жидкого металла в камере 5 имеются электроконтактные датчики. После выдачи дозы расплава сжатый воздух из установки выпускают и расплав по металлопроводам сливают в печь. Для повышения быстродействия установок при выдаче малых доз камера 5 снабжается стопорным механизмом, перекрывающим отверстие в сливной втулке. Тогда для заливки поднимается и опускается стопор при постоянном уровне расплава над отверстием сливной втулки.

Наряду с преимуществами (постоянство температуры чугуна, отсутствие малостойких металлопроводов, отсутствие в расплаве шлаковых включений) установки имеют недостатки: сложность эксплуатации канальных индукторов и герметизации крышки, большая инерционность, возможность окисления расплава при длительном контакте зеркала расплава с воздухом.

Применение магнитодинамических дозаторов — важный элемент автоматизации. Работа дозатора основана на взаимодействии тока, протекающего в расплаве, с внешним магнитным полем. На расплав, по которому протекает ток, действуют электромагнитные силы, вызывающие движение расплава. В зависимости от способа создания в расплаве электрического тока установки бывают кондуктивные, в которых используется электропроводность расплава, и индуктивные, в которых используются его магнитные свойства.

Неметаллические включения и шлак, находящиеся в расплаве, обладают низкой электропроводностью, поэтому вихревые токи в них не возникают, вследствие чего эти частицы не движутся, а скапливаются в начале канала, по которому движется свободный от включений и шлака расплав.

Магнитодинамические установки широко применяют для автоматизации заливки алюминиевых сплавов, однако используют их и для заливки медных сплавов и чугуна.

Механические дозаторы применяют для заливки алюминиевых сплавов. Наибольшее распространение получили черпаковые дозаторы. К преимуществам этих дозаторов относятся простота и надежность устройства, возможность точной регулировки движений, достаточно высокая (до 3%) точность дозирования, независимость от конструкции раздаточной печи, малая энергоемкость. Вместе с тем механическим дозаторам присущи следующие недостатки: быстрое изнашивание мерного ковша; возможность захвата пленок оксидов с зеркала расплава. Однако благодаря тому, что эти дозаторы просты в эксплуатации, их достаточно широко применяют для автоматизации заливки кокилей, а также при литье под давлением.

На рис. 2.28 представлена схема работы черпакового дозатора. Мерный ковш *A* цилиндрической формы с удлиненным носком выполнен из огнеупорного материала. В цилиндрической стенке ковша имеется отверстие *B* для поступления расплава внутрь ковша и слива излишков сверх дозы при извлечении ковша из ванны. В исходном положении ковш погружен в тигель так, что расплав через отверстие *B* в стенке ковша заполняет его. Затем с помощью рычага ковш поднимается и перемещается к месту заливки, при этом расплав не выливается из ковша. В конечном положении ковш с помощью привода поворачивается вокруг оси, закрепленной на рычаге, и доза расплава сливается в форму.

Автоматизация вспомогательных операций. Огнеупорные краски наносят обычно с помощью форсунок с воздушным или механическим распылением, с подачей краски под избыточным давлением или инъекцией. Перед окраской рабочую поверхность кокиля обдувают сжатым воздухом. Устройства для окраски кокилей бывают двух типов: с неподвижными и перемещаемыми форсун-

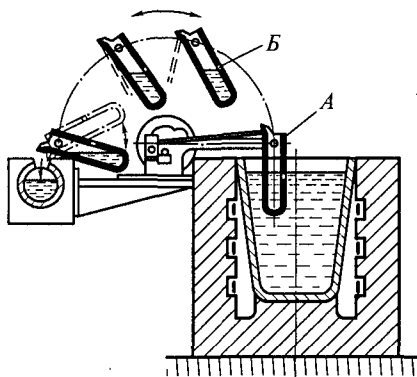


Рис. 2.28. Схема работы черпакового дозатора:

A — мерный ковш; *B* — отверстие в ковше

ками. Устройства с неподвижными форсунками используют в основном для кокилей с неглубокими рабочими полостями, простой конфигурации, а устройства с перемещаемыми форсунками — для окраски кокилей со сложными глубокими рабочими полостями, длинными стержнями.

Для извлечения отливки из кокиля применяют манипуляторы, механизмы которых должны исключать удары отливки или ее деформацию, обеспечивать ориентацию отливки с требуемой точностью при передаче ее на следующую операцию.

Автоматизация управления технологическим процессом. В проблеме механизации и автоматизации кокильного литья, как и для других литейных процессов, можно отметить две основные задачи: механизация и автоматизация манипуляторных операций (основных, вспомогательных, транспортных); автоматизация управления параметрами технологического процесса.

Механизация и автоматизация манипуляторных операций позволяют улучшить условия труда, повысить производительность труда и качество отливок путем точного и надежного выполнения основных операций.

Автоматическое управление технологическим процессом позволяет стабилизировать основные параметры технологии, поддерживать их в оптимальных пределах и обеспечивать стабильность получения отливок высокого качества, повышать эффективность производства.

Только при совместном решении этих задач возможно создание надежно работающих автоматических литейных комплексов.

Однако решение задачи автоматизации, как показывает практика, всегда оказывается более сложным, чем решение задачи механизации. Это объясняется тем, что для автоматического управления процессом получения отливки необходимо располагать закономерностями связей между качеством отливки и параметрами системы отливка — кокиль — механизмы машины, представленными в виде математических моделей системы. Такие модели могут явиться основой использования управляющих ЭВМ для автоматического управления процессом. Создание таких математических моделей требует учета не только общих закономерностей влияния технологических факторов (температуры заливки расплава, температуры кокиля, свойств его материала, толщины и свойств огнеупорного покрытия, толщины стенки отливки, свойств сплава и т. д.) на качество отливки, но и многих других факторов, характерных для рассматриваемой системы отливка — кокиль — механизмы машины.

Методам разработки и создания таких математических моделей посвящена специальная литература [1, 17, 18].

Методы и средства решения задачи автоматизации управления технологическим процессом являются общими для различных спо-

собов литья, более подробно они рассмотрены на примере автоматизации управления процессом литья под давлением (см. гл. 3).

Надежность работы автоматического литейного комплекса, его производительность и качество отливок во многом зависят от того, насколько правильно учтены требования литейной технологии при создании данного технологического оборудования и как полно учтены требования автоматизации данного технологического процесса при его разработке.

Профессору Г.А. Шаумяну, разрабатывающему вопросы теории автоматизации машиностроения, принадлежит мысль о том, что для наиболее эффективного решения проблемы автоматизации следует не только в комплексе рассматривать создание автоматического оборудования и технологии, но и разрабатывать конструкции изделий (деталей, отливок), которые наиболее соответствуют требованиям их изготовления на автоматическом оборудовании. Создание таких технологичных конструкций отливок представляет собой комплексную проблему. Решение ее, как показывает опыт, позволяет получить высокую эффективность производства [1], поэтому такое направление является одним из перспективных в решении проблемы.

2.5. Проектирование технологического процесса

Анализ технологичности конструкции отливки. При проектировании технологического процесса важным моментом является анализ технологичности конструкции отливки, который проводят с учетом общих требований к отливкам, изготавливаемым в металлических формах.

1. Отливки должны иметь такую конфигурацию, при которой требуется кокиль с минимальным числом разъемов, подвижных частей и вкладышей.

2. Отливки не должны иметь выступающих частей, поднутрений, затрудняющих усадку отливки и извлечение ее из кокиля, а полость отливки должна быть выполнена минимальным числом стержней, преимущественно металлических.

Например, пояс Π на отливке по варианту, показанному на рис. 2.29, *а*, *I*, препятствует ее извлечению из кокиля при горизонтальной плоскости разъема, но обеспечивает удобный подвод расплава в форму и возможность использовать металлический стержень. При изменении конструкции отливки (рис. 2.29, *б*, *I*) возможно разместить всю отливку в одной части кокиля, но полость в ней можно выполнить только песчаным стержнем.

3. Отливки не должны иметь поднутрений D в полости (рис. 2.29, *а*, *II*). При их отсутствии (рис. 2.29, *б*, *II*) появляется возможность применения неразъемных металлических стержней.

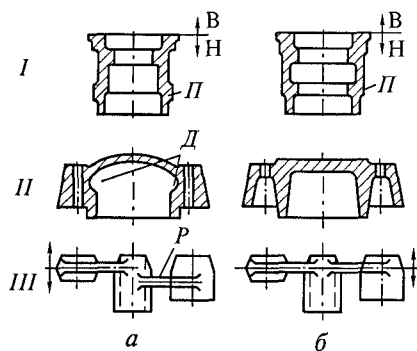


Рис. 2.29. Конструкции кокильных отливок:

a — неправильные (*I—III*); *б* — правильные (*I—III*); *П* — поясок; *Д* — поднутрение; *P* — ребро; *В, Н* — верх и низ линии разреза кокиля

4. Разъем кокиля должен быть плоским, что удешевляет его изготовление и повышает точность отливки (рис. 2.29, *б, III*). Например, ребро *P* на отливке (рис. 2.29, *а, III*) не позволяет сделать разъем кокиля плоским. Плоский разъем кокиля можно сделать, изменив конструкцию отливки (см. рис. 2.29, *б, III*).

5. Толщина стенки отливки должна обеспечивать необходимую ее прочность, заполнение формы и питание отливки при затвердевании. Минимальные толщины стенок отливок приведены в табл. 2.6.

Отливка не должна иметь резких переходов от тонких стенок к массивным, чтобы устранить возможность образования усадочных дефектов. Плавность перехода обеспечивается, если соотношение толщин l_1/l_2 стенок отливки не превышает 1 : 4, а переход осуществляется на участке длиной $L \geq (4 \dots 5)(l_2 - l_1)$. Ребра жесткости должны иметь толщину $l_p = 0,7l_0$ (где l_0 — толщина стенки отливки). Радиусы скругления при угловом сопряжении стенок $R = (l_1 + l_2)/2$. Для чугунных отливок во избежание отбела радиус скругления должен быть не менее 3 мм.

Для легкого извлечения из кокиля отливки ее стенки должны иметь уклоны (табл. 2.7).

Таблица 2.6

Рекомендуемые толщины стенок отливок

Сплавы	Площадь поверхности стенки, см ²	Толщина стенки, мм
Чугун	25	4...5
	25...125	6...7
Сталь	25...125	8
Алюминиевые	100...250	2,2...4,0
	250...900	2,5...4,5
	900	3,5...5,0
Магниевые	30	3
Бронза	30	4...6

Уклоны стенок при литье в кокиль

Сплавы	Уклон, % (от высоты стенки отливки)		
	Наружная поверхность отливки	Внутренняя поверхность, оформляемая металлическим стержнем, при высоте отливки, мм	
		до 50	свыше 50
Чугун, высота стенки, мм:			
до 50	4...7	—	—
51...100	2...5	—	—
101...500	1...3	—	—
Сталь углеродистая	5	—	—
Алюминиевые	1...1,5	5	2...2,5*
Магниевые	2,5	3	2...3
Медные	1,5	7	3...3,5*

* Для тонкостенных отливок.

Отверстия и углубления в отливках из чугуна могут быть выполнены металлическими стержнями, если диаметр отверстия не менее 40 мм, а глубина не более 1/2 диаметра; в отливках из алюминиевых и магниевых сплавов диаметр отверстия не менее 5 мм, а предельные значения составляют:

Диаметр отверстий, мм	6	6...12	12...25
Глубина отверстия, мм	24	36...75	96...200

Разработку чертежа отливки проводят по чертежу детали. При этом определяют положение отливки в форме, места подвода расплава в форму и конструкцию литниково-питающей системы, назначают припуски на механическую обработку, технологические припуски и напуски, уклоны, допуски на размеры согласно существующим нормативам и рекомендациям.

При выборе положения отливки в форме следует учитывать, что в кокиле положение отливки должно обеспечить решение ряда задач: 1) условия для ее направленного затвердевания и питания; 2) возможность направленного удаления воздуха и газов из кокиля при заполнении его расплавом; 3) извлечение отливки из кокиля при минимальном числе его разъемов, минимальном числе стержней и вкладышей и надежном креплении частей и стержней кокиля перед заливкой; 4) расположение баз для обработки резанием в одной половине кокиля. Предпочтительно располагать цилиндрические отливки вертикально; плоские отливки — рамки,

плиты, крышки — на ребро, а чашеобразные отливки — днищем вверх.

Места подвода расплава, конструкцию литниково-питающей системы определяют в соответствии с рекомендациями, изложенными выше.

Припуски на обработку резанием и допуски на размеры отливок принимают в соответствии с ГОСТами, отраслевыми стандартами или нормами.

Технологические режимы процесса назначают с учетом свойств сплава, из которого изготавливается отливка, ее размеров, толщины стенки, конфигурации.

Температурные режимы процесса — температуру заливки сплава и температуру металлической формы — обычно назначают исходя из практического опыта изготовления отливок из данного сплава, руководствуясь рекомендациями, изложенными ранее. При освоении процесса температуру заливки сплава, как и температуру металлической формы, корректируют и согласовывают на основе анализа качества отливки по заполняемости формы, наличию в отливке усадочных дефектов — раковин, пористости, трещин. Температуру заливки следует корректировать с учетом потерь теплоты при движении расплава в каналах дозатора или иного устройства для заливки.

Состав и свойства огнеупорного покрытия назначают, также используя практический опыт получения отливок из данного сплава. Толщину покрытия и его свойства корректируют при доводке процесса на основе анализа качества отливки. Расчет толщины облицовки или краски для отливок из чугуна можно проводить, пользуясь структурной диаграммой (см. рис. 2.19).

Размеры литниковой системы определяют с учетом свойств сплава, конструкции и размеров отливки, руководствуясь рекомендациями, изложенными ранее.

Продолжительность выдержки отливки в форме определяют, используя методы тепловой теории литья [1, 12].

Конструирование кокиля. Разъем кокиля всегда стремятся выполнять плоским, обеспечивающим возможность точной пригонки частей, удобство и простоту обработки при изготовлении и эксплуатации. Число подвижных и отъемных частей должно быть минимальным, иначе возрастает стоимость кокиля, усложняется его изготовление, снижается точность отливки.

Размеры половин кокиля должны быть достаточными для размещения отливки с литниково-питающей системой. Расстояние от рабочей полости до края кокиля принимают не менее 30...40 мм, а в месте литниковой системы — 70 мм. Размеры кокиля должны позволять размещать его на плитах кокильных машин. Основные размеры немеханизированных вытряхных и створчатых (с вертикальным разъемом) кокилей, механизированных (для ус-

Гановки на машины) с воздушным охлаждением определены соответствующими ГОСТами, например ГОСТ 16236—70.

Контуры рабочих стенок кокиля в основных их сечениях должны по возможности повторять контуры отливки. Это повышает его стойкость, облегчает управление тепловым режимом. При изготовлении сложных крупных отливок кокиль расчленяют на части (обычно перпендикулярно к стенке отливки), что позволяет снизить в нем термические напряжения, уменьшить его коробление, повысить его податливость, газопроницаемость, более гибко управлять его тепловым режимом за счет нагрева и охлаждения отдельных частей.

Для повышения жесткости кокиля, уменьшения его коробления на его корпусе выполняют ребра жесткости. Использование ребер жесткости целесообразно только тогда, когда преобладающей причиной выхода из строя кокиля является его коробление. В других случаях ребра жесткости нежелательны, так как возрастают внутренние напряжения в стенке кокиля и соответственно снижается его стойкость. Если коробление кокиля нельзя предупредить утолщением его стенок, то ребра жесткости выполняют невысокими, близко расположенными одно к другому; места их сопряжения со стенкой кокиля выполняют галтелями большого радиуса. Размеры и расположение ребер жесткости определены стандартами, например ГОСТ 16238—70.

Толщина стенок кокиля должна обеспечивать конструктивную прочность, жесткость, а также необходимые условия охлаждения и затвердевания отливки.

Если толщина l_{ϕ} стенки кокиля 2 равна или больше глубины $l_{\text{пр}}$ прогрева ее теплотой отливки, то температура T_{ϕ} внешней поверхности кокиля практически не изменяется (рис. 2.30, а). Если толщина l_{ϕ} стенки кокиля 2 меньше глубины прогрева, то температура $T_{\text{п.с}}$ внешней поверхности будет возрастать, что увеличит отдачу теплоты Q с внешней поверхности кокиля в окружающую среду (рис. 2.30, б).

Изменение толщины стенки кокиля неоднозначно влияет на скорость затвердевания отливки, что подробно рассмотрено в работах Н. Н. Рубцова и Г. Ф. Баландина. Увеличение толщины стенки кокиля повышает скорость затвердевания отливки из сплавов с относительно невысокой температурой плавления (цветные сплавы), практически не влияет на изменение скорости затвердевания отливок из стали и, наоборот, уменьшает скорость затвердевания отливок из тугоплавких сплавов, например титановых. Однако, когда увеличение толщины стенки кокиля повышает скорость затвердевания, толщина ее не должна быть больше глубины прогрева за время затвердевания отливки. Различное влияние толщины стенки кокиля зависит от соотношения способностей формы аккумулировать теплоту и отдавать ее в окружающую среду.

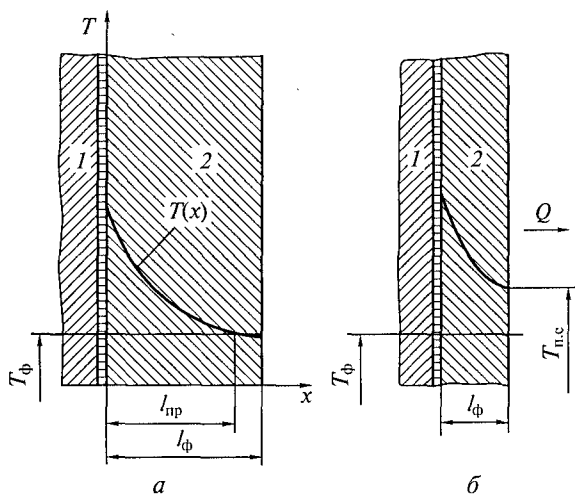


Рис. 2.30. Схемы распределения температуры в стенке кокиля:
a — массивного; *б* — тонкостенного; 1 — отливка; 2 — кокиль;
 (x — линейный размер, другие обозначения см. в тексте)

При затвердевании отливок из сплавов с относительно невысокой температурой плавления уменьшение толщины стенки кокиля заметно снизит теплоаккумулирующую способность формы, а увеличение передачи теплоты излучением и конвекцией в окружающую среду вследствие повышения температуры внешней поверхности кокиля будет невелико, поэтому скорость затвердевания снизится.

При затвердевании отливок из сплавов с высокой температурой плавления уменьшение толщины стенки кокиля приведет к более значительному повышению температуры внешней поверхности $T_{п.с}$ кокиля и соответственно к увеличению количества теплоты, излучаемой этой поверхностью (пропорционально четвертой степени от температуры) и передаваемой конвекцией (практически пропорционально), по сравнению с уменьшением теплоаккумулирующей способности более тонкой стенки кокиля. В результате скорость затвердевания отливки увеличится.

В случае затвердевания стальных отливок уменьшение толщины стенки кокиля приводит к уменьшению теплоаккумулирующей способности и примерно в такой же мере к увеличению отдачи теплоты с внешней поверхности в окружающую среду. **В** результате изменение толщины стенки кокиля практически не будет оказывать существенного влияния на скорость затвердевания отливки.

Для отливок из стали толщину стенки кокиля обычно назначают из условия обеспечения его наибольшей стойкости против коробления.

Изложенные положения являются основой расчета толщины стенки кокиля, предложенного проф. А. И. Вейником.

Рассчитаем глубину прогрева стенки кокиля 2 (рис. 2.31) на толщину l_ϕ , м, за время затвердевания отливки 1 толщиной $2l_0$, м. В результате прогрева стенки кокиля в ней к концу затвердевания отливки установится некоторое распределение температуры $T(x)$. Касательная к кривой этого распределения в точке n пересечет прямую $T_{кр} = 0,5(T_L + T_S)$ на расстоянии λ_2/β от внутренней поверхности формы (здесь $T_{кр}$ — температура кристаллизации; T_L и T_S — температуры ликвидуса и солидуса соответственно; λ_2 — коэффициент теплопроводности кокиля; β — теплоаккумулирующая способность). Количество теплоты, аккумулированное формой через единицу поверхности, выражается площадью под кривой распределения температуры. Если приблизительно эту кривую представить параболой $T(x) = [(T_{2n} - T_\phi) l_\phi^2] / (l_\phi - x)^2$, то для плоских отливок, к которым можно отнести большую часть фасонных отливок [12], относительная температура T_{2n} внутренней поверхности кокиля составит

$$T_{2n} - T_\phi = 3Q_1 / (\rho_\phi c_\phi l_\phi), \quad (2.6)$$

где T_ϕ — начальная температура формы; Q_1 — теплота, выделенная отливкой и аккумулированная формой за время затвердевания отливки; ρ_ϕ , c_ϕ и l_ϕ — соответственно плотность, теплоемкость и толщина прогрева стенки формы (кокиля).

Теплота Q_1 , выделенная отливкой и аккумулированная формой за время затвердевания отливки, определяется формулой

$$Q_1 = l_0 \rho [c_1 (T_{зал} - T_{кр}) + L], \quad (2.7)$$

где l_0 , ρ — соответственно толщина стенки и плотность материала отливки; c_1 , L — теплоемкость и скрытая теплота кристаллизации расплава; $T_{зал}$, $T_{кр}$ — температура заливки металла и его кристаллизации соответственно.

Из геометрических построений (см. рис. 2.31)

$$T_{2n} - T_\phi = (T_{кр} - T_\phi) / [1 + 2\lambda_2 / (\beta l_\phi)].$$

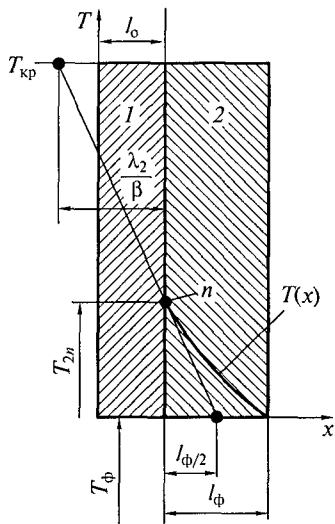


Рис. 2.31. Схема к расчету толщины стенки кокиля:
1 — отливка; 2 — кокиль
(обозначения см. в тексте)

Приравняв правые части уравнений (2.6) и (2.7) и решив полученное квадратное уравнение относительно l_{ϕ} , находим

$$l_{\phi} = (1/2)D \left[1 + \sqrt{1 + (8/D)(\lambda_2/\beta)} \right], \quad (2.8)$$

где

$$D = 3l_0\rho[c_1(T_{\text{зал}} - T_{\text{кр}}) + L]/[\rho_{\phi}c_{\phi}(T_{\text{кр}} - T_{\phi})].$$

Толщину стенки кокиля l_k с учетом глубины l_{ϕ} ее прогрева рекомендуется определять по формуле $l_k = kl_{\phi}$, где k — поправочный коэффициент. Для толстостенных отливок $k < 1$, для тонкостенных $k > 1$.

Кроме теоретических методов в практике используют полученные экспериментальные зависимости. Например, проф. Н. П. Дубинин предложил следующую формулу для вычисления толщины стенки кокиля для отливок из чугуна, мм:

$$l_k = 13 + 0,6l_0. \quad (2.9)$$

По ГОСТам толщину стенок кокиля определяют на основании графической зависимости, приведенной на рис. 2.32 (кривые 1). Для кокилей из сталей и высокопрочного чугуна принятые значения толщины стенки l_k соответствуют заштрихованной области кривых 1 ближе к нижней границе. На этом же графике приведены результаты расчетов по формулам (2.8), (2.9). Из сопоставления результатов определения толщины l_k стенки кокиля следует, что расчет по уравнению (2.9) дает минимальные, а по (2.8) — максимальные значения, рекомендуемые ГОСТами. Для малотеплонагруженных кокилей при изготовлении отливок из чугуна можно пользоваться формулой (2.9). Для отливок из легких сплавов целесообразно пользоваться методом расчета, рекомендованным проф. А. И. Вейником.

Определение усилия запирания

кокиля. При заливке и затвердевании отливки кокиль воспринимает динамическое и статическое давление расплава, давление от расширения кристаллизующегося расплава при его структурных превращениях. Кроме этого, механизм запирания кокиля должен

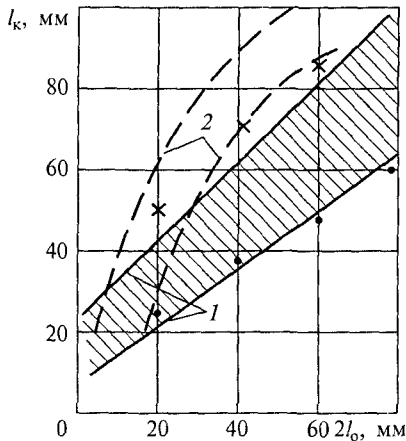


Рис. 2.32. Диаграмма для выбора толщины стенки кокиля по ГОСТ 16237—70 (кривые 1) и ГОСТ 21093—75 (кривые 2). Нанесены результаты расчета по формулам (2.8) (точки \times) и (2.9) (точки \bullet)

Предотвратить деформацию кокиля и образование щели по его разьему из-за короблений рабочих стенок кокиля при нагреве его теплотой расплава. Наиболее опасным является период заливки, когда под действием указанных сил кокиль может раскрыться или по его разьему может образоваться щель, через которую расплав может вытекать из кокиля. Наибольшими из усилий, воспринимаемых механизмом запираения кокиля, являются усилия от коробления кокиля и усилия от расширения отливки при структурных превращениях. Однако усилия от расширения отливки при структурных превращениях возникают, когда отливка частично затвердела и опасность прорыва расплава по разьемам кокиля маловероятна.

Усилия, возникающие из-за коробления кокиля, зависят от его конструкции и температуры нагрева при заливке. Практика показывает, что выбор толщины кокиля с использованием данных на рис. 2.32 позволит обеспечить такую минимальную величину коробления кокиля, при которой исключается опасность вытекания расплава через образующийся между его частями зазор. В этом случае необходимое усилие P запираения кокиля может быть определено только с учетом гидростатического давления расплава на его стенки после окончания заполнения формы:

$$P = 2g\rho HFk,$$

где g — ускорение свободного падения ($9,81 \text{ м/с}^2$); ρ — плотность расплава; H — расстояние от уровня расплава в литниковой чаше до центра тяжести сечения отливки в плоскости разьема формы; F — площадь этого сечения отливки; k — коэффициент запаса, $k = 2 \dots 3$.

На основе результатов расчета проверяются возможность обеспечения необходимого усилия механизмом кокильной машины.

Вентиляционная система кокиля. Данную систему проектируют с учетом направленного удаления воздуха и газов из полости формы при заливке. Основными факторами, влияющими на изменение давления газов в форме, являются сжатие и разогрев воздуха заливаемым в форму металлом, газификация материала покрытия кокиля и скорость удаления газов из рабочей полости формы через вентиляционные отверстия. Анализ этих факторов [12] показывает, что опасность возникновения газовой пористости в отливках по этим причинам не возникает, если площадь сечения вентиляционных каналов $S_v = 1,25S_n$, где S_n — площадь поперечного сечения питателей. Размеры и форму вентиляционных каналов и пробок выполняют по ГОСТам (например, см. ГОСТ 16250—70).

Определение усилия извлечения металлических стержней. При затвердевании и охлаждении происходит усадка металла, в результате чего отливка оказывается защемленной в кокиле или стержень обжимается отливкой. Поэтому при раскрытии кокиля необходимы

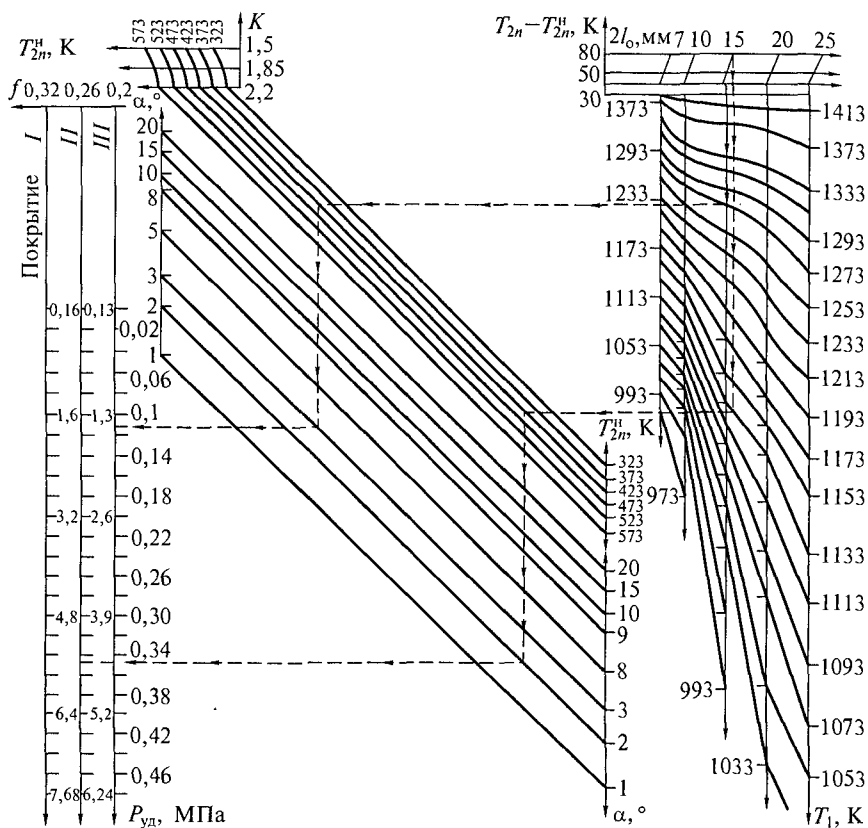


Рис. 2.33. Номограмма для определения усилий извлечения цилиндрических металлических стержней из отливок (обозначения осей см. в тексте)

значительные усилия для отрыва кокиля от отливки и извлечения из нее стержня. На усилие извлечения металлического стержня оказывают влияние: величина усадки отливки, зависящая от состава сплава; температура отливки в момент извлечения; температура стержня; величина уклона, форма и размеры стержня; состав облицовки и краски на поверхности стержня; шероховатость и твердость поверхности стержня; толщина стенки отливки.

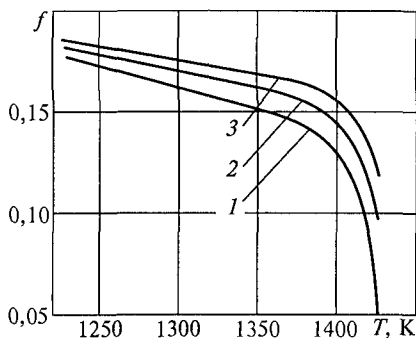
С увеличением продолжительности выдержки стержня в отливке и отливки в кокиле усилие извлечения возрастает.

Для расчетов усилий P извлечения круглых металлических стержней из отливок серого чугуна можно пользоваться номограммой, предложенной В. А. Комиссаровым (рис. 2.33).

Для пользования номограммой необходимы следующие исходные данные: толщина $2l_0$ стенки отливки, мм; отношение K сред-

Рис. 2.34. Влияние температуры на коэффициент трения для разных составов покрытий стержня:

1 — машинное масло; 2 — ацетиленовая копоть; 3 — маршаллит, жидкое стекло



ней толщины стенки кокиля к средней толщине стенки отливки; конусность α стержня, °; коэффициент трения f между отливкой и стержнем; начальная температура T_{2n}^H поверхности кокиля и стержня перед заливкой;

разность температур $T_{2n} - T_{2n}^H$ поверхности стержня в момент извлечения и перед заливкой; температура T_1 отливки, при которой из нее извлекается стержень. На номограмме приведены коэффициенты трения f для трех покрытий стержня: I — на основе графита, II — без покрытия (стержень смазан машинным маслом), III — графит + бентонит. Коэффициенты трения для машинного масла и других составов покрытий приведены на рис. 2.34.

Величины $2l_0$, K , α определяют из чертежа отливки и кокиля; состав покрытия и соответственно значение T_{2n}^H — по рекомендациям табл. 2.4; величину f — по рекомендациям, приведенным на рис. 2.34; величина $T_1 = 1135 \dots 1273$ К ($862 \dots 1000$ °С) (зависит от химического состава чугуна, конфигурации отливки и ее размеров). С увеличением содержания углерода и кремния в чугуне, усложнением конфигурации отливки и увеличением ее размеров значения T_1 принимают большими, а $T_{2n} - T_{2n}^H$ — в пределах $303 \dots 353$ К ($30 \dots 80$ °С), так как влияние этой величины на удельное усилие $P_{уд}$ извлечения стержня незначительно.

Последовательность определения удельного усилия извлечения стержня показана на номограмме (см. рис. 2.33) стрелками для двух случаев:

1) $2l_0 = 15$ мм; $k = 1,5$; $\alpha = 3^\circ$; $T_{2n}^H = 373$ К (100 °С); $T_{2n} = 423$ К (150 °С); $T_1 = 1273$ К (1000 °С); $f = 0,2$;

2) $T_{2n} = 453$ К (180 °С); $T_1 = 1133$ К (860 °С); $\alpha = 2^\circ$.

Анализ результатов расчета удельного усилия $P_{уд}$ по номограмме (см. рис. 2.33) показывает, что наибольшее влияние на его величину оказывает температура T_1 отливки в момент извлечения стержня. Удельное усилие $P_{уд}$, МПа, отнесено к единице поверхности стержня. Фактическое усилие P извлечения стержня равно $P = P_{уд} F_{пов}$ (где $F_{пов}$ — площадь поверхности стержня).

Для определения усилия извлечения призматических стержней найденную по номограмме на рис. 2.33 величину $P_{уд}$ умножают на коэффициент K_k , зависящий от конструкции и размеров стержня.

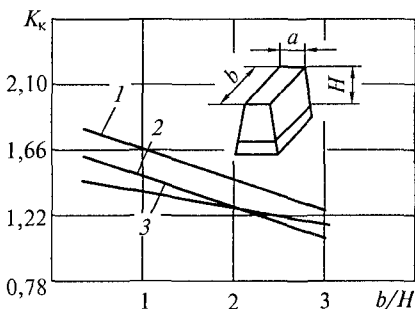


Рис. 2.35. Графики для определения коэффициента формы K_k призматического стержня:
 1 — $1 < b/a < 1,5$; 2 — для круглых стержней; 3 — $b/a \geq 3$; b , a , H — соответственно длина, ширина и высота стержня

На рис. 2.35 прямая 1 соответствует отношению $1 < b/a < 1,5$ (b и a — длина и ширина стержня), прямая 2 относится к круглым стержням, прямая 3 отражает условие $b/a \geq 3$.

Значения $P_{уд}$ могут быть использованы и для расчета усилий съема отливки с выступающих частей кокиля, например с цилиндрических или призматических.

Конструкции толкателей и контртолкателей выполняют в соответствии с рекомендациями стандартов.

Материалы для рабочих стенок кокиля и конструктивных деталей выбирают на основе рекомендаций, приведенных в подразд. 2.2. Затем назначают технологию изготовления формообразующих деталей кокиля, соответствующие режимы их термической обработки или повышения стойкости.

Выбор машины и разработка технологического процесса изготовления отливки — единый процесс.

Требования к кокильной машине при разработке технологии изготовления отливки определяют исходя из конфигурации, размеров, массы, свойств сплава отливки, а также заданной производительности и оптимального уровня автоматизации технологического процесса.

При проектировании технолог разрабатывает конструкцию кокиля, ориентируясь на возможность использования той или иной машины из известных универсальных одно- или многопозиционных (карусельных) машин. Для оценки возможности ее использования технолог сопоставляет полученные им результаты расчетов и конструктивные данные о числе и направлениях разреза кокиля, числе стержней и направлениях их извлечения, габаритах кокиля, усилиях запираения кокиля, извлечения стержней, продолжительности затвердевания отливок и т. д. с паспортными данными машины: размерами плит и направлениями их перемещения, величиной хода плит и механизмов извлечения стержней, конструкцией механизмов и ходами толкателей, усилиями, развиваемыми механизмами перемещения плит и стержней, выталкивания отливки и т. д.

Средства автоматизации околomашинных операций должны обеспечить требуемый уровень автоматизации производства отливки, обладать необходимой точностью выполнения операций (дозирования расплава и постоянства его температуры при заливке, требуемой точностью нанесения огнеупорных покрытий, позиционирования манипуляторных операций и надежностью срабатывания механизмов и т. д.), а также необходимой производительностью, не нарушающей требуемого по технологии темпа и ритма работы кокильной машины.

Особое внимание должно быть обращено на выбор системы терморегулирования работы кокиля и дозатора, так как от точности соблюдения тепловых режимов литья зависят качество отливки, ее структура, механические свойства, а также усилия съема отливки и ее извлечения из кокиля, определяющие надежность работы оборудования.

Наибольшая эффективность производства и высокое качество отливок достигаются только при комплексной автоматизации производства. Поэтому, разрабатывая технологический процесс, необходимо обеспечить комплексное использование автоматических устройств кокильных машин, дозаторов, манипуляторов, транспортных средств, продумать систему организации производства и мероприятий по охране труда и технике безопасности.

Технологический процесс литья в кокиль позволяет решать проблему создания высокоэффективных автоматических литейных комплексов. Автоматические литейные комплексы, управляемые ЭВМ, являются основой создания гибких автоматизированных производств (ГАП). При этом экономически оправданное получение сложных отливок в мелкосерийном производстве возможно лишь при ориентации выпуска на серийно выпускаемые кокильные установки и на максимальную унификацию конструкций кокилей из-за их высокой сложности.

Чертежно-техническая документация на разработанный технологический процесс составляется в соответствии с требованиями ЕСКД и ЕСТД (соответственно единой системы конструкторской и технологической документации), а также соответствующих ГОСТов и СТП (стандартов предприятия).

ЛИТЬЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

3.1. Суть процесса. Основные операции. Область использования

Принцип процесса литья под давлением основан на принудительном заполнении рабочей полости металлической пресс-формы расплавом и формировании отливки под действием сил от пресс-поршня, перемещающегося в камере прессования, заполненной расплавом. В отличие от кокиля рабочие поверхности пресс-формы, контактирующие с отливкой, не имеют огнеупорного покрытия. Это приводит к необходимости кратковременного заполнения пресс-формы расплавом и действия на кристаллизующуюся отливку избыточного давления, в сотни раз превосходящего гравитационное. Современный процесс, реализуемый на специальных гидравлических машинах, обеспечивает получение от нескольких десятков до нескольких тысяч отливок разного назначения в час с высокими механическими свойствами, с низкой шероховатостью поверхности и размерами, соответствующими или максимально приближенными к размерам готовой детали. Толщина стенки отливок может быть менее 1,0 мм, а масса — от нескольких граммов до десятков килограммов. Так, одна из самых сложных и уникальных отливок, изготавливаемых в России, — V-образный блок цилиндров автомобильного двигателя — имеет массу около 23 кг.

В зависимости от конструкции камеры прессования различают машины с холодной (рис. 3.1) и горячей (рис. 3.2) камерами прессования.

Основные операции технологического процесса находятся в зависимости от конструктивного решения камер прессования:

- на машинах с холодной камерой прессования после подготовки пресс-формы 1 (рис. 3.1, а) к очередному циклу, ее сборки и запираения с помощью запирающего механизма литейной машины в камеру прессования 3 подается доза расплава. Затем под действием пресс-поршня 2, перемещающегося в этой камере посредством механизма прессования, через каналы литниковой системы расплав заполняет рабочую полость пресс-формы (рис. 3.1, б). После затвердевания и охлаждения отливки до определенной температуры извлекают стержни 4 и раскрывают пресс-форму (рис. 3.1, в), а затем механизмом выталкивания и толкателями 5

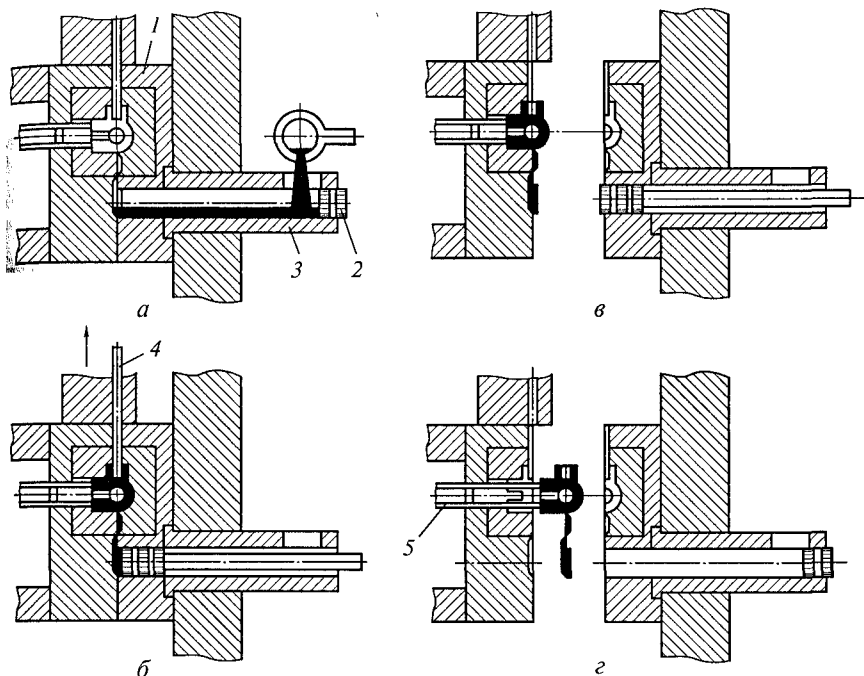


Рис. 3.1. Схема технологического процесса литья под давлением на машине с холодной камерой прессования:

a — подача расплава в камеру прессования; *б* — запрессовка; *в* — раскрытие пресс-формы; *г* — выталкивание отливки; 1 — пресс-форма; 2 — пресс-поршень; 3 — камера прессования; 4 — стержень; 5 — толкатель

отливку удаляют из пресс-формы (рис. 3.1, *г*). Механизмы машины приходят в исходное состояние. Литники и заливы отделяются от отливки, как правило, с помощью обрезающего пресса, расположенного около литейной машины, либо механизмами пресс-формы. На этом рабочий цикл завершается;

- на машинах с горячей камерой прессования особенность технологического процесса связана с тем, что камера прессования 1 (рис. 3.2, *a*) располагается в тигле 3 и сообщается с ним заливочным отверстием 2. Через это отверстие при исходном положении пресс-поршня *б* расплав самотеком поступает из тигля в камеру прессования. После перекрытия заливочного отверстия расплав по обогреваемому каналу 4 поступает в рабочую полость пресс-формы 5 (рис. 3.2, *б*). Рабочий цикл завершается после возврата пресс-поршня в исходное положение и слива остатков расплава из канала 4 в камеру прессования, раскрытия пресс-формы и удаления из нее отливки 7 толкателями 8 (рис. 3.2, *в*).

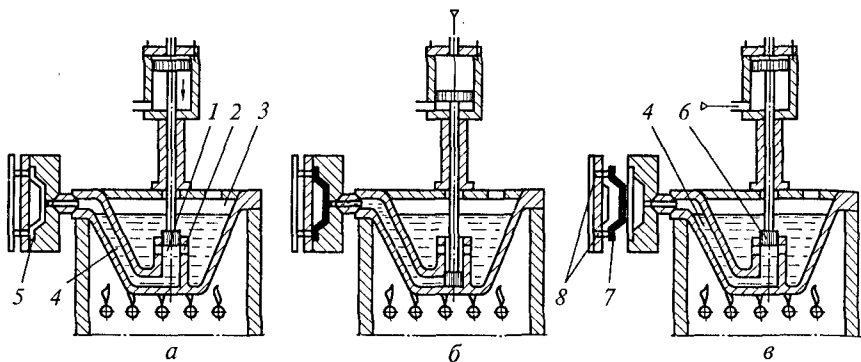


Рис. 3.2. Схема технологического процесса литья под давлением на машине с горячей камерой прессования:

а — заполнение камеры прессования расплавом; *б* — запрессовка; *в* — раскрытие пресс-формы и выталкивание отливки; 1 — камера прессования; 2 — заливочное отверстие; 3 — тигель с расплавом; 4 — обогреваемый канал; 5 — пресс-форма; 6 — пресс-поршень; 7 — отливка; 8 — толкатели

Таким образом, процесс литья под давлением реализуется только на специальных машинах, что обеспечивает возможности комплексной автоматизации технологического процесса, способствует существенному улучшению санитарно-гигиенических условий труда, уменьшению вредного воздействия литейного производства на окружающую среду.

Краткие исторические сведения. Впервые литье под давлением было использовано в 1838 г. для изготовления типографского шрифта. Позже этот процесс начали применять в машиностроении для изготовления мелких деталей из оловянно-свинцовых (1849) и цинковых (1860) сплавов. С этой целью были построены поршневые машины с горячей камерой прессования, пресс-поршень которых перемещался вручную с помощью рычажного механизма, и компрессорные машины, не имеющие подвижных частей, контактирующих с расплавом. Быстрому распространению данного метода литья в машиностроении способствовали его малооперационность и высокая производительность, при этом для получаемых отливок характерна низкая шероховатость поверхности, мелкозернистая структура и более высокие механические свойства по сравнению с отливками, получаемыми в песчаных формах.

В конце XIX в. на поршневых машинах с горячей камерой прессования и на компрессорных машинах с гузником начали получать отливки из алюминиевых сплавов. Сложность процесса заключалась в том, что в поршневых машинах происходило частое заклинивание пресс-поршня, а в компрессорных расплав насыщался газами, отливки имели высокую пористость и низкое качество поверхности.

В 1920-е гг. литье под давлением стали применять в точном машиностроении и приборостроении. Появились поршневые машины с горячей камерой прессования полуавтоматического и автоматического действия. Дальнейшее развитие получили компрессорные машины, в которых для повышения давления на расплав и снижения вероятности разрыва использован уравновешенный тигель. Такие машины стали прообразом современных установок для литья под низким (регулируемым) давлением. Это направление литья под давлением в дальнейшем получило самостоятельное развитие и промышленное воплощение. Затруднения при изготовлении отливок из алюминиевых сплавов на машинах с горячей камерой прессования привели к новым разработкам, в частности к созданию в 1924 г. фирмой «Ekkert» (Германия) и в 1928 г. фирмой «Polak» (Чехословакия) машин с холодной камерой прессования. Эти машины получили широкое распространение, так как позволили повысить давление прессования, снизить вероятность заклинивания пресс-поршня в камере прессования (за счет меньшего проникания расплава в зазор между поршнем и стенками камеры прессования), открыли возможность производства отливок из алюминиевых и медных сплавов, а позже из сталей и сплавов на основе титана.

Высокая производительность процесса и его малооперационность наряду с растущими потребностями промышленности в массовом производстве высокоточных заготовок способствовали постоянному расширению номенклатуры получаемых литьем под давлением отливок и по материалам, и по их эксплуатационным характеристикам. С развитием теории и технологии литья под давлением, совершенствованием оборудования он находит все более широкое применение в автомобильной, электротехнической и приборостроительной промышленности для изготовления изделий авиационно-космического назначения и др., в том числе для отливок, подвергающихся упрочняющей термической обработке и работающих при высоких температурах.

Особенности формирования отливок и их качество. При литье под давлением основные показатели качества отливки — точность размеров, шероховатость поверхности, механические свойства, плотность и герметичность — определяются следующими особенностями ее формирования.

1. Кратковременность заполнения полости пресс-формы расплавом. Скорость впуска расплава в пресс-форму для разных отливок и сплавов колеблется от 0,3 до 140 м/с, продолжительность ее заполнения 0,02...0,3 с, а конечное давление на расплав может достигать 500 МПа. Это позволяет, несмотря на высокую скорость охлаждения расплава в форме, изготавливать весьма сложные корпусные отливки с толщиной стенки менее 1 мм из сплавов с низкой и даже близкой к нулю жидкотекучестью (таким свойством

обладают, например, сплавы, находящиеся в твердожидком состоянии). Высокая кинетическая энергия движущегося расплава и давление, передаваемое на него в момент окончания заполнения формы, способствуют получению отливок с низкой шероховатостью поверхности.

2. Негазопроницаемость материала пресс-формы. Вентиляция ее рабочей полости происходит посредством специальных вентиляционных каналов. При высоких скоростях впуска расплава в полость пресс-формы воздух, а также газообразные продукты разложения смазочного материала, образующиеся при его взаимодействии с расплавом, не успевают полностью удалиться из пресс-формы за время ее заполнения расплавом. Они препятствуют заполнению пресс-формы, попадают в расплав, приводя к образованию неслитин, неспаев, раковин и газовой пористости в отливках. Газовоздушная пористость приводит к уменьшению плотности отливок, снижению их герметичности и пластических свойств. Воздух, газы, продукты разложения смазочного материала, находящиеся в порах отливки под высоким давлением, затрудняют ее термическую обработку: при нагреве прочность отливки снижается, а давление газов в порах повышается, что вызывает коробление отливки, на ее поверхности появляются пузыри.

Для снижения газовой пористости в отливках используют ряд технологических приемов, а также специальные способы литья под давлением (см. подразд. 3.2).

3. Высокая интенсивность теплового взаимодействия между материалом отливки и пресс-формой, обусловленная ее высокими теплопроводностью и теплоемкостью, малым термическим сопротивлением слоя смазочного материала и продуктов его разложения, значительным давлением расплава и отливки на стенки пресс-формы, улучшающим контакт между ними. Это способствует получению мелкозернистой структуры, особенно в поверхностных слоях отливки, повышению ее прочности и высокой производительности процесса.

4. Передача в момент окончания заполнения металлом пресс-формы давления, развиваемого пресс-поршнем в камере прессования, на расплав в полости формы. Это улучшает питание отливки, способствует уменьшению усадочной пористости, сжатию газовой пористости. В результате возрастают плотность, герметичность и механические свойства отливки. Однако эффективность действия подпрессовки ограничена, так как это давление на расплав в пресс-форме действует только до тех пор, пока питатель не затвердеет.

5. Использование металлической пресс-формы с точными размерами и низкой шероховатостью рабочих поверхностей. Это способствует получению высокоточных отливок по массе, геомет-

рии и размерам. Высокая точность размеров отливок (классы 1—4 по ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1998)) позволяет уменьшить припуски на обработку до 0,3...0,8 мм, а в некоторых случаях полностью исключить обработку резанием; остается только зачистка мест удаления питателей, соединительных каналов промывников и облоя. Коэффициент точности отливок по массе (КТМ) при литье под давлением достигает 0,95...0,98. Шероховатость поверхности отливок под давлением зависит в основном от шероховатости поверхности пресс-формы и технологических режимов литья. Обычно отливки под давлением имеют шероховатость от $Rz = 160...80$ мкм (сплавы на основе меди) до $Ra = 1,00...0,32$ мкм (цинковые сплавы).

Эффективность производства отливок и область их применения.

В зависимости от того, насколько полно используются преимущества метода литья под давлением и как правильно учтены недостатки и особенности процесса в условиях конкретного производства, достигается та или иная эффективность производства отливок под давлением.

Учитывая опыт производства отливок под давлением, можно отметить следующие его преимущества:

1) возможность изготовления отливок значительной площади с малой толщиной стенок (менее 1 мм);

2) возможность повышения качества отливок: отливка получается с высокой точностью размеров и низкой шероховатостью поверхности; практически не требует обработки резанием; механические свойства отливок получаются достаточно высокие;

3) возможность многократного использования металлической пресс-формы. При этом сборка формы и извлечение из нее готовой отливки выполняются машиной, а процесс получения отливки малооперационный. Указанные обстоятельства и высокая скорость затвердевания отливки в пресс-форме делают процесс литья под давлением одним из самых высокопроизводительных литейных процессов и создают предпосылки для полной автоматизации данного производства;

4) значительное улучшение санитарно-гигиенических условий труда вследствие устранения из литейного цеха формовочных материалов, меньшее загрязнение окружающей среды.

Наряду с указанными преимуществами литье под давлением имеет ряд недостатков, в их числе следующие:

1) ограниченные мощностью машины (усилием, развиваемым механизмом запирания) габаритные размеры и масса отливок;

2) высокая стоимость пресс-формы, сложность и трудоемкость изготовления, ограниченная стойкость, особенно при литье сплавов черных металлов и медных сплавов, что снижает эффективность процесса и ограничивает область его использования. *Повышение стойкости пресс-форм является одной из важных проблем,*

особенно при литье сплавов, имеющих высокую температуру плавления. Удлинение срока службы пресс-форм повышает эффективность производства, позволяет расширить номенклатуру сплавов, из которых могут быть получены отливки под давлением;

3) трудности выполнения отливок со сложными полостями, поднутрениями, карманами;

4) наличие в отливках газовой и усадочной пористости, которая снижает механические свойства материала отливок, их герметичность, затрудняет термическую обработку, вследствие чего ограничиваются возможности изготовления отливок из сплавов, упрочняемых термической обработкой. *Снижение газовой и усадочной пористости отливок является одной из важных проблем, решение которой позволяет расширить область применения этого перспективного технологического процесса, повысить эффективность его использования;*

5) наличие напряжений в отливках при усадке из-за неподатливости пресс-формы также ограничивает номенклатуру сплавов, из которых могут быть изготовлены отливки данным способом.

С учетом преимуществ и недостатков способа литья под давлением определяется рациональная область его использования. Вследствие высокой стоимости пресс-форм, сложности оборудования, высокой производительности экономически целесообразно применять литье под давлением в массовом и крупносерийном производстве точных отливок с минимальными припусками на обработку резанием из алюминиевых, цинковых, магниевых и медных сплавов, а в некоторых случаях и специальных сплавов и сталей.

Этот процесс с полным основанием может быть отнесен к *малооперационным и практически безотходным технологиям*, так как литники и облой подвергаются переплавке, а отходы в стружку малы. Наивысшие экономические показатели достигаются при изготовлении отливок под давлением на машинах с горячей камерой пресования [23].

3.2. Технология литья под давлением

Расход расплава через питатель. При литье под давлением теплообмен между расплавом и пресс-формой происходит с интенсивностью значительно большей, чем при литье в кокиль, так как на рабочую поверхность пресс-формы наносится лишь слой смазочного материала, имеющий толщину несколько микрометров и небольшое термическое сопротивление. Регулирование этого термического сопротивления может осуществляться в достаточно узких пределах. Ограниченными являются и возможности

изменения температуры пресс-формы перед заливкой или температуры расплава. Повышение температуры пресс-формы удлиняет технологический цикл, так как увеличивается продолжительность охлаждения отливки, что вызывает опасность ее схватывания с пресс-формой, поломок отливки и пресс-формы при выталкивании, а также приводит к риску попадания расплава в вентиляционную систему и ухудшению условий удаления газов из пресс-формы, увеличению пористости отливок. Кроме того, к снижению стойкости пресс-форм приводит повышение температуры сплава. Таким образом, возможности регулирования теплообмена между расплавом и формой путем изменения их температуры ограничены.

В то же время приложение давления на расплав при заполнении формы обеспечивает возможность в достаточно широких пределах регулировать продолжительность заполнения и таким образом изменять количество теплоты, отводимой от расплава формой за время ее заполнения. Из известных положений гидравлики следует, что продолжительность $\tau_{\text{зап}}$ заполнения формы можно регулировать, изменяя объемный расход \dot{V} расплава, движущегося через питатель, т. е.

$$\tau_{\text{зап}} = \frac{V}{\dot{V}}, \text{ или } \tau_{\text{зап}} = \frac{V}{dV/d\tau},$$

где V — объем полости пресс-формы.

Для получения отливки без неслитин и неспаев, вызванных охлаждением потока расплава в пресс-форме, продолжительность $\tau_{\text{зап}}$ заполнения пресс-формы не должна быть больше некоторой определенной величины. Соответственно этому расход \dot{V} расплава через питатель должен удовлетворять условию: $\dot{V} \geq \dot{V}_1$, где \dot{V}_1 — расход расплава через питатель, при котором появляется вероятность образования дефектов поверхности отливок. Поскольку воздух и газы от смазочного материала удаляются из пресс-формы через вентиляционные каналы, размеры которых незначительны, при больших расходах расплава воздух и газы не успевают удалиться из пресс-формы и могут образовать недопустимые газовые дефекты в отливке. Поэтому, чем меньше расход \dot{V} расплава через питатель, тем больше степень удаления воздуха и газов из пресс-формы при соответствующей конструкции вентиляционной и литниковой систем. В этой связи расход \dot{V} расплава через питатель ограничен таким значением расхода \dot{V}_2 , при котором воздух и газы удаляются из пресс-формы в количестве, необходимом для обеспечения заданного качества отливки по газовым дефектам (пористости, плотности, герметичности): $\dot{V} \leq \dot{V}_2$.

Таким образом, для получения отливки без неслитин, неспаев, с хорошим качеством поверхности и требуемым уровнем плот-

ности необходимо, чтобы расход \dot{V} расплава через питатель удовлетворял условию

$$\dot{V}_1 < \dot{V} < \dot{V}_2.$$

Оптимальный расход \dot{V} расплава через питатель зависит от литейных свойств материала отливки, размеров, конфигурации, толщины стенки, предъявляемых к отливке требований по качеству поверхности, плотности и герметичности, от конструкции литниковой и вентиляционной систем и других условий производства. Так, первое ограничение \dot{V}_1 можно понизить путем использования сплава с большей жидкотекучестью (например, сплав марки АК7 (системы Al—Si), который обладает значительно меньшей жидкотекучестью, чем тот же сплав марки АК12). Повысить допустимое значение \dot{V}_2 можно, используя смазочные материалы с меньшей газотворной способностью, а также удаляя газообразные продукты из пресс-формы до начала прессования другими способами.

Расход \dot{V} расплава через питатель определяется скоростью $u_{в.п}$ расплава в питателе и площадью $f_{п}$ его поперечного сечения: $\dot{V} = u_{в.п} f_{п}$, поэтому практическое регулирование расхода \dot{V} может осуществляться изменением указанных параметров.

Площадь поперечного сечения питателей на практике назначают с учетом толщины стенки отливки, удобства отделения от нее литников. Естественно, что толщина питателя не может быть больше толщины стенки отливки в месте подвода расплава, а ширина питателя должна обеспечить легкое его отделение от отливки.

Скорость $u_{в.п}$ расплава в питателе регулируется изменением скорости движения пресс-поршня. Ее максимально допустимое значение имеет различные ограничения, по одним из которых расплав не должен смывать смазочный материал с рабочих поверхностей пресс-формы и вступать с ними в механическое взаимодействие с вероятностью эрозионного воздействия расплава на пресс-форму.

В свою очередь, размеры питателя влияют не только на расход расплава и соответственно на продолжительность заполнения формы, но и на возможность передачи давления прессования на затвердевающий расплав. Если размеры питателя будут такими, что он затвердеет раньше отливки $\tau_{затв}^{пит} < \tau_{затв}^{отл}$, то давление на затвердевшую отливку будет действовать в течение времени от момента окончания заполнения пресс-формы до окончания затвердевания питателя: $\tau_{давл} \approx \tau_{затв}^{пит}$. Если $\tau_{затв}^{пит} \approx \tau_{затв}^{отл}$, то давление на расплав в пресс-форме будет действовать в течение всего времени затвердевания отливки и объем усадочных пор в ней будет меньше вследствие передачи расплава из камеры прессования в отливку через питатель.

Такой способ используют для массивных отливок с повышенными требованиями по плотности и герметичности. Однако при этом

усложняется отделение литников от отливки, так как их толщина практически равна толщине тела отливки. Во многих случаях эти требования к отливкам могут быть обеспечены путем создания большего давления в пресс-форме до затвердевания питателя. При этом питатель делают тоньше тела отливки, а требуемый расход расплава обеспечивают за счет высокой скорости его впуска в пресс-форму.

Толщина питателя и скорость впуска влияют на характер движения расплава в пресс-форме, процессы удаления воздуха и газов из пресс-формы и в конечном счете на качество отливки, ее плотность.

Таким образом, при литье под давлением наиболее важным в формировании отливки является этап заполнения пресс-формы расплавом. При этом наряду с тепловыми условиями формирования отливки решающее влияние на ее качество оказывают условия удаления из пресс-формы воздуха и газообразных продуктов разложения, а также характер движения расплава в пресс-форме.

Движение расплава в пресс-форме. Характер движения расплава в пресс-форме влияет на степень удаления воздуха и продуктов разложения смазочного материала из пресс-формы, на образование в отливках газовой пористости. По данным В. М. Пляцкого, А. К. Белопухова, Л. Фроммера, В. Брандта, В. Онезоргера (приведены в работах [5, 14]) и других исследователей, характер движения расплава в пресс-форме зависит от скорости его впуска, геометрии и размеров питателя, вязкости и поверхностного натяжения расплава, условий его взаимодействия со стенками пресс-формы, условий удаления воздуха и газов из ее полости. Разным сочетанием этих факторов достигается разнообразие характеров заполнения полости формы: сплошным спокойным потоком с низкой его турбулентностью при литье с малыми скоростями впуска; сплошным турбулентным потоком при литье со средними скоростями впуска; дисперсным потоком при литье с высокими скоростями впуска.

При заполнении с п л о ш н ы м с п о к о й н ы м потоком струя расплава со скоростью и при выходе из питателя сохраняет форму до удара о стенку пресс-формы, а затем изменяет направление движения (рис. 3.3). Критическая скорость, при которой сохраняется спокойный характер движения расплава, зависит от вязкости расплава и других факторов. Так, с увеличением вязкости расплава (понижением его температуры или при заливке сплава в твердожидком состоянии) критические скорости, при которых сохраняется спокойный характер движения, возрастают. Если для жидкого расплава такой режим достигается при скоростях впуска до 0,3 м/с, то для расплава, находящегося в твердожидком состоянии, он сохраняется при скоростях впуска до 10... 15 м/с.

С увеличением толщины питателя критические скорости уменьшаются, турбулентность возрастает, что увеличивает пористость отливок.

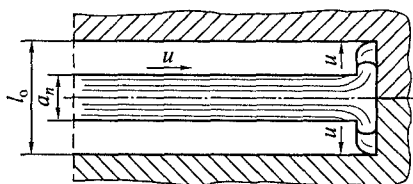


Рис. 3.3. Схема заполнения пресс-формы сплошным спокойным (ламинарным) потоком:

l_0 — толщина отливки; a_n — толщина струи металла; u — скорость потока

При заполнении сплошным спокойным потоком создаются условия для последовательного заполнения пресс-формы расплавом и наиболее полного удаления газов из ее рабочей полости, что способствует уменьшению пористости и газовых включений в отливках. Однако реализовать такое движение расплава и использовать его на практике можно только для толстостенных отливок простой конфигурации из сплавов с широким интервалом кристаллизации при литье в твердожидком состоянии.

Заполнение сплошным турбулентным потоком жидких сплавов проводят при скоростях впуска $0,5 \dots 50$ м/с в зависимости от основы сплава и размеров питателя. В данной технологии сплошной турбулентный поток расплава (показан стрелкой на рис. 3.4) интенсивно захватывает воздух и продукты разложения смазочного материала, которые остаются в затвердевшей отливке. Отливка, полученная при таком режиме заполнения пресс-формы, как правило, содержит крупные газовые поры. Чем выше турбулентность, тем крупнее поры и ниже предел прочности материала отливки. По этим и другим причинам заполнение пресс-форм турбулентным потоком со средними скоростями впуска на

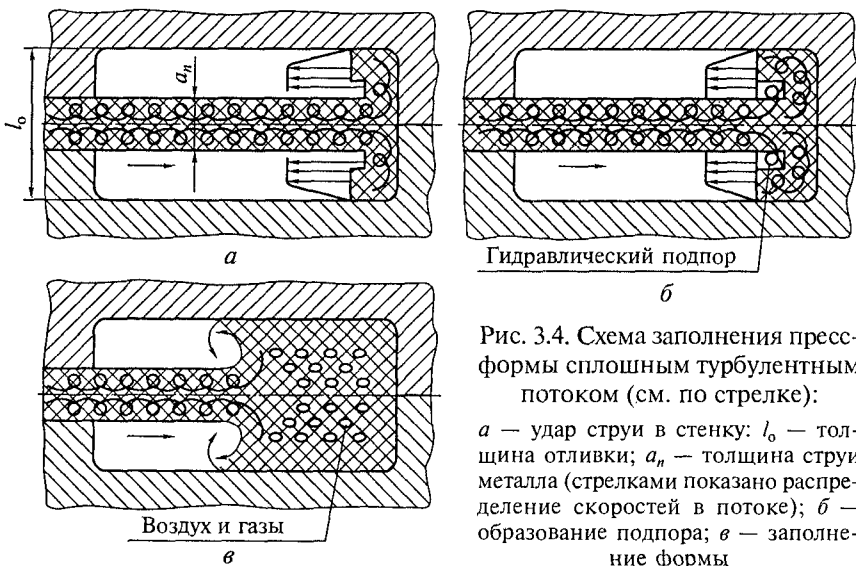


Рис. 3.4. Схема заполнения пресс-формы сплошным турбулентным потоком (см. по стрелке):

a — удар струи в стенку; l_0 — толщина отливки; a_n — толщина струи металла (стрелками показано распределение скоростей в потоке); $б$ — образование подпора; $в$ — заполнение формы

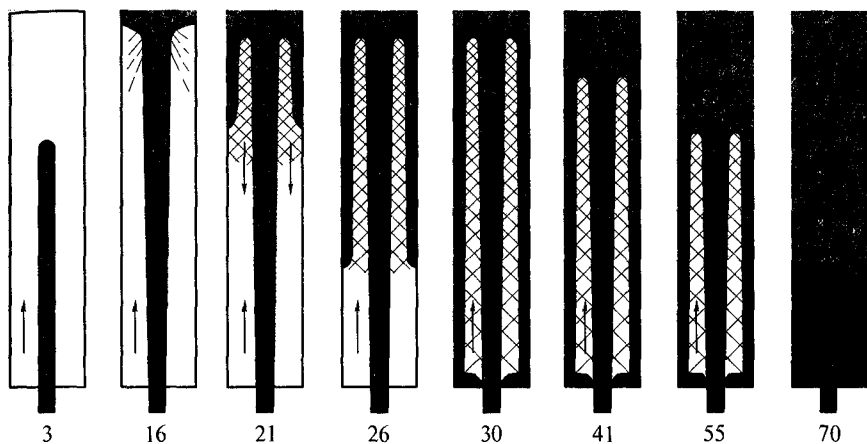


Рис. 3.5. Схема заполнения пресс-формы дисперсным потоком (цифры — время от начала заполнения пресс-формы расплавом в миллисекундах)

практике используется лишь в тех случаях, когда к качеству отливки предъявляются низкие требования.

Заполнение пресс-формы дисперсным потоком происходит при скоростях впуска расплава выше 10... 50 м/с и толщине питателя соответственно 3... 0,25 мм, если расплав в питателе находится в жидком состоянии. При ударе о стенку формы (рис. 3.5) струя дробится на большое число отдельных капель, образующих дисперсную систему — смесь с воздухом и продуктами разложения смазочного материала. Воздушные и газовые пузырьки, остающиеся в отливке, образуют мельчайшую пористость. Такая пористость в значительно меньшей степени снижает механические свойства отливки, чем при режиме заполнения сплошным турбулентным потоком.

Согласно гипотезе Л. С. Константинова наряду с отрицательным действием газы и воздух, находящиеся в отливке при затвердевании, оказывают и положительное влияние на процесс ее формирования. Давление в пузырьках воздуха и газов при заполнении формы равно давлению в турбулентном потоке, а по окончании заполнения — давлению на расплав со стороны пресс-поршня. Так как из-за небольшого сечения питатель затвердевает значительно быстрее, чем сама отливка, действие давления пресс-поршня на затвердевающую отливку прекращается сравнительно быстро. При этом газы, заключенные внутри отливки и находящиеся под давлением, стремясь расшириться, дают на кристаллизующийся расплав и тем самым способствуют четкому формированию рельефа поверхности отливки, разнесению усадки и снижению вероятности образования трещин. Однако, по мнению Л. Е. Кисиленко, вблизи пор в металле отливки возникает слож-

ное напряженное состояние, при этом напряжения могут привести к появлению микротрещин и увеличению транзитной пористости, резко снижающей герметичность отливки.

При заполнении расплавом полости формы сложной конфигурации реализация рассмотренных ранее механизмов движения расплава может иметь место на разных этапах заполнения и на разных участках формы одновременно: на одних участках формы может образовываться дисперсный поток, на других — турбулентный. Возможно также образование и застойных зон, заполняющихся расплавом с малыми скоростями. Таким образом, изложенные представления о механизмах процесса заполнения пресс-формы отражают, по существу, лишь возможные преобладающие при том или ином режиме физические явления и их влияние на формирование качества отливки.

Газовый режим пресс-формы. Для получения качественной отливки необходимо, чтобы при заполнении расплавом пресс-формы воздух и газы от разложения смазочного материала удалялись из нее, так как, оставшись в отливке, они ухудшают ее свойства.

Суммарный объем V_{Σ} газов, который должен быть удален из полости пресс-формы, определяется объемом V_k газов, поступающих в нее из камеры прессования и каналов литниковой системы; объемом рабочей полости пресс-формы, равным объему V_o отливки, и объемом V_r газообразных продуктов разложения смазочного материала пресс-формы (рис. 3.6):

$$V_{\Sigma} = V_k + V_o + V_r.$$

Объем газов, поступающих из камеры прессования в рабочую полость пресс-формы, зависит от диаметра последней, дозы заливаемого в камеру расплава, конструкции машины и других факторов. Так, для машин с горизонтальной холодной камерой прессования объем газового пространства между зеркалом расплава, стенками камеры и пресс-поршнем обычно составляет 0,25...0,4 общего объема камеры прессования. Величина V_k в этом случае должна также учитывать объем газообразных продуктов от смазочных материалов камеры и пресс-поршня и объем газов, покидающих камеру прессования при наличии у нее собственной вентиляционной системы.

Объем газов и воздуха, попадающих из горизонтальной холодной камеры прессования в полость пресс-формы, зависит также от скорости перемещения прессующего поршня и закономерности ее изменения по отдельным фазам прессования. Так, при движении пресс-поршня с постоянной скоростью уровень расплава h может соответствовать положениям 1—4 (рис. 3.6, а) или 5—7, при скорости пресс-поршня соответственно меньше и больше скорости распространения волны на поверхности расплава. Однако в любом из этих случаев воздух и газы могут захватываться

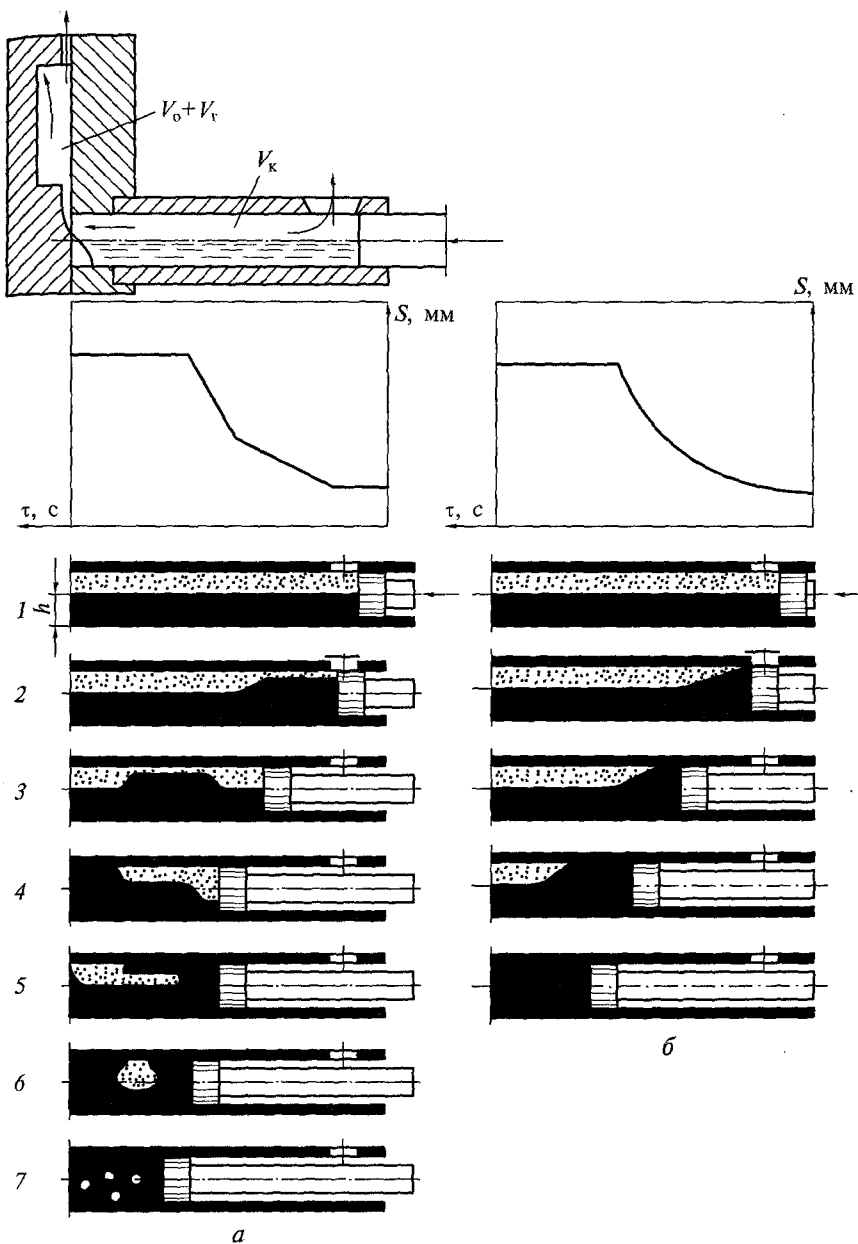


Рис. 3.6. Схема удаления газов из пресс-формы и камеры прессования: *а* — при движении пресс-поршня с постоянной скоростью; *б* — при ускоренном движении пресс-поршня; S — перемещение пресс-поршня; τ — время; h — уровень расплава; стрелками на верхнем чертеже показано направление выхода газов; V_0 , V_r , V_k — объемы газов

расплавом и далее оставаться в отливке. При ускоренном перемещении пресс-поршня (рис. 3.6, б) последний постоянно догоняет волну расплава, образующуюся при трогании пресс-поршня с места, т. е. практически до начала заполнения расплавом литникового хода воздух и газы могут быть вытеснены в пресс-форму и далее из нее через систему вентиляции — в атмосферу. Такой процесс движения пресс-поршня впервые реализован на машинах фирмы «Buhler» (Швейцария).

В случае машин с вертикальной холодной или горячей камерой прессования величина V_k включает в себя лишь объем каналов литниковой системы. Объем V_r газов, выделяющихся при заполнении пресс-формы расплавом от разложения смазочного материала, В. Н. Зеленов [9] предложил определять как зависимость от площади F_ϕ поверхности рабочей полости пресс-формы, толщины $h_{см}$ слоя смазочного материала на этой поверхности, газотворной способности Z смазочного материала и его плотности $\rho_{см}$:

$$V_r = kF_\phi h_{см} Z \rho_{см},$$

где k — коэффициент, учитывающий степень разложения смазочного материала до газообразного состояния за время заполнения пресс-формы ($k = 0$ — смазочный материал не подвергся разложению в пресс-форме; $k = 1$ — случай полного разложения смазочного материала на газообразные продукты).

Для уменьшения объема V_r газообразных продуктов разложения используют высокоэффективные смазочные материалы, обладающие высокой термостойкостью (значение k близко к нулю), низкой газотворной Z и высокой смазывающей способностью. За счет последнего показателя удастся снизить расход материала, его толщину $h_{см}$ на рабочей поверхности, повысить качество отливок и уменьшить выбросы в окружающую среду.

Таким образом, исходя из приведенных соотношений и характера движения расплава в пресс-форме для литья под давлением, можно сделать вывод о том, что получение отливки с низкой пористостью только путем удаления газообразных продуктов из пресс-формы — задача весьма сложная. Об этом свидетельствуют и практические данные. Поэтому на практике для уменьшения объема пор в отливках чаще прибегают к повышению давления прессования. Это хорошо иллюстрируется тенденцией изменения этого важного параметра технологического процесса — от нескольких мегапаскалей в период становления процесса давление прессования со временем было повышено до нескольких десятков мегапаскалей и в настоящее время давление прессования достигает 500 МПа. Эта тенденция привела к созданию весьма мощных, металлоемких и энергоемких машин. Такой путь достижения низкой пористости и высокой плотности отливок тем не менее не единственный.

Основной причиной, вызывающей необходимость высоких давлений прессования, является недостаточная вентиляция пресс-формы.

Для уменьшения газовой и воздушной пористости в отливках под давлением кроме повышенных давлений прессования, создания рациональных конструкций литниковой и вентиляционной систем пресс-формы, выбора оптимальных режимов литья — скорости прессования, температуры расплава и пресс-формы, давления прессования — разработаны и используются в производственных условиях специальные способы литья под давлением, направленные на достижение тех же целей.

Производственная реализация этих специальных способов сопряжена с дополнительными затратами, усложнением конструкций пресс-форм, машин литья под давлением и организации производственного процесса. Такие затраты можно считать оправданными только при необходимости изготовления отливок под давлением, к качеству которых предъявляются особые требования. К числу специальных способов литья под давлением, направленных на уменьшение газовой пористости в отливках, относят литье с использованием вакуумирования пресс-формы и камеры прессования, литье с регулированием состава газов в полости пресс-формы.

Литье под давлением с использованием вакуума. Для осуществления данного вида литья используют разные способы вакуумирования полости пресс-формы и камеры прессования, различающиеся по месту удаления воздуха и газов (непосредственно из пресс-формы, из кожуха или камеры, в которую заключена пресс-форма и т. д.), по моменту начала вакуумирования пресс-формы и камеры прессования, а также по конструктивному исполнению систем вакуумирования. Например, устройство для создания вакуума в пресс-форме, установленной на машине с холодной горизонтальной камерой прессования (рис. 3.7), представляет собой камеру, состоящую из плиты 2, укрепленной на подвижной плите 1 машины, двух частей кожуха 3 и 4, а также неподвижной плиты 6, расположенной на неподвижной плите 7 машины. Внутри кожуха находится пресс-форма, состоящая из неподвижной 11 и подвижной 12 полуформ, плит 14 и 15 толкателей. Камера прессования 8 каналом (показан штриховой линией) соединяется с системой вакуумирования. При закрытии пресс-формы уплотнения 16 и упоры 13 обеспечивают герметичность вакуумной камеры.

После заливки расплава в камеру прессования заливное окно камеры закрывают поворотной муфтой 9, после чего камера с помощью электромагнитного золотника соединяется через трубопровод 5 с вакуумным ресивером или воздушным насосом. В камере создается требуемое разрежение воздуха, и продукты разложе-

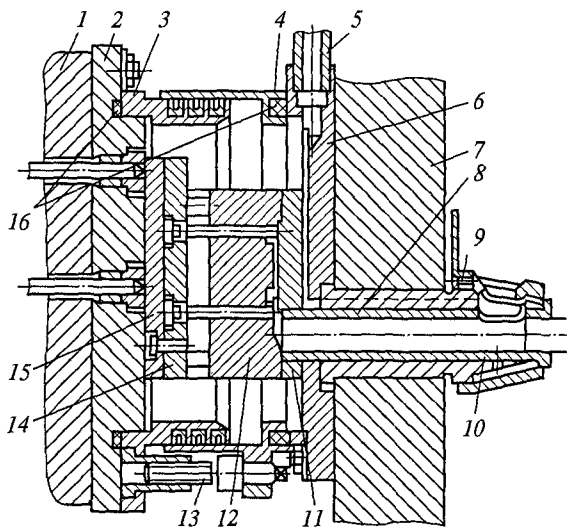


Рис. 3.7. Установка для литья под давлением с вакуумированием пресс-формы:

1, 7 — соответственно подвижная и неподвижная плиты машины; 2, 6 — то же, вакуумной камеры; 3, 4 — соответственно подвижная и неподвижная части кожуха; 5 — трубопровод; 8 — камера прессования; 9 — поворотная муфта; 10 — сменная втулка; 11, 12 — соответственно неподвижная и подвижная полуформы; 13 — упоры; 14, 15 — плиты толкателей; 16 — уплотнения

ния смазочного материала пресс-формы удаляются из ее полости через вентиляционные каналы; одновременно или с некоторой задержкой происходит запрессовка расплава в пресс-форму.

Практика использования вакуумирования полости пресс-формы при литье под давлением показала, что для получения качественных отливок и более полного использования преимуществ этого способа литья необходимо: тщательно очищать расплав от неметаллических и газовых включений (рафинировать расплав); обеспечивать быстрое и полное удаление воздуха и газов из полости пресс-формы; осуществлять отсос воздуха и продуктов разложения смазочного материала из мест их скопления в пресс-форме; использовать смазочные материалы с низкой газотворной способностью; исключать натекание воздуха из атмосферы в рабочую полость пресс-формы и камеры прессования. При соблюдении этих требований удастся уменьшить количество воздуха, паров и газов в полости пресс-формы, снизить их противодавление при заполнении формы расплавом и благодаря этому улучшить качество отливок, повысить их плотность, герметичность, прочность и относительное удлинение, улучшить заполняемость пресс-формы, получить крупные отливки с меньшей на 30... 40% толщиной сте-

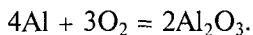
нок, в некоторых случаях осуществить высокотемпературную обработку отливок.

Однако при литье под давлением с использованием вакуума могут создаваться условия, при которых газы, растворенные в расплаве, при понижении его температуры и увеличении разности парциальных давлений газа в расплаве и в пресс-форме начнут выделяться из раствора. При этом газовая пористость отливок увеличивается. Степень разрежения, при которой достигается требуемое качество отливок, зависит от химического состава расплава, количества и состава растворенных в расплаве газов, конфигурации отливки, влияющей на скорость ее охлаждения.

Кроме того, при больших степенях разрежения снижается температура испарения некоторых металлов (Zn, Mg), которые могут входить в состав заливаемого расплава или являться его основой. Процессы испарения таких составляющих также могут привести к появлению пористости и раковин в отливках. Поэтому, например, для небольших тонкостенных отливок из цинковых, алюминиевых и магниевых сплавов создается разрежение в пресс-форме в пределах 25...50 кПа.

Литье под давлением с регулированием состава газов. Имеется в виду регулирование состава газа в полости формы, которое также, как и в предыдущем способе литья, выполняют различными способами. Практическое применение получили процессы литья с замещением воздуха и газообразных продуктов разложения смазочного материала кислородом (кислородный процесс), а также газами с низкой молекулярной массой, например гелием.

Кислородный процесс, разработанный А.А. Рыжиковым и С.З. Злотиним, осуществляется следующим образом. Перед заливкой расплава полости пресс-формы и камеры прессования продуваются кислородом до полного вытеснения воздуха. При заполнении пресс-формы расплавом кислород вступает в реакцию окисления с компонентами расплава. Реакция окисления расплава протекает с высокой скоростью, благодаря чему большая часть кислорода в объеме рабочей полости расходуется на окисление, а не на образование в нем пор:



Образующиеся частицы оксида Al_2O_3 находятся в мелкодисперсном состоянии, и их удается обнаружить только при увеличении более чем в 40 тысяч раз, используя электронный микроскоп. Теоретически содержание оксидов в отливке, полученной кислородным процессом, может в 4,5 раза превышать их количество в отливках, полученных обычным литьем под давлением, однако механические свойства металла и обрабатываемость отливок при этом не ухудшаются. Вместе с тем газосодержание отливок и пористость в них значительно уменьшаются. Напри-

мер, содержание газов в отливках из алюминиевых сплавов при кислородном процессе снижается до $(0,5... 1) \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{кг}$. В то же время следует отметить, что при проведении кислородного процесса исключено использование смазочных материалов, выделяющих при разложении продукты, способные взаимодействовать с кислородом. Смазочные материалы пресс-формы для кислородного процесса должны быть негасительными, иначе из-за взаимодействия кислорода с продуктами разложения смазочного материала в полости формы могут образоваться CO , CO_2 , SO_2 , H_2O и другие газы и пары, что снизит эффективность процесса. Это ограничивает применение кислородного способа для отливок, сложных «по съему», т. е. отливок с большим числом стержней, выполняющих глубокие полости, отверстия большой протяженности и т. д.

Однако по сравнению с вакуумированием полости пресс-формы кислородный процесс обладает некоторыми преимуществами: производительность процесса литья практически не снижается, форму не нужно заключать в кожух, что позволяет использовать достаточно сложные пресс-формы с дополнительными механизмами для извлечения стержней и т. д. Следует также отметить, что при использовании кислорода повышается пожароопасность в цехе, т. е. требуется тщательное соблюдение правил техники безопасности и пожарной охраны.

Гелиевый процесс. По схеме, близкой к кислородному процессу, проводят гелиевый процесс, согласно которому перед заливкой расплава полости камеры прессования и пресс-формы заполняют гелием с тем, чтобы полностью вытеснить воздух из системы. Поскольку скорость течения газообразных продуктов по каналам обратно пропорциональна корню квадратному из их молекулярной массы, а молярная масса гелия равна $M = 4,003 \text{ г/моль}$, его расход в пресс-форме будет почти в 3 раза больше, чем расход смеси воздуха и продуктов разложения смазочных материалов при одинаковых прочих условиях истечения. Благодаря большому расходу противодавление газа в пресс-форме снижается, меньше газа замешивается в расплав, количество газовых пор в отливке резко уменьшается, плотность ее возрастает. Чтобы гелий не мог быть замещен воздухом, гелий подается в пресс-форму вплоть до начала запрессовки расплава.

Такие процессы позволяют получать отливки из термоупрочняемых сплавов, а также отливки, работающие при высоких температурах, например подошвы электроутюга.

Влияние давления на формирование отливки. На рис. 3.8 представлена схема осциллограммы давления p рабочей жидкости в поршневой полости гидроцилиндра механизма прессования машины с горизонтальной холодной камерой прессования за время t рабочего хода пресс-поршня.

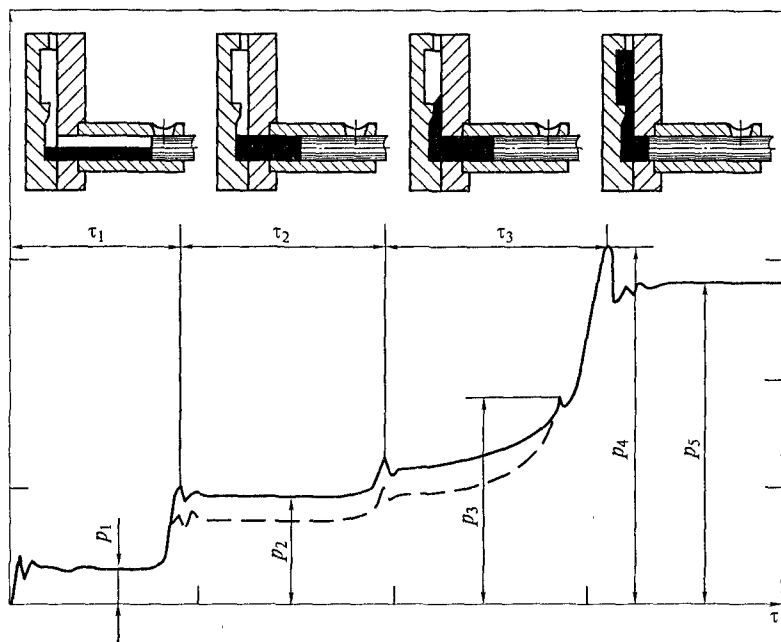


Рис. 3.8. Схема осциллограммы давления в поршневой полости гидроцилиндра механизма прессования:

$\tau_1 - \tau_3$ — периоды времени; $p_1 - p_5$ — значения давления

В период времени τ_1 поршень, перемещающийся со скоростью не выше 0,5 м/с, перекрывает заливочное окно камеры прессования, происходит плавный подъем уровня расплава. При этом расплав не должен выплескиваться из заливочного окна камеры прессования, а газы из ее свободного объема должны вытесняться в рабочую полость пресс-формы и далее через систему вентиляции — в атмосферу. Значение p_1 соответствует давлению, необходимому для преодоления сил трения пресс-поршня и деталей гидроцилиндра.

Период времени τ_2 соответствует разгону пресс-поршня до скорости, обеспечивающей необходимую скорость впуска расплава в пресс-форму и длительность ее заполнения. Давление в гидросистеме увеличивается до значения p_2 в результате роста противодействия в камере прессования и потерь давления в гидросистеме механизма прессования.

За время τ_3 происходит заполнение каналов литниковой системы и рабочей полости пресс-формы расплавом. Давление повышается до значения p_3 вследствие преодоления гидравлических сопротивлений литниковой системы и пресс-формы, роста давления газов, заключенных в ее рабочей полости.

При использовании систем вакуумирования пресс-форм значения p_2 и p_3 могут быть существенно ниже (показано штриховой линией на рис. 3.8).

Рабочий ход завершается срабатыванием устройства для подпрессовки (им может быть, например, мультипликатор). Давление повышается до значения p_5 . При этом во многих механизмах в результате действия инерционных сил, может происходить гидроудар с кратковременным повышением давления до значения p_4 . Гидроудар требует более высокого усилия запирания пресс-формы, отрицательно влияет на работу литейной машины, так как приводит к разрыву трубопроводов, их вибрации, разрушению колонн и т.д.

Если на первых машинах для литья под давлением давление при гидроударе могло в несколько раз превосходить его статическое значение, то современные механизмы обеспечивают запрессовку даже при максимальных скоростях пресс-поршня, практически без возникновения гидроудара. Это достигнуто за счет уменьшения массы подвижных частей механизма прессования, включая массу рабочей жидкости, а также использования современных устройств для управления работой гидропривода.

Требуемое статическое давление прессования зависит от состава сплава, его свойств (вязкости, плотности), эффективности работы системы вентиляции, конфигурации и толщины стенки отливки, требований к ее качеству (плотности, прочности, герметичности и состоянию поверхности). Оно обычно принимается в пределах 10...200 МПа. Рекомендуемые давления прессования для ряда сплавов и отливок приведены далее на с. 230. Если к моменту достижения давления p_5 питатель не затвердевает, то давление прессования передается на затвердевающую отливку. Поэтому для повышения качества отливки необходимо, чтобы максимальное давление подпрессовки развивалось механизмом прессования в момент начала затвердевания отливки, сразу после окончания заполнения формы, до затвердевания питателя.

После заполнения формы расплавом, который поступает сплошным турбулентным или дисперсным потоком, с помощью подпрессовки уменьшаются размеры воздушно-газовых пор в теле отливки, т.е. повышается ее герметичность и прочность. Однако отливки, полученные путем использования традиционной технологии, нельзя в дальнейшем нагревать и обрабатывать термически при нормальном давлении из-за неизбежного расширения газов в порах и, как следствие, коробления отливок и возникновения пузырей на их поверхности. Поэтому термическую обработку таких отливок ведут в специальных автоклавах при избыточных давлениях, в сотни раз превосходящих атмосферное. В настоящее время термоупрочняемые тонкостенные отливки получают на машинах для литья под давлением, имеющих вертикальную компонов-

ку и оснащенных системой вакуумирования пресс-формы и камеры прессования.

При заполнении формы сплошным спокойным потоком через толстый питатель подпрессовка позволяет уменьшить усадочную пористость в отливке и улучшить качество ее поверхности, особенно если сплав заливают в твердожидком состоянии. Небольшая скорость впуска обеспечивает последовательное заполнение пресс-формы расплавом, а подпрессовка способствует получению плотных, с минимальной воздушно-газовой и усадочной пористостью отливок с толщиной стенки 5...8 мм и более, а также отливок из высокопрочных сплавов, упрочняемых термической обработкой. Это расширяет область применения способа литья под давлением.

Технологические режимы литья. К важнейшим параметрам технологического процесса относятся: продолжительность $\tau_{\text{зап}}$ заполнения пресс-формы расплавом; скорость впуска $u_{\text{вп}}$ расплава в пресс-форму; размеры и расположение вентиляционных каналов; количество и свойства смазочного материала пресс-формы; температура расплава и пресс-формы.

Продолжительность заполнения $\tau_{\text{зап}}$ пресс-формы в зависимости от толщины стенки отливки l_0 для разных сплавов приведена на рис. 3.9. Отметим, что по этим данным продолжительность заполнения, найденная для определенных, наиболее характерных для данных сплавов температур заливки расплава и пресс-формы, зависит только от толщины тела отливки и не зависит от ее конфигурации, размеров и массы. Очевидно, что в условиях интенсивного теплообмена между расплавом и пресс-формой время течения первых порций расплава в ее рабочей полости ограничено длительностью, после которой вероятно образование неслитин и неспаев. В конце подразд. 3.5 приведена методика А. К. Белопухова расчета оптимальной продолжительности заполнения пресс-формы, учитывающая не только толщину отливки, но и ее геометрию, и давление прессования (см. с. 240).

Скорость впуска $u_{\text{вп}}$ расплава в пресс-форму, определяя характер его движения (сплошной спокойный или с высокой тур-

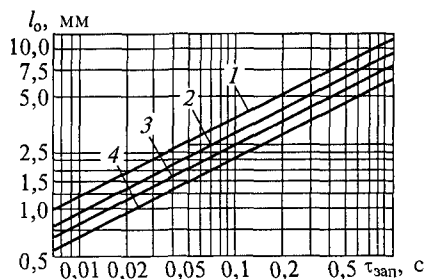


Рис. 3.9. Зависимость времени заполнения $\tau_{\text{зап}}$ от средней толщины l_0 отливки из металла:

1 — чистый магний; 2 — магниевый сплав; 3 — алюминиевый сплав; 4 — цинковый сплав

булентностью, дисперсный), оказывает влияние не только на качество отливки, но и на долговечность пресс-формы. Так, слишком высокая скорость впуска расплава повышает вероятность смыва смазочного материала с рабочих поверхностей пресс-формы, эрозийного воздействия на ее стенки и, как следствие этого, приваривания отливки к пресс-форме. При извлечении отливки это может приводить к поломке пресс-формы, короблению, образованию трещин на отливке или ее разрушению. Работа при низких скоростях впуска, как правило, не обеспечивает высокого качества поверхности отливок.

Для всех типов сплавов, используемых при литье под давлением, оптимальная скорость впуска чаще всего составляет 10...50 м/с (меньшие значения — скорости, используемые при изготовлении отливок из сталей и медных сплавов, а большие — из цинковых и свинцово-оловянистых сплавов).

Температура пресс-формы перед заливкой назначается с учетом состава заливаемого сплава, конфигурации отливки, толщины ее стенки, а также других факторов. При литье цинковых сплавов температура пресс-формы 120...160 °С, для алюминиевых 180...250 °С, для магниевых 200...240 °С, для латуни 280...320 °С и для стали 200...280 °С. Для уменьшенной толщины стенки отливки и усложненной ее конфигурации температуру пресс-формы назначают ближе к верхнему пределу указанных интервалов, а для более массивных отливок — ближе к нижнему. Соблюдение этого принципа позволяет при изготовлении тонкостенных отливок улучшить заполнение формы расплавом, а для более массивных — повысить скорость затвердевания и уменьшить количество усадочных дефектов. Для регулирования температурного режима работы пресс-формы, управления процессом затвердевания и охлаждения отливки в конструкциях пресс-форм служат системы охлаждения или тепловой изоляции отдельных элементов пресс-формы (см. подразд. 3.3).

Температура заливки расплава зависит от химического состава сплава, конфигурации отливки, ее размеров и выбранного режима заполнения пресс-формы. При заполнении пресс-форм значительно перегретым расплавом последний может проникнуть в вентиляционные каналы пресс-формы, закупорить их, что приведет к увеличению в отливках газовой пористости, а в некоторых случаях к браку по незаполнению формы. Высокая температура расплава способствует увеличению объема усадочных пор в отливке: длительность затвердевания и охлаждения отливки возрастает. При этом снижается темп работы машин, возрастает тепловая нагрузка на пресс-форму, вследствие чего снижается ее стойкость, увеличивается опасность «приваривания» отливки к пресс-форме, создается опасность поломки отливки или пресс-формы при выталкивании отливки.

Этим объясняется стремление литейщиков заливать расплав при возможно более низкой температуре: для цветных сплавов температура заливки расплава в камеру прессования обычно на $10 \dots 30^\circ\text{C}$ выше температуры ликвидуса. С увеличением размеров отливки и уменьшением толщины ее стенки температуру заливки принимают ближе к верхнему пределу, а для массивных отливок простой конфигурации — ближе к нижнему. Для массивных отливок, а также отливок с повышенными требованиями по плотности температуру расплава часто принимают в интервале ликвидус — солидус, т. е. проводят заливку расплава в твердожидком состоянии. Это позволяет обеспечить последовательное вытеснение воздуха и газов из пресс-формы и уменьшить объем усадочных пор в отливке. Одновременно уменьшается тепловая нагрузка на пресс-форму, повышается ее стойкость, уменьшается продолжительность охлаждения отливки, опасность ее «приваривания» к пресс-форме, возрастает надежность работы машины.

При литье сплавов в твердожидком состоянии уменьшается пористость отливок, вследствие чего возрастает их герметичность, несколько повышаются механические свойства. Температуру заливки в этом случае назначают в соответствии с необходимым содержанием твердой фазы в расплаве и определяют по диаграмме состояние сплава. Содержание твердой фазы обуславливает реологические свойства сплава, эффективную вязкость, модуль упругости, предельные напряжения сдвига, т. е. характеристики его свойств, от которых зависит способность сплава заполнять полость пресс-формы. Для алюминиевых сплавов типа АЛ9 содержание твердой фазы, при котором обеспечиваются хорошая заполняемость форм и удовлетворительные свойства отливок, по диаграмме состояния соответствует предел $40 \dots 60\%$. Заполнение форм твердожидкими сплавами практикуют только на машинах с холодными камерами прессования, так как на машинах с горячими камерами такие режимы осуществить сложно из-за затвердевания расплава в мундштуке и невозможности его самопроизвольного перетекания из тигля в камеру прессования.

Давление прессования зависит от толщины стенки отливки, ее размеров и конфигурации, химического состава сплава. Рекомендуемые давления прессования, установленные практикой в зависимости от указанных факторов, приведены в подразд. 3.5. С целью уменьшения усадочной пористости важно провести подпрессовку в конце периода заполнения пресс-формы, для чего используют механизмы прессования с мультипликацией для увеличения давления на расплав в камере прессования машины. Применяют несколько вариантов таких конструкций, из которых два представлены на рис. 3.10. В одном из них (рис. 3.10, а) для увеличения давления прессования использован дополнительный гидроцилиндр — мультипликатор 5. Шток 4 в момент окончания за-

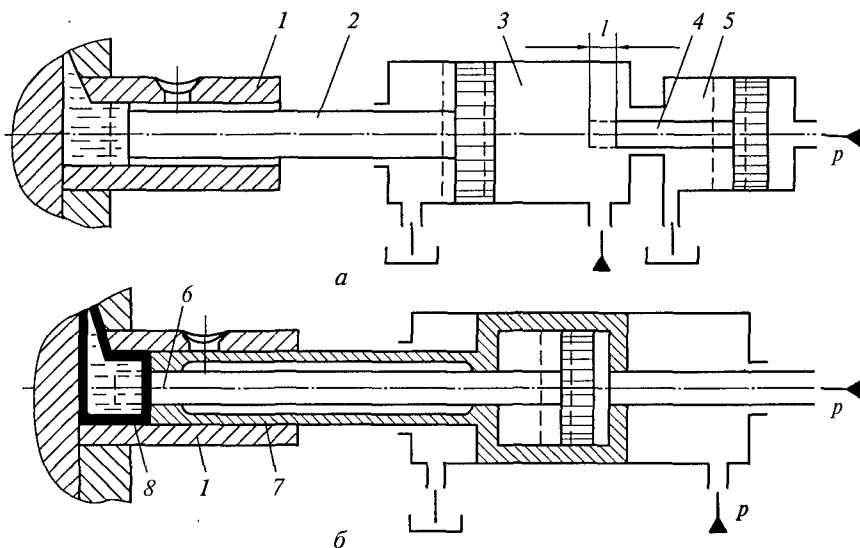


Рис. 3.10. Схемы механизмов прессования машин литья под давлением: *а* — с мультипликатором; *б* — с двойным плунжером; 1 — камера прессования; 2 — шток основного гидроцилиндра с пресс-поршнем; 3 — основной гидроцилиндр; 4 — шток мультипликатора; 5 — мультипликатор; 6 — дополнительный плунжер; 7 — основной плунжер; 8 — затвердевший металл; *l* — ход мультипликатора; *p* — давление

полнения пресс-формы выдвигается в поршневую полость основного гидроцилиндра 3 механизма прессования на некоторую величину *l*, при этом увеличиваются давление *p* рабочей жидкости на поршень основного цилиндра и усилие, передаваемое штоком 2 на пресс-поршень и на расплав в камере прессования 1. В результате осуществляется подпрессовка.

В другом варианте применяют двойной прессующий поршень (двойной плунжер) (рис. 3.10, б). До момента образования корочки затвердевшего металла 8 на стенках камеры прессования 1 оба плунжера 6 и 7 перемещаются вместе, а затем после остановки основного плунжера 7 движение дополнительного плунжера 6 продолжается и давление на расплав при этом увеличивается.

Подпрессовка способствует уменьшению пор в отливке, повышению ее плотности и герметичности. Однако ее действие эффективно только в том случае, если время нарастания давления (мультипликация) меньше времени затвердевания расплава в питателе. Поэтому современные конструкции машин для литья под давлением имеют механизмы подпрессовки с высоким быстродействием: время нарастания давления в таких механизмах составляет тысячные доли секунды без возникновения значительного гидродара.

Рабочие поверхности пресс-форм необходимо смазывать. По назначению смазочные материалы, которые используются при литье под давлением, делятся на две основные группы: одни для смазывания рабочих поверхностей пресс-формы, другие для смазывания пресс-поршня и камеры прессования. Наряду с этими материалами используют и вспомогательные.

Смазочные материалы для пресс-форм защищают их рабочие поверхности от химического, механического, теплового воздействия струи расплава, предотвращают приваривание отливки к пресс-форме, а также снижают усилие извлечения стержней и отливок из пресс-формы, т. е. предотвращают поломку оснастки и деформацию отливок при их извлечении из пресс-форм.

Смазочные материалы для пресс-форм должны обладать высокими смазывающими и противозадирными свойствами при температурах взаимодействия отливки и пресс-формы, иметь минимальную газотворность при разложении под действием высоких температур, не оказывать вредного влияния на свойства отливок (герметичность, газосодержание, коррозионную стойкость), не повреждать поверхность пресс-формы и отливки, быть нетоксичными, не содержать дефицитных материалов. Кроме этого, смазочный материал должен сохранять свои свойства при хранении, быть пожаро- и взрывобезопасным, обладать такими свойствами, чтобы его можно было наносить на поверхность пресс-формы автоматическими устройствами.

Процессы, происходящие в системе отливка — смазочный материал — рабочая поверхность пресс-формы, весьма сложные, механизм действия смазочных материалов при литье под давлением изучен еще недостаточно. Поэтому их выбор представляет сложную задачу. Чаще всего в производстве для автоматизированного выполнения операции смазывания используют смазочные материалы на основе минеральных масел в виде эмульсии масла в воде с добавками твердых наполнителей со сложной молекулярной структурой и различных химически активных присадок.

Для отливок из алюминиевых сплавов используют водоземulsionные смазочные материалы «Графитол-Э» и «Прессол-Э». Эти материалы обладают удовлетворительным смазывающим действием, способствуют повышению производительности процесса, особенно при высокой теплонагруженности пресс-форм. Однако следует учитывать, что интенсивное охлаждение рабочих поверхностей этими материалами оказывает отрицательное действие на стойкость пресс-форм.

Более высоким смазывающим действием обладают смазочные материалы типа «ЛД» на масляной основе (например, масло МС-20) с химически активными добавками (трихлорэтилен и др.), а также с керосиновой фракцией, выполняющей роль разбавителя. Однако по сравнению с отмеченными ранее водоземulsionными та-

кие смазочные материалы больше загрязняют атмосферу цеха, их конденсат в системе вентиляции цеха повышает пожароопасность процесса. По этим и другим причинам применение материалов типа «ЛД» при обычном автоматизированном способе смазывания пресс-форм сокращается.

Смазочные материалы «Прессол», «Графитол» и подобные им по составу обладают невысоким противозадирным действием. Для предотвращения образования задиров на сложных по съему участках отливок из алюминиевых сплавов используют противозадирные смазочные материалы типа «Алюминол МГ» на масляной основе с добавками твердого наполнителя, например графита, алюминиевого порошка, а также различных присадок. На такие участки пресс-форм противозадирный материал чаще всего наносится вручную.

При литье магниевых сплавов используют смазочные материалы на масляной основе, например, состоящие из трансформаторного масла, керосина (разбавитель), графита, а также водорастворимых солевых смазочных материалов.

Для отливок из медных сплавов применяют материалы «Графитол» и «Прессол».

При изготовлении стальных отливок используют смазочные материалы на основе дисульфида молибдена, не содержащие растворителей или разбавителей.

На машинах с холодной камерой прессования обязательным является смазывание пресс-поршня и рабочей поверхности камеры прессования. Для этого используют консистентные смазочные материалы на масляной основе, содержащие загустители, графит и другие материалы, повышающие смазывающие свойства.

В последнее время для улучшения санитарно-гигиенических условий труда в цехах литья под давлением и повышения качества отливок стали применять порошкообразные смазочные материалы на основе подобных воску материалов, не содержащие растворителей. Для исключения вероятности выбросов вредных веществ в атмосферу цеха используются устройства для смазывания рабочих поверхностей пресс-формы при закрытом ее положении, перед или во время запрессовки в нее расплава. Пока такие устройства разработаны лишь для машин с горизонтальной холодной камерой прессования и используются при изготовлении отливок из алюминиевых сплавов. В качестве смазочного материала при его подаче в замкнутое пространство пресс-формы и камеры прессования успешно применяются материалы типа «ЛД».

Вспомогательные смазочные материалы упрощают обслуживание пресс-форм и продлевают срок их эксплуатации. К ним относятся, например, антипригарные смазочные материалы для крепежных деталей пресс-форм и материалы для направляющих колонок.

3.3. Пресс-формы

Конструкции. Пресс-формы — это сложный и точный инструмент. Пресс-форма может иметь одну или несколько рабочих полостей для получения отливки; вставки и стержни для выполнения отверстий в отливке; систему каналов для подвода расплава в рабочую полость (литниковую систему) и отвода воздуха и газов из полости формы (вентиляционную систему); устройство для выталкивания отливки из пресс-формы. В зависимости от теплонагруженности пресс-формы при работе может потребоваться либо охлаждение, либо подогрев деталей пресс-формы. С этой целью в пресс-формах делают специальные каналы, а литейные комплексы оснащают системами термостатирования пресс-форм. Чаще литейщикам приходится решать задачу по охлаждению пресс-формы, с этой целью в системах термостатирования используют деминерализованную воду. (Использование обычной технической воды в этих условиях недопустимо, так как приведет к образованию накипи на стенках каналов системы охлаждения пресс-формы.)

Пресс-форма состоит обычно из двух частей: неподвижной и подвижной. Неподвижную половину пресс-формы крепят к неподвижной плите машины. С камерой прессования она соединяется посредством литниковой втулки. Положение отливки выбирается таким, чтобы большинство стержней и вставок, образующих ее внутренние и наружные поверхности, при раскрытии пресс-формы оказались бы с отливкой в подвижной части пресс-формы. Для удаления отливки из подвижной части пресс-формы в последней предусмотрена система выталкивателей.

На рис. 3.11 представлена двухгнездная пресс-форма для машины с горизонтальной холодной камерой прессования. Неподвижную часть пресс-формы с помощью плиты 12 крепят к неподвижной плите машины и соединяют с камерой прессования 26. Подвижную часть с помощью плиты 3 крепят к подвижной плите 24 машины. Расплав, залитый в камеру прессования 26 и литниковую втулку 27, под действием пресс-поршня по литниковым каналам 1 поступает в две рабочие полости 30, образуя отливки. Внешние поверхности отливок выполняются вкладышами 4 и 15, которые смонтированы в обоймах 11 и 20. Вкладыш 4 прижимается подкладной плитой 21 к обойме 20. Вкладыш 15 закреплен в обойме 11 винтами 13.

При раскрытии пресс-формы отливка остается в ее подвижной части. В начальный момент раскрытия пресс-формы стержни 18, закрепленные штифтами 29 в ползунах 19, удерживают отливку в подвижной части пресс-формы, вследствие чего происходит ее съем с неподвижного стержня 14. При дальнейшем раскрытии пресс-формы ползуны 19 вместе со стержнями 18 перемещаются по наклонным клин-пальцам 16, благодаря чему стержни 18 из-

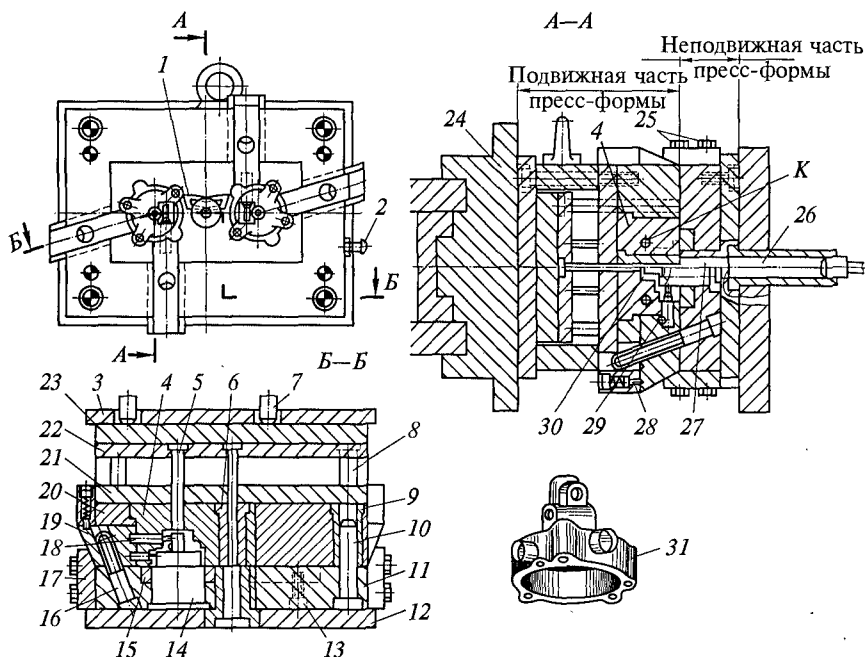


Рис. 3.11. Пресс-форма для литья под давлением:

1 — литниковый канал; 2 — штуцер; 3 — подвижная плита крепления; 4, 15 — вкладыши; 5 — толкатель; 6 — рассекатель; 7 — штифт механизма выталкивания; 8 — контролкатели; 9 — направляющая втулка; 10 — направляющая колонка; 11, 20 — обоймы; 12 — неподвижная плита крепления; 13 — винт; 14 — неподвижный стержень; 16 — клин-палец; 17 — замок; 18 — стержень; 19 — ползун; 21 — подкладная плита; 22, 23 — плиты толкателей; 24 — подвижная плита машины; 25 — болты; 26 — камера прессования; 27 — литниковая втулка; 28 — пружинный фиксатор; 29 — штифт; 30 — рабочая полость формы; 31 — отливка; К — каналы системы термостатирования

влекаются из отливки. После остановки подвижной плиты 24 машины срабатывает механизм выталкивания отливки, штифты 7 этого механизма воздействуют на плиты 22 и 23 выталкивателей, в результате выталкиватели 5 удаляют отливки с литниками из рабочих полостей. При закрытии пресс-формы контролкатели (обратные толкатели) 8 упираются в неподвижную обойму 11 и возвращают плиты с толкателями в исходное положение. Неподвижная и подвижная части пресс-формы центруются направляющими втулками 9 и колонками 10. Для предотвращения отхода ползунов 19 и стержней 18 под давлением расплава в обойме 11 болтами 25 крепятся замки 17. Чтобы при закрытии пресс-формы клин-пальцы 16 точно попадали в отверстие ползунов 19, в подвижной обойме имеются фиксаторы 28, фиксирующие положение ползунов 19 при раскрытом положении пресс-формы. Пресс-

форма во время работы может охлаждаться деминерализованной водой, протекающей по каналам K во вкладыше 4. Вода подается по шлангам, подсоединяемым к штуцерам 2. Конструкция пресс-формы зависит от конфигурации отливки, свойств заливаемого сплава, типа машины и характера производства.

Пресс-формы для массового производства отливок конструируют с полной автоматизацией всех операций по извлечению стержней и подвижных вкладышей, выталкиванию отливок, возврату стержней и толкателей в исходное положение. Извлечение подвижных стержней и выталкивание отливок часто осуществляется при раскрывании пресс-формы. Система выталкивания приводится в действие после полного извлечения подвижных стержней. Если машина для литья под давлением имеет гидровыталкиватель, то последний срабатывает после остановки, т. е. после возврата подвижной плиты машины в исходное положение. Для изготовления сложных корпусных отливок используют дополнительные механизмы — гидropостаменты и гидравлические стержнеизвлекатели. В некоторых случаях в конструкциях пресс-форм используют устройства, позволяющие выполнять операцию обрезки литников и облоя от отливок.

Обычно пресс-формы для массового производства имеют систему охлаждения и часто систему терморегулирования, что позволяет повысить темп работы машины, производительность процесса, а также обеспечить стабильное качество отливок. Для изготовления мелких отливок используют многогнездные пресс-формы, что позволяет повысить технологический выход годного и производительность. Однако многогнездные формы дороже, они более трудоемки в изготовлении. Для сложных крупных отливок применяют одногнездные пресс-формы. В условиях массового производства часто используют пресс-формы специальных конструкций: крупные пресс-формы для уникальных сложных отливок, например для блоков цилиндров двигателей внутреннего сгорания; пресс-формы для литья под давлением с вакуумированием рабочей полости для изготовления армированных отливок, отливок с повышенными требованиями по прочности и герметичности. Они могут снабжаться дополнительными устройствами, например для фиксации арматуры в рабочей полости, или кассетами для установки арматуры в пресс-форму и т. д.

Пресс-формы для изготовления отливок в мелкосерийном производстве характеризуются упрощенной конструкцией. Широко используются конструкции пресс-форм на базе универсальных блок-форм со сменными вкладышами, что позволяет снизить их стоимость.

Пресс-формы снабжены механизмами извлечения подвижных стержней из отливок, фиксации подвижных стержней в открытом и закрытом положениях пресс-формы, выталкивания отливок, а

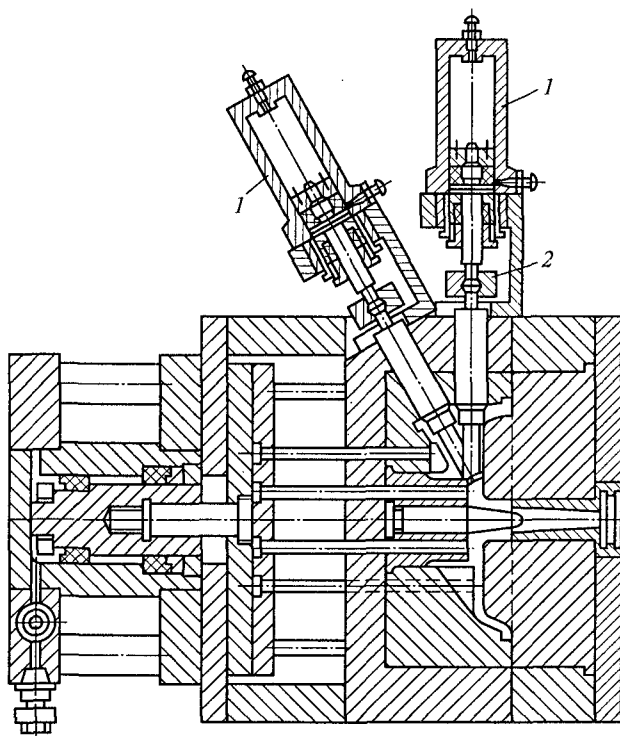


Рис. 3.12. Гидравлический стержнеизвлекатель:
1 — гидроцилиндры; 2 — муфта

в некоторых случаях специальными механизмами для обрезки литников и облоя, для установки армирующих вставок, регулирования площади литниковой системы и др. Во многих случаях механизмы пресс-формы имеют отдельный привод, как правило, гидравлический, питаемый от гидросистемы машины и приводимый в действие с общего пульта управления литейной машины или комплекса.

Так, для извлечения стержней наиболее широко применяют клиновые механизмы. Использование клиновых механизмов позволяет совместить операции раскрытия пресс-формы и удаления стержней. Угол наклона клин-пальца 16 (см. рис. 3.11) к продольной оси машины должен быть не более 25° . Длина рабочей части клин-пальца L зависит от максимального хода S ползуна: $L = S/\sin \alpha$.

Кроме клиновых, применяют реечные и реечно-клиновые механизмы. Эти механизмы используют для извлечения стержней, ход которых превышает 50 мм.

Гидравлические приводы стержней обычно используют для извлечения длинных (более 50 мм) стержней и в конструкциях

пресс-форм для формирования сложных корпусных отливок. Основным узлом гидравлического стержнеизвлекателя (рис. 3.12) является гидроцилиндр 1 двойного действия, в который от специальной гидропанели литейной машины подается рабочая жидкость. Такие стержнеизвлекатели устанавливают как на подвижной, так и на неподвижных частях пресс-формы. Для исключения отхода стержня, соединенного со штоком цилиндра муфтой 2, под давлением заполняющего пресс-форму расплава, в конструкциях таких пресс-форм предусмотрены запирающие клинья.

Механизмы фиксации стержней предназначены для надежной фиксации подвижных стержней во время заполнения пресс-формы расплавом, а также при раскрытии пресс-формы во избежание поломки стержней. Конструкции этих механизмов разнообразны. Для фиксации ползуна со стержнем при заполнении пресс-формы расплавом в ней имеется замок 1 (рис. 3.13, а), угол наклона рабочей поверхности которого на 1° больше угла наклона клин-пальца. Такие замки используют при малых усилиях, действующих на стержень. Врезные замки 1 (рис. 3.13, б) применяют для фиксации ползунов при больших усилиях, действующих со стороны расплава. Для фиксации ползунов и стержней в крайних положениях, чаще после раскрытия пресс-формы, используют пружинные фиксаторы 2 (рис. 3.13, в), ограничители хода и другие устройства.

Механизмы выталкивания обычно срабатывают автоматически. После затвердевания и охлаждения отливки пресс-форма раскрывается, а затем толкатели машины или гидровыталкиватель перемещает плиту с толкателями, которые упираются в отливку и выталкивают ее из пресс-формы.

Основные детали пресс-форм в зависимости от назначения разделяют на три группы: формообразующие, конструктивные и

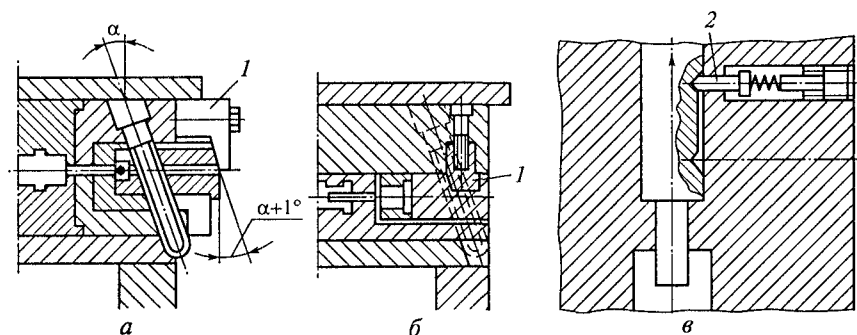


Рис. 3.13. Механизмы для фиксации стержней в пресс-форме:

а — накладной замок; б — врезной замок; в — пружинный фиксатор; 1 — замок; 2 — фиксатор; α — угол наклона клин-пальца

входящие в механизмы пресс-форм. Кроме того, в пресс-формах используют крепежные стандартные детали.

Формообразующие детали непосредственно соприкасаются с расплавом и оформляют отливку. К ним относятся рабочие вкладыши, вставки, неподвижные и подвижные стержни, выталкиватели, литниковые втулки, рассекатели и т. п. Наиболее ответственными из этих деталей являются рабочие вкладыши и вставки. Обычно они имеют форму цилиндров или параллелепипедов. Размеры вкладышей должны быть такими, чтобы расстояние от рабочей полости до края вкладыша было не менее 15... 20 мм. В условиях мелкосерийного производства, когда требования к стойкости пресс-форм невысоки, можно ограничиться размером 10 мм. Учитывая достаточность длины посадочного места вставок и стержней для их устойчивого положения, высоту вкладышей принимают больше глубины рабочей полости не менее чем на 15 мм.

Если рабочие полости расположены во вкладыше, то при выборе его размеров необходимо учитывать важность равномерности толщины стенок и сечений вкладыша. Местные утолщения затрудняют термическую обработку вкладыша, приводят к короблению, трещинам при закалке и внутренним напряжениям, снижающим стойкость вкладыша. Размеры рабочих полостей вкладышей выполняют на один квалитет точнее, чем размеры отливки. Поверхности рабочих полостей вкладышей и вставок выполняют с шероховатостью $Ra = 2,5 \dots 1,25$ мкм, а остальные с шероховатостью $Rz = 40 \dots 20$ мкм.

Стержни могут быть неподвижные, подвижные, съемные (например, резьбовые) и разовые. Неподвижные стержни (см. рис. 3.11, поз. 14) устанавливают перпендикулярно к плоскости разъема и закрепляют во вкладышах подвижной или неподвижной частей пресс-формы. Подвижные стержни оформляют отверстия и полости в отливке, расположенные под углом к плоскости разъема пресс-формы или параллельно ей (см. рис. 3.12). Эти стержни извлекаются из отливки специальными механизмами до раскрытия или в момент раскрытия пресс-формы. Конструкции таких механизмов рассмотрены выше.

Для уменьшения усилия извлечения из отливки рабочие поверхности стержней имеют конусность. Конусность стержня назначают в зависимости от состава сплава, длины и диаметра стержней. Чем больше длина и меньше диаметр, тем больше делают конусность. Обычно конусность стержней составляет от $30'$ до $1^\circ 30'$.

Подвижные стержни должны иметь направляющую часть достаточных размеров, исключаящую возможность перекосов при извлечении. Размеры направляющей части стержней для литья алюминевых, магниевых и цинковых сплавов выполняют по посадке с зазором $H8/d8$, для литья латуни — по $H9/d9$. Шероховатость поверхности посадочных частей стержня должна быть $Ra = 1,25 \dots$

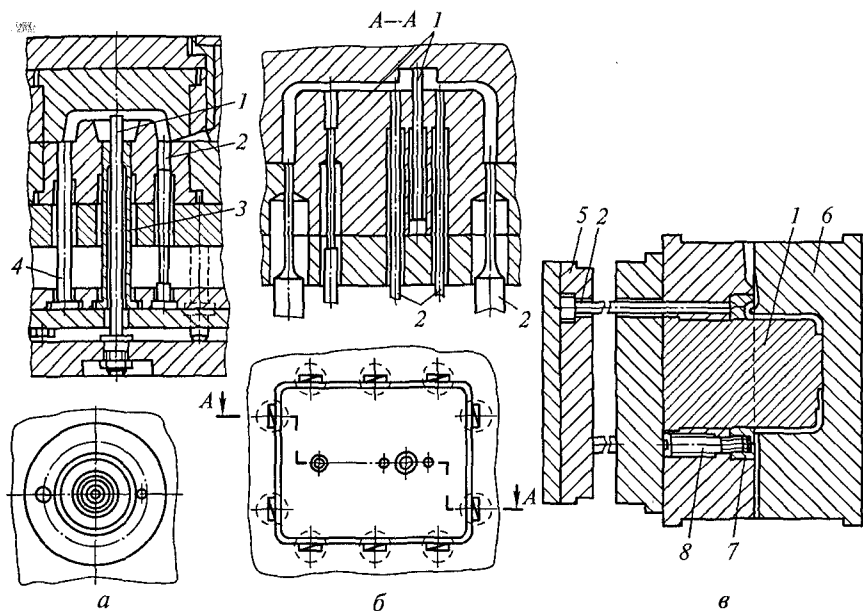


Рис. 3.14. Конструкции толкателей:

a — штифтовой; *б* — призматический; *в* — рамочный; 1 — стержень; 2—4 — толкатели; 5 — плита крепления; 6 — неподвижный вкладыш; 7 — съемник; 8 — направляющая

0,63 мкм, а оформляющей части — от $Ra = 0,63 \dots 0,32$ до $Ra = 0,16 \dots 0,08$ мкм.

Толкатели штифтовые (рис. 3.14, *a*) следует располагать равномерно по контуру отливки, а также в местах ее торможения в форме при извлечении: например призматические выталкиватели — около стержней 1 (рис. 3.14, *б*), чтобы при выталкивании в отливке не возникли напряжения изгиба, среза, растяжения. Толкатели 2 в сечении могут иметь круглую, прямоугольную, квадратную и другие формы в зависимости от конструкции отливки. Площадь поперечного сечения толкателей должна быть такой, чтобы они не продавливали отливку и не ломались сами. В закрытом положении пресс-формы торцы толкателей должны располагаться на 0,3...0,5 мм выше или ниже оформляющей поверхности пресс-формы. На практике применяют толкатели, выходящие за пределы оформляющей полости, как, например, толкатель 4 на рис. 3.14, *a*.

Трубчатые и сегментные толкатели применяют при изготовлении отливок типа втулок, колец, а также в тех случаях, когда штифтовые толкатели установить трудно, как, например, толкатель 3 на рис. 3.14, *a*.

Выталкивание плитой или рамкой обеспечивает равномерное удаление отливки из пресс-формы (рис. 3.14, в). При открывании пресс-формы толкатели 2, закрепленные в плите 5, действуют на съемник 7, который перемещается по четырем направляющим 8, и удаляют отливку со стержня 1. При закрывании пресс-формы съемник упирается в плоскость неподвижного вкладыша 6 и возвращается в исходное положение.

В плите толкатель крепится с помощью буртика, высота которого выполняется по переходной посадке $H8/h8$ и $H9/h8$. Это ограничивает осевое смещение толкателей.

Литниковые втулки предназначены для сопряжения пресс-формы с камерой прессования машины.

Рассекатели предназначены для направления потока расплава, поступающего из литниковой втулки в каналы литниковой системы и рабочую полость пресс-формы.

Рассекатели и литниковые втулки подвержены интенсивному воздействию расплава, часто выходят из строя и поэтому их выполняют сменными.

Конструктивные детали пресс-форм предназначены для соединения отдельных частей пресс-формы, обеспечения их точного взаимоположения, крепления пресс-формы к плитам машины. К ним относят обоймы, плиты (подкладные, прижимные, толкателей), постаменты, ползуны, бруски, упоры, контр-толкатели (обратные толкатели), направляющие втулки и колонки, крепежные детали.

Материалы пресс-форм. Все формообразующие детали пресс-форм при работе подвергаются сложному силовому, тепловому и химическому воздействию расплава, смазочных и охлаждающих материалов. Материалы формообразующих деталей не должны химически взаимодействовать с расплавом, должны обладать высоким сопротивлением термоциклическим нагрузкам, высокой твердостью, вязкостью и прочностью при нагреве, малым коэффициентом термического расширения, хорошо обрабатываться, мало деформироваться при термической обработке. Такими свойствами обладают специальные стали, например 3Х2В8Ф, 4Х5МФС и др., легированные вольфрамом, хромом, никелем, молибденом, ванадием. Такие стали используют для изготовления формообразующих деталей пресс-форм при литье алюминиевых, магниевых, медных, цинковых сплавов. Те же детали при литье стали и титана изготавливают из молибдена и его сплавов, а также из специальных неметаллических материалов.

Необходимые служебные свойства формообразующие детали пресс-форм приобретают в процессе термической и химико-термической обработки — низкотемпературного цианирования на глубину 0,05...0,2 мм. После закалки и отпуска твердость их поверхности должна составлять HRC 58...62.

Конструктивные детали пресс-форм (плиты, обоймы и т.д.), изготавливаемые из конструкционных сталей 35, 40, 40X, 45, подвергают улучшающей термической обработке. Твердость их поверхности должна составлять HRC 30...34.

Детали, работающие в условиях износа (толкатели, замки ползунов, направляющие втулки и колонки и т.д.), изготавливают из стали У8А и У10А с твердостью HRC 48...52 [14].

Системы регулирования температуры пресс-форм. Качество отливок, срок службы пресс-формы, производительность процесса во многом зависят от температуры пресс-формы, которая в течение рабочего цикла изготовления отливки не постоянна во времени ни по толщине, ни по поверхностям ее деталей. Колебания температуры пресс-формы отличаются от запрессовки к запрессовке¹, так как она может как повышаться, так и понижаться.

Изменение температуры пресс-формы за рабочий цикл изготовления отливки происходит следующим образом (рис. 3.15, а):

1) при заполнении расплавом пресс-формы температура вблизи ее рабочей поверхности (кривые 1, 2), контактирующей с расплавом, близка к температуре заливаемого расплава $T_{\text{зал}}$ (рис. 3.15, б);

2) за период охлаждения отливки в закрытой пресс-форме температура на рабочей поверхности достигает значений, практически равных температуре удаления отливки $T_{\text{уд}}$ (см. рис. 3.15, б), а на тыльной стороне — $T_{\text{т.п}}$;

3) после удаления отливки раскрытая пресс-форма охлаждается быстрее, особенно при обдувке ее воздухом для удаления частиц облоя и нанесения смазочного материала; в конце этого периода температура пресс-формы должна соответствовать определенному значению, необходимому для получения качественной отливки.

Наиболее резкие изменения температуры происходят в слоях пресс-формы, близких к ее рабочей поверхности (см. рис. 3.15, б), и существенно меньше они в средней (кривая 3) и тыльной (кривая 4, см. рис. 3.15, а) частях. Для получения качественной отливки важное значение имеет температура рабочей поверхности перед запрессовкой $T_{\text{п.з}}$. Температуру рабочей поверхности пресс-формы измеряют переносными контактными термомпарами или оценивают по показаниям термопар, установленных в пресс-форму (см. рис. 3.15, б) и позволяющих контролировать среднюю за цикл температуру пресс-формы $T_{\text{ф}}$.

При увеличении темпа работы машины температура поверхности пресс-формы повышается от запрессовки к запрессовке, это может привести к схватыванию поверхностей пресс-формы и отливки в отдельных, наиболее разогретых местах. Результатом такого схватывания являются так называемые задиры (дефекты в

¹ Запрессовка — рабочий период процесса в методе литья под давлением.

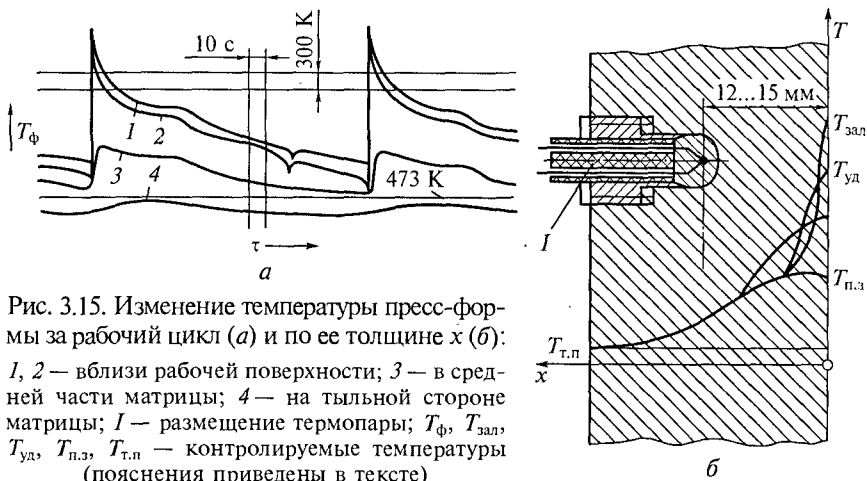


Рис. 3.15. Изменение температуры пресс-формы за рабочий цикл (а) и по ее толщине x (б): 1, 2 — вблизи рабочей поверхности; 3 — в средней части матрицы; 4 — на тыльной стороне матрицы; I — размещение термопары; T_ϕ , $T_{эл}$, $T_{уд}$, $T_{п.з}$, $T_{т.п.}$ — контролируемые температуры (пояснения приведены в тексте)

виде царапин и выровов на поверхности отливок) и даже поломки отливки или деталей пресс-формы при выталкивании отливки. Обычно это бывает при изготовлении достаточно массивных (3... 5 мм и более) отливок с неравномерной толщиной стенки при высоком темпе работы, отсутствии системы охлаждения в пресс-форме и плохом смазывании.

Если температура поверхности пресс-формы ниже требуемой, то повышается опасность образования неспаев, «мороза» на поверхности отливки и других дефектов. Такие условия чаще возникают при изготовлении тонкостенных, мелких отливок, когда температура рабочей поверхности перед очередной запрессовкой оказывается ниже оптимальной.

Для получения качественных отливок и требуемой производительности процесса пресс-формы оборудуют системами терморегулирования. Эти системы включают датчики для измерения температуры пресс-формы в заданных местах (термопары), систему термостатирования отдельных частей или пресс-формы в целом и систему регулирования подачи теплоносителя в пресс-форму.

Наиболее распространены термопары, встроенные в пресс-форму (см. рис. 3.15, б). Охлаждают пресс-формы чаще всего деминерализованной водой, циркулирующей по каналам во вкладышах, вставках, а в некоторых случаях в массивных стержнях. Деминерализацию воды осуществляют с целью исключить образование накипи на стенках каналов, так как накипь, обладающая низкой теплопроводностью, снижает эффективность их работы. Для определения рационального расположения каналов используют специальные методы моделирования, раньше для этой цели чаще всего применяли метод электрической аналогии. При охлаждении пресс-формы возможно реализовать последовательное затвердевание отливки.

Нормализация пресс-форм. Имеется в виду максимально возможное применение минимального числа конструкций форм, для которых используются заранее подготовленные и скомплектованные детали, узлы и механизмы. Нормализация сокращает цикл подготовки производства и снижает стоимость пресс-формы. Это достигается применением нормализованных деталей (стержней, выталкивателей, раскателей, литниковых втулок), конструктивных деталей (плит, направляющих колонок, втулок, брусков), а также нормализованных конструкций механизмов (гидроприводов стержней, гидровыталкивателей и т. д.), из которых собирают готовые блоки.

В зависимости от характера производства, номенклатуры отливок используют различные способы нормализации пресс-форм. В условиях крупносерийного и массового производства применяют универсальные формы-пакеты (УФП), представляющие собой готовый пакет, состоящий из подвижной и неподвижной частей пресс-формы, в которых максимально использованы стандартные узлы и детали. В зависимости от номенклатуры отливок предприятия изготавливают УФП по некоторому нормальному ряду размеров. Перед проектированием пресс-формы выбирают необходимый для получения данной отливки типоразмер УФП, а затем вычерчивают оформляющие вставки или вкладыши, механизмы приводов и указывают, какой номер УФП из нормального ряда необходимо использовать для изготовления пресс-формы.

На основании данного чертежа в инструментальном цехе подбирают готовый УФП, дорабатывая его до требуемой готовой пресс-формы.

Специальные формы-пакеты (СФП) используют в массовом производстве отливок, имеющих определенную, мало изменяющуюся от изделия к изделию конфигурацию (тройники, краны, угольники и т. д.). СФП изготавливают с несколькими комплектами запасных частей, оформляющих рабочую полость. При изготовлении конкретной пресс-формы остается только выполнить во вкладышах рабочую полость и установить подвижные и неподвижные стержни.

В условиях опытного и мелкосерийного производства используют также универсальные блок-формы (УБФ) для пресс-форм. УБФ изготавливают в виде обойм, в которые вставляют заранее изготовленные детали и формообразующие вкладыши. Поскольку в условиях опытного и мелкосерийного производства номенклатура, конфигурация и размеры отливок меняются, систему УБФ совмещают с УФП и СФП. Это позволяет резко сократить стоимость изготовления пресс-форм и длительность подготовки к процессу, а также повысить его эффективность. Применение таких пресс-форм делает экономически выгодным использование литья под давлением при выпуске даже 150—300 отливок в год.

После изготовления пресс-формы контролируют геометрию и размеры ее рабочей полости, проверяют движущиеся части, параллельность полуформ в сомкнутом состоянии, определяют соосность подвижной и неподвижной ее частей. Неплотность смыкания полуформ должна быть не более 0,05 мм на каждые 200 мм длины или ширины пресс-формы. Несоосность подвижной и неподвижной частей должна быть не более 0,05 мм на каждые 250 мм высоты или ширины пресс-формы.

После контроля оформляют паспорт на пресс-форму, с которым ее направляют в литейных цех. Установку новой пресс-формы на машину для литья выполняют в наладочном режиме ее работы. После установки пресс-формы настраивают механизмы запираания машины и выталкивания отливки. Запирающий механизм должен обеспечивать требуемое усилие запираания пресс-формы. Кроме того, для запирающего механизма и механизма выталкивания важно, чтобы их ход был достаточным для открывания пресс-формы (для первого) и удаления отливки (для второго). Это определяется по общему виду пресс-формы. Далее проверяют точность центровки частей пресс-формы и плавность срабатывания механизмов извлечения стержней и выталкивания отливки.

После разогрева и смазывания готовой пресс-формы проводят опытные заливки. Установленную партию отливок проверяют визуально. Наряду с внешним осмотром контролируют геометрию, размеры и определяют наличие внутренних дефектов, для чего отливки разрезают или изучают структуру рентгеноскопическим методом и др.

По результатам такого контроля при необходимости корректируют (изменяют) размеры рабочей полости, вентиляционной и литниковой систем, делают дополнительные промывники. Для этого пресс-форму снимают и отправляют с необходимой документацией в инструментальный цех на доводку.

Ремонт пресс-форм. Используемые в литейном цехе пресс-формы требуют постоянного ухода. Различают текущий, профилактический и капитальный виды ремонта пресс-форм. Текущий ремонт включает замену изношенных деталей, тщательную очистку и смазывание движущихся частей и механизмов. Профилактический ремонт проводят при смене пресс-формы. Он включает ее разборку, очистку от частиц расплава и нагара смазочного материала, замену изношенных деталей, шлифовку рабочих полостей пресс-формы и плоскости разъема с сохранением требуемой геометрии ее рабочей полости и сборку. Профилактические ремонты позволяют в 1,3—1,5 раза увеличить срок службы пресс-формы до капитального ремонта. Капитальный ремонт включает замену центрирующих деталей, формообразующих вкладышей и стержней, выталкивателей и других деталей.

Пресс-формы хранят в закрытом состоянии в сухом помещении в комплекте с запчастями и двумя-тремя отливками последней партии. Пресс-формы должны быть тщательно смазанными.

3.4. Машины для литья и автоматизация литья под давлением

Машины для литья под давлением по устройству узла прессования разделяют на два класса: с горячей и холодной камерой прессования. По принципу действия на расплав машины с горячей камерой прессования делят на поршневые и компрессорные. В поршневых машинах усилие на расплав передается поршнем, а в компрессорных — сжатым воздухом или газом. Поршневые машины могут иметь камеру прессования, расположенную вертикально или горизонтально.

В производстве наибольшее применение нашли поршневые машины с горизонтальной холодной камерой прессования и машины с вертикальной горячей камерой прессования. Компрессорные машины в процессе совершенствования конструкции выделены в самостоятельную группу машин для литья под низким (регулируемым) давлением.

Поршневые машины с вертикальной горячей камерой прессования. Основными узлами поршневых литейных машин с вертикальной горячей камерой прессования являются: узел прессования и узел запирания. При работе машины камера прессования 9 (рис. 3.16) оказывается погружена в тигель 8 с расплавом и сообщается с ним через отверстие 7. Через это отверстие в камеру поступает расплав: при движении пресс-поршня 6 вниз впускное отверстие 7 перекрывается и расплав по обогреваемому каналу 5 через мунштук 4 и литниковую втулку 3 поступает в полость пресс-формы 2. После затвердевания отливки пресс-поршень возвращается в исходное положение и остатки расплава сливаются в камеру прессования. Механизмом запирания подвижная плита 1 машины отводится, пресс-форма раскрывается и из нее удаляется отливка. Затем пресс-форму очищают от остатков облоя, ее рабочую поверхность смазывают. Гидроцилиндр приводит в движение механизм запирания, половины пресс-формы смыкаются и цикл повторяется.

Основное преимущество машин с горячей камерой прессования — отсутствие ручной операции заливки расплава в камеру прессования и устройства для ее автоматического выполнения: при каждом рабочем цикле расплав самотеком заполняет камеру прессования, расположенную в тигле раздаточной печи, а доза расплава определяется объемом рабочей полости камеры прессования. Таким образом, машины с горячей камерой прессования работают, как правило, в автоматическом режиме. Часовая произ-

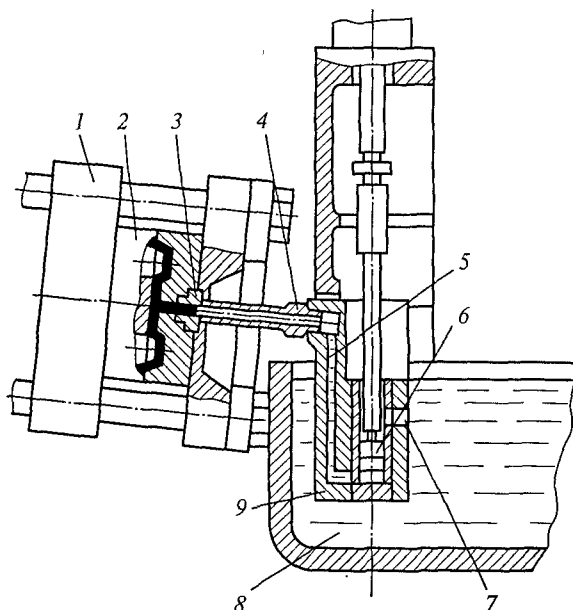


Рис. 3.16. Узел прессования машины с горячей камерой прессования: 1 — подвижная плита машины; 2 — пресс-форма; 3 — литниковая втулка; 4 — мундштук; 5 — обогреваемый канал; 6 — пресс-поршень; 7 — впускное отверстие; 8 — тигель с расплавом; 9 — камера прессования

водительность машины при этом высокая — 600—720 запрессовок для машин с усилием запирания до 0,4 МН, а для малых автоматов — 1000—3600 запрессовок в зависимости от продолжительности затвердевания отливки и ее охлаждения до температуры удаления из пресс-формы, так как длительность остальных операций относительно мала.

Основным недостатком машин с горячей камерой являются тяжелые условия работы камеры прессования и пресс-поршня, а именно высокая температура и агрессивная среда жидких металлов. Поэтому горячекамерные поршневые машины в настоящее время используют в основном для литья легкоплавких свинцово-сурьмяных, оловянных, цинковых сплавов, а также магниевых сплавов, которые в расплавленном состоянии малоагрессивны по отношению к железу.

Проблема изготовления отливок из алюминиевых сплавов решается путем использования для деталей горячей камеры (корпуса гузняка, мундштука, наконечников) огнеупорных материалов: карбидов, нитридов, оксида алюминия, боридов, обладающих высокими прочностью и стойкостью к расплаву при высоких температурах.

Литейные машины с горячей камерой прессования могут иметь пневматический или гидравлический привод, обеспечивающий скорость прессования до 3 м/с и более. Тигель машины нагревается электронагревателями или газовыми горелками. Давление на расплав, развиваемое прессующим механизмом машины, обычно находится в пределах 10...50 МПа и зависит от требований, предъявляемых к отливкам и составу сплавов, из которых они изготовлены. При повышенных требованиях к плотности, прочности и герметичности отливок используют давление прессования при их получении до 100 МПа.

Литейные машины малой мощности имеют усилие запираания 0,1...0,4 МН. Усилие запираания машин средней мощности 0,63...4 МН, а машин большой мощности 4...10 МН. На литейных машинах с усилием запираания 10 МН можно получать отливки массой не менее 28 кг из сплавов с плотностью 6600 кг/м³ при давлении прессования 12 МПа.

Из-за малых тепловых потерь расплавом на пути движения его в полость пресс-формы машины с горячей камерой прессования широко применяют для изготовления миниатюрных точных отливок массой от нескольких граммов с толщиной стенки менее 1 мм, что практически трудно осуществить на машинах с холодной камерой прессования. Для изготовления таких отливок используют малые машины с усилием запираания от 0,1 МН и давление прессования до 20 МПа.

На базе машин с горячей камерой прессования созданы автоматические литейные комплексы. В состав комплекса входят: автоматическая литейная машина, на которой все операции, включая обдувку и смазывание пресс-формы перед очередным рабочим циклом, выполняются автоматически; манипулятор для съема и удаления крупных и средних отливок из пресс-формы; пресс для обрезки литников и облоя; транспортные средства для подачи годных отливок в тару и литников и облоя на переплавку.

Машины с холодной камерой прессования. В поршневых машинах с холодной камерой прессования трущиеся части — пресспоршень и камера прессования — работают в более благоприятных условиях, чем в машинах с горячей камерой.

Литейные машины с холодной камерой прессования развивают большие усилия запираания и прессования. Малые машины с холодной камерой прессования развивают усилие запираания до 1,6 МН, средние — 1,6...4 МН, тяжелые — 6,3...10 МН, а уникальные литейные машины с горизонтальной камерой прессования могут развивать усилие запираания от 12,5 до 63 МН. На уникальных литейных машинах получают отливки массой более 50 кг.

Ряд унифицированных литейных машин отечественного производства используется для изготовления отливок в основном из

алюминиевых, магниевых, медных сплавов, реже из стали и других сплавов.

Машины с холодной камерой прессования бывают с горизонтальным и вертикальным расположением камеры. В производстве чаще используют машины с горизонтальной камерой прессования. Одна из причин этого заключается в удобстве их обслуживания и ремонта.

Машина с горизонтальной холодной камерой прессования (рис. 3.17) состоит из механизма запирания пресс-форм, механизма прессования, гидравлического привода и системы управления. Во многих случаях машины оснащены системой для автоматического смазывания пресс-формы.

Механизм запирания должен обеспечивать надежное соединение половин пресс-формы, чтобы не было ее самопроизвольного раскрытия, исключать возможность прорыва расплава по плоскости разъема во время подпрессовки. Наиболее распространены рычажные механизмы запирания.

Рабочая жидкость поступает в гидроцилиндр 1, посредством которого перемещается система рычагов 2 до соединения половин пресс-формы 3. В конечном положении рычажная система механизма запирания должна обеспечивать требуемое усилие запирания пресс-формы в соответствии с паспортом машины. Это усилие зависит от размеров пресс-формы, поэтому при ее смене необходимо регулировать положение плиты 7, рычажной системы, подвижной плиты крепления и полуформы относительно второй половины формы и неподвижной плиты механизмом настройки 8. Такая регулировка требуется и в процессе работы литейной машины, так как в результате разогрева наряду с толщиной пресс-формы изменяются размеры колонн, плит, рычажной системы и других деталей литейной машины, определяющих усилие запирания. На современных машинах усилие запирания контролируется специальными датчиками и может регулироваться автоматически.

Механизм прессования имеет гидроцилиндр 5, на штоке которого крепят пресс-поршень 4. Механизм прессования должен развивать усилие, требуемое для получения качественной отливки. Усилие должно создаваться в заданные моменты процесса запрессовки расплава, это обусловлено особенностями движения расплава и процесса формирования отливки при литье под давлением. Для обеспечения требуемой скорости пресс-поршня и закона ее изменения во время рабочего хода механизма прессования служит аккумуляторная установка высокого давления, представляющая собой газовый баллон и разделитель сред. Поршневой разделитель, как и разделитель другого типа, должен исключать растворение азота в рабочей жидкости гидросистемы. Аккумуляторная установка соединена с насосом через обратный клапан, кото-

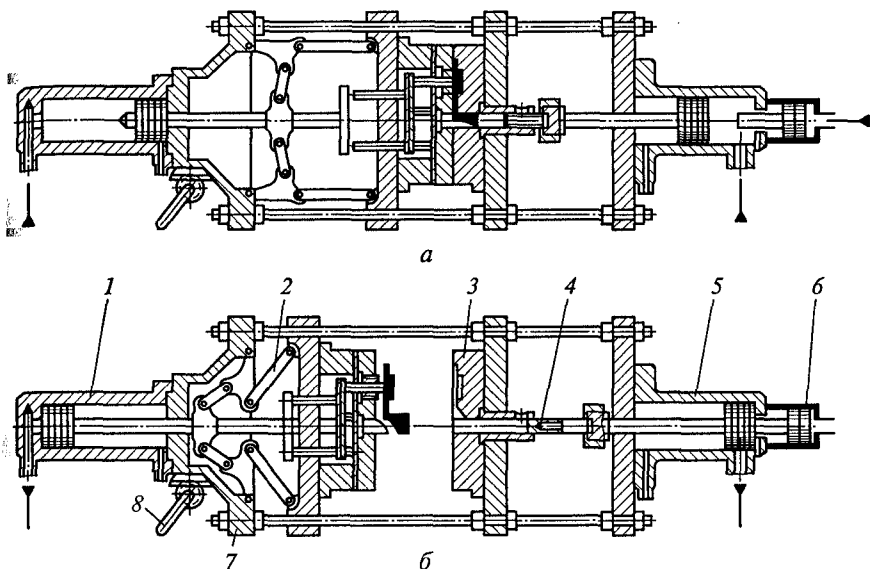


Рис. 3.17. Машина для литья под давлением с горизонтальной холодной камерой прессования:

a — во время запрессовки расплава; *b* — после выталкивания готовой отливки; 1 — гидроцилиндр; 2 — рычажная система механизма запирания; 3 — пресс-форма; 4 — пресс-поршень; 5 — основной гидроцилиндр; 6 — мультипликатор механизма прессования; 7 — плита крепления механизма запирания; 8 — механизм настройки усилия запирания

рый препятствует снижению давления в аккумуляторе при падении давления в гидросистеме литейной машины, например в результате срабатывания механизма запирания.

Перед запрессовкой аккумуляторная установка должна быть полностью заряжена и рабочая жидкость в ней должна находиться под давлением газа (чаще азота), достаточным для обеспечения необходимого усилия прессования. В момент прессования жидкость из аккумуляторной установки поступает в поршневую полость гидроцилиндра механизма прессования, под действием ее происходит перемещение пресс-поршня, а следовательно, и запрессовка расплава в пресс-форму.

Различают три фазы в процессе запрессовки расплава. В первой фазе пресс-поршень движется с небольшой ($0,05 \dots 0,5$ м/с) скоростью, при этом воздух должен вытесняться из пресс-камеры через заливочное окно. Эту скорость стремятся поддержать на таком уровне, чтобы расплав не выплескивался из заливочного окна, а воздух и газы спокойно вытеснялись из свободного объема камеры прессования в атмосферу. Во второй фазе пресс-поршень движется со скоростью $1,5 \dots 7$ м/с, обеспечивающей требуемую

по технологии скорость впуска расплава в полость пресс-формы и длительность ее заполнения. В третьей фазе, начало которой соответствует моменту окончания заполнения рабочей полости пресс-формы, проводится подпрессовка. В этой фазе прессования давление в системе обычно в 2—4 раза превышает давление в конце второй фазы прессования.

Повышение давления на затвердевающую отливку обеспечивается специальными устройствами в механизмах прессования литейных машин. Эти устройства имеют разные конструктивные решения. Так на схеме, изображенной на рис. 3.17, в качестве такого устройства использован мультипликатор б. В момент окончания заполнения пресс-формы шток мультипликатора б выдвигается в поршневую полость основного цилиндра 5 механизма прессования, увеличивая в ней давление рабочей жидкости, а соответственно, и давление на расплав в камере прессования. Важным условием передачи давления на затвердевающую отливку является быстрота действия мультипликатора. Повышенное давление должно передаться на прессующий поршень и далее на расплав за время, меньшее продолжительности затвердевания расплава в питателе. В противном случае расплав в питателе затвердеет и давление на затвердевающую отливку передаваться не будет.

Гидравлический привод машины обеспечивает функционирование основных узлов литейной машины. Обычно машины литья под давлением имеют встроенный индивидуальный привод, отличающийся компактностью, достаточной надежностью и малыми энергопотерями.

Для обеспечения надежной и стабильной работы литейной машины рабочая жидкость гидропривода должна иметь высокую стабильность вязкости при изменении температуры, стойкость против окисления и образования пены, не растворять газы, иметь высокую огнестойкость. Для стабилизации свойств рабочей жидкости машины для литья под давлением имеют систему регулирования температуры рабочей жидкости.

Специальные машины для литья под давлением. Для изготовления одной или нескольких однотипных отливок или осуществления особых видов литья под давлением используют специальные машины для литья под давлением с применением вакуумирования, кислородного процесса, подпрессовки сдвоенным поршнем и т.д. Специальные машины выполняют одну, реже несколько технологических программ; они должны обладать высокой надежностью и производительностью, чтобы при их использовании обеспечивалась бесперебойная работа в условиях массового производства и снижалась бы себестоимость отливок.

К специальным машинам можно отнести машины вертикальной компоновки. В сочетании с вакуумной системой такие машины позволяют получать отливки с низкой пористостью и подвер-

гать их закалке при нормальном давлении. Их устройство аналогично тому, которое имеют машины с горизонтальной холодной камерой прессования.

Системы управления. Машины для литья под давлением с камерой прессования любой конструкции — это сложные автоматизированные агрегаты. Основные технологические операции выполняются машиной автоматически.

Для настройки машины в системах управления предусмотрена возможность наладочного режима работы. При работе машины в наладочном режиме каждая операция осуществляется оператором путем введения соответствующей команды с пульта управления машиной.

Автоматизация процесса. *Основное направление автоматизации литья под давлением — создание гибких, автоматически действующих систем машин (литейных комплексов), позволяющих эффективно использовать такую технологию для получения отливок в условиях как массового, так и серийного производства.*

Современные литейные комплексы литья под давлением позволяют автоматически осуществлять все технологические операции процесса от заливки расплава в камеру прессования до отделения литников и облоя от отливки.

При использовании машины без средств автоматизации обслуживающий ее оператор выполняет ряд транспортных, манипуляторных, контрольных и управляющих функций. Эти функции совмещаются при выполнении той или иной операции; например, при обдуве пресс-формы и нанесении смазочного материала на ее рабочие поверхности оператор одновременно контролирует наличие остатков облоя на плоскости ее разъема и удаляет эти остатки. Контролируя отливку визуально, оператор на основе заключения о ее качестве при внешнем осмотре может регулировать отдельные параметры процесса: длительность выдержки расплава в камере прессования перед запрессовкой; скорость пресс-поршня; температуру расплава и пресс-формы; длительность цикла и т. д. Замена оператора автоматически действующими механизмами приводит к необходимости оснащения литейных комплексов средствами контроля параметров технологического процесса, качества отливок и полноты выполнения отдельных операций, использования программных средств и вычислительной техники, обеспечивающих оперативную корректировку параметров и выдачу решения о возможности начала очередного цикла. Поэтому автоматизация литья под давлением требует высокой надежности и стабильности выполнения отдельных операций процесса, надежной работы оснастки и машины, вспомогательных средств и устройств контроля и регулирования параметров технологического процесса.

Автоматически действующие комплексы литья под давлением условно можно разделить на три системы: 1) машина для литья

под давлением; 2) устройства для автоматизации манипуляторных и транспортных операций; 3) система управления качеством отливки, контроля, стабилизации и регулирования параметров технологического процесса.

Транспортные и манипуляторные операции при литье под давлением автоматизируют путем использования в составе литейного комплекса: автоматического устройства для дозирования и заливки расплава в камеру прессования (на машинах с горячей камерой прессования не используются); манипулятора для съема куста отливок и его передачи на пресс для обрубки отливок литников и облоя; системы для обдува и смазывания рабочих поверхностей пресс-формы и камеры прессования; других механизмов (средств автоматизации околос машинных операций).

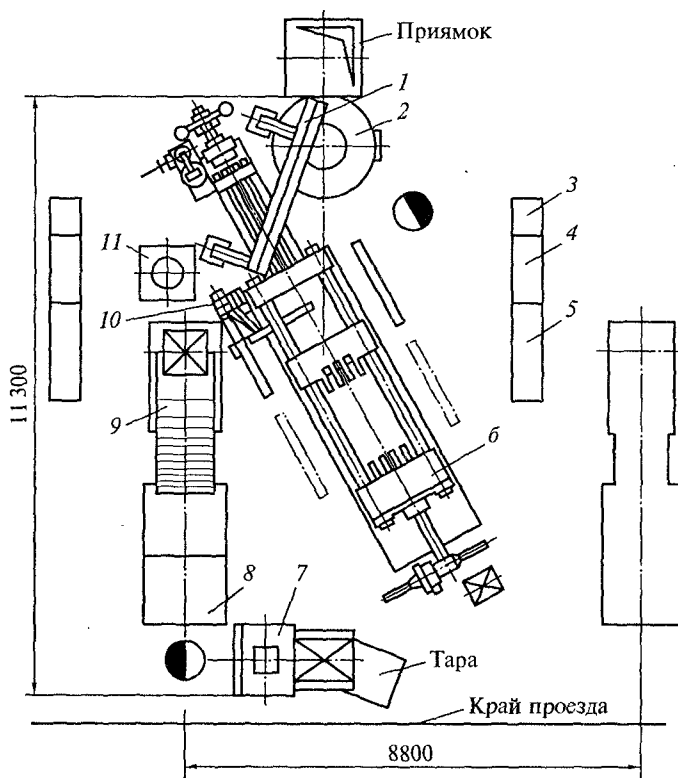


Рис. 3.18. Планировка автоматизированного комплекса машин для литья под давлением:

1 — заливочно-дозировочное устройство; 2 — раздаточная печь; 3 — система регулирования температуры расплава в печи; 4 — система контроля и регулирования температуры пресс-формы; 5 — система управления механизмами комплекса; 6 — литейная машина; 7 — обрубной пресс; 8 — приемный стол; 9 — конвейер; 10 — манипулятор; 11 — устройство для смазывания пресс-форм

На рис. 3.18 представлена планировка автоматизированного комплекса машин для литья под давлением. Основа комплекса — литейная машина 6 с холодной камерой прессования, имеющая быстродействующий механизм прессования, оснащенная приборами для контроля работы и наладки механизмов прессования и запираения пресс-формы. Смазывание рабочей поверхности пресс-формы осуществляется автоматическим устройством 11. Расплав подается из раздаточной печи 2 заливочно-дозировующим устройством 1 в камеру прессования машины. После затвердевания и охлаждения отливки пресс-форму раскрывают и отливку выталкивают, далее после ее съема манипулятором 10 отливка может быть помещена в ванну с охлаждающей водой, после чего по конвейеру 9 отливка перемещается на приемный стол 8 и после визуального контроля оператором переносится им в штамп обрубного пресса 7, откуда отливка попадает в тару. Комплекс управляется системой управления 5. Для поддержания заданных температурных режимов процесса машина имеет систему контроля и регулирования температуры пресс-формы, управляемую аппаратурой 4, и систему 3 регулирования температуры расплава в раздаточной печи.

Комплекс может работать в автоматическом режиме, однако на практике он обслуживается оператором. Так как достаточно высока вероятность сбоев в системе управления современных комплексов для литья под давлением, которые могут привести к выходу из строя дорогостоящей оснастки и оборудования, целесообразнее для обслуживания комплекса привлекать двух операторов: один из них следит за работой машины, заливочно-дозировочного устройства, за раскрыванием пресс-формы, за полнотой извлечения отливки из пресс-формы и т. д.; другой контролирует работу охладительного конвейера, транспортировку отливок к обрубному прессу, определяет качество отливок и следит за обрубкой их на прессе.

Для нанесения смазочного материала на рабочие поверхности пресс-формы, пресс-поршня и камеры прессования литейные машины оснащают системами автоматического смазывания.

Для смазывания поверхности пресс-формы используют стационарные форсунки 1 (рис. 3.19, а), которые обеспечивают подачу смазочного материала 2 в распыленном виде (аэрозоль) на рабочие поверхности пресс-формы 3, и подвижные форсунки 4 (рис. 3.19, б), перемещаемые относительно пресс-формы специальными механизмами 5. Стационарные форсунки применяют для пресс-форм с простой конфигурацией рабочей полости, а подвижные — со сложной. Общим недостатком всех способов нанесения смазочного материала на поверхность открытой пресс-формы является ухудшение условий труда, так как значительная доля

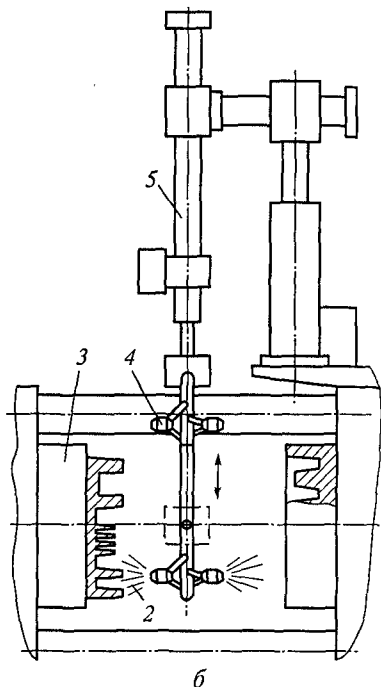
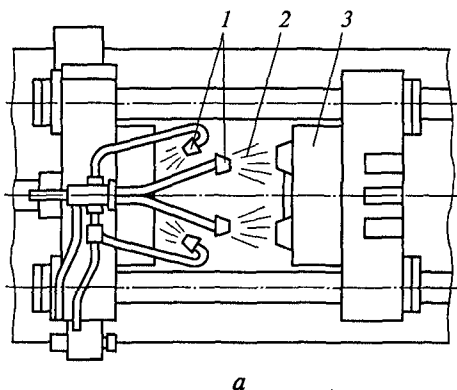


Рис. 3.19. Устройства для автоматического смазывания пресс-форм:

a — неподвижными (стационарными) форсунками; *б* — подвижными форсунками; 1 — стационарные форсунки; 2 — аэрозоль смазочного материала; 3 — пресс-форма; 4 — подвижные форсунки; 5 — механизм перемещения форсунок

смазочного материала теряется в атмосфере цеха. Более прогрессивны устройства для смазывания пресс-форм в закрытом их состоянии при использовании смазочных материалов либо без растворителей, либо с ограниченным их содержанием. Такие способы наряду с экономией смазочных материалов способствуют улучшению условий труда и повышению качества отливок.

Для автоматизации заливки расплава в камеру прессования используют дозирующие устройства, рассмотренные ранее (см. подразд. 2.4). Основные требования к дозаторам для литья под давлением сводятся к следующему: высокая надежность работы и точность дозирования. Это связано с тем, что изменение дозы расплава оказывает влияние на качество отливок, интенсивность износа литниковой втулки и пресс-поршня, надежность срабатывания схватов манипуляторов для удаления отливки из пресс-формы и т. д.

Для автоматизации заливки используют также автоматические манипуляторы, набирающие дозу расплава из раздаточной печи и заливающие его в камеру прессования машины литья под давлением.

Для съема отливок при их удалении из пресс-формы используют механизмы различных конструкций. Основное требование к этим механизмам — они должны обеспечивать извлечение отлив-

ки без повреждений из рабочего пространства между половинами пресс-формы. В производстве используют специальные конструкции съемников, а также автоматические манипуляторы, осуществляющие съем отливок и сброс их в тару или съем отливок и установку их в штамп прессы для обрубки литников. Манипуляторы по второму варианту должны обладать достаточными точностью позиционирования (до $\pm 0,1$ мм), скоростью перемещения схватов (до 0,5 м/с), а также необходимой грузоподъемностью.

Автоматизация манипуляторных операций съема отливки и обрубки литников требует дополнительных затрат на оборудование, обустройство площади и обслуживание, поэтому она выгодна в условиях массового, крупносерийного или гибкого быстро переналаживаемого производства отливок, когда такие затраты быстро окупаются.

Автоматизация управления технологическим процессом предназначена для стабильного получения отливок заданного качества, повышения эффективности производства и является нижним уровнем АСУ ТП. Суть данной задачи состоит в управлении качеством отливки путем регулирования технологических параметров процесса, определяющих качество. Для ее решения необходимо располагать надежной и достоверной информацией о закономерностях влияния параметров технологического процесса на качество отливок; другими словами, должны быть известны зависимости вида $ПК = f(ТП)$, где ПК — показатели качества отливки (масса, точность, герметичность, внешние дефекты, дефекты объема и т. д.); ТП — технологические параметры (температура заливки расплава, температура пресс-формы, скорость прессования, давление прессования и т. д.). Для получения таких зависимостей необходимо контролировать качество отливок и параметры технологического процесса.

Требования к качеству отливок определяются техническими условиями. Контроль качества отливок проводится в несколько этапов, начиная с визуального контроля после извлечения отливки из пресс-формы и дальнейшего контроля внешних признаков отливки после отделения литников и облоя, после очистки поверхности (если таковая предусмотрена технологическим процессом), после обработки резанием перед передачей на последующие операции. Качество отливок проверяют контролеры с помощью контрольно-измерительных приборов, приспособлений и устройств. Полученная в результате контроля информация о качестве отливок является основанием для суждения о правильности назначенных параметров технологического процесса либо о необходимости изменения того или иного параметра для нормализации качества, если его показатель не соответствует уровню технических требований. В последнем случае оператор по указанию технолога изменяет параметры процесса, например корректирует скорость

прессования, температуру заливаемого сплава или температуру пресс-формы.

Для контроля параметров технологического процесса, определяющих показатели качества отливки, машины для литья под давлением оснащаются специальными датчиками. Из теории и практики литья под давлением следует, что наиболее существенными параметрами технологического процесса, определяющими качество отливок при литье под давлением, являются: температура и доза заливаемого сплава; температура пресс-формы; усилие запираания; скорость и давление прессования; скорость нарастания давления при подпрессовке; продолжительность выдержки отливки в пресс-форме; усилие съема отливки или извлечения из нее стержней; темп работы, зависящий от длительности основных и вспомогательных операций.

Температуру заливаемого сплава контролируют термометрами в тигле автоматического дозирующего устройства или раздаточной печи.

Доза заливаемого сплава определяется точностью автоматического дозатора и контролируется чаще всего по высоте прессостатка или перемещению пресс-поршня.

Усилие запираания контролируют механическими, индуктивными или тензометрическими датчиками, измеряющими деформацию колонн машины на участке мерной длины. Такие датчики позволяют осуществить блокировку механизмов машины и прервать выполнение последующих технологических операций, если усилие запираания не соответствует требуемому.

Для измерения скорости прессования применяют датчики различных конструкций (реохордные, индуктивные, импульсные и др.).

Для измерения давления в гидросистеме механизма прессования используют манометры (для измерения статического давления в гидросистеме при настройке машины), надежные малоинерционные преобразователи различных конструкций для регистрации изменения давления в гидросистеме в течение всего рабочего цикла литейной машины.

Для контроля температуры пресс-формы используют переносные и стационарные термопреобразователи. Переносные термопреобразователи — это контактные термометры, используемые для периодического контроля температуры. Они просты, но точность их показаний невелика и зависит от навыка оператора. Стационарные термопреобразователи — это термометры, смонтированные в пресс-форму (см. рис. 3.15, б).

Тепловые условия формирования отливки зависят не только от температуры пресс-формы и заливаемого сплава, но и от темпа работы — числа литейных циклов в единицу времени. Отклонения от заданного темпа работы могут приводить к отклонению

тепловых условий формирования отливки от их оптимальных значений и последующему изменению других технологических параметров, влияющих на качество отливок.

Длительность технологического цикла контролируют по сигналам, поступающим с тех же датчиков, которые используются, например, для контроля скорости прессования.

Первичные преобразователи и приборы для контроля параметров технологического процесса объединяют в измерительную систему, которой оснащают машины для литья под давлением. Комплект преобразователей, приборов, средств коммутации объединяют в стенды контроля технологических параметров литья под давлением.

Стенды для контроля технологических параметров литья под давлением бывают стационарные (их используют в составе каждого литейного комплекса) и передвижные (с их помощью можно обслуживать несколько машин для литья под давлением). Такие стенды позволяют контролировать все основные параметры: скорость прессующего поршня и подвижных частей машины; давление рабочей жидкости в гидросистеме машины; время нарастания давления подпрессовки; усилия прессования и выталкивания отливки; усилие запирания и температуру пресс-формы; длительность выдержки отливки в пресс-форме. Стенды могут иметь выход на ЭВМ, управляющую работой автоматического литейного комплекса.

Системы контроля параметров технологического процесса позволяют управлять качеством отливок по результатам сопоставления данных контроля качества отливок и фактических параметров технологического процесса, полученных с помощью систем контроля.

Управление качеством отливок. В зависимости от конкретных условий производства управление качеством отливок осуществляется на трех уровнях [23] (рис. 3.20, I—III).

На начальном уровне I механизмы $M_1—M_n$ машины для литья под давлением МЛД оснащаются системой преобразователей $D_1—D_n$ контроля параметров технологического процесса, показания которых регистрируются на измерительном стенде ИС, и изменяются регуляторами $P_1—P_n$ технологических параметров (рис. 3.20, I). Обычно это регуляторы скорости прессования и подпрессовки, продолжительности выдержки отливки в форме, температуры заливаемого сплава, пресс-формы и пресс-камеры.

На основе заключения о показателях качества отливки (ПКО) оператор вырабатывает решение о необходимости изменения того или иного параметра технологического процесса и регулирует работу соответствующих механизмов $M_1—M_n$ литейной машины или комплекса. Такой уровень управления качеством отливок наиболее приемлем для условий серийного многономенклатурного производства.

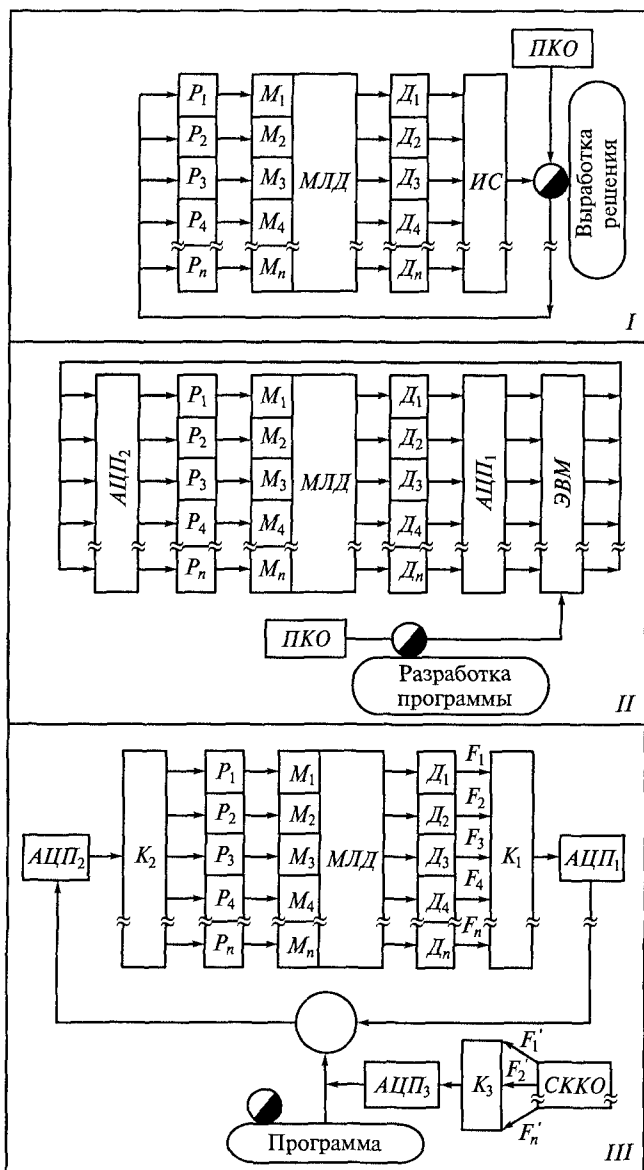


Рис. 3.20. Схемы автоматизации управления технологическим процессом литья под давлением:

I, II, III — соответственно первый, второй и третий уровни управления

На уровне *II* литейный комплекс кроме системы контроля параметров технологического процесса оборудуется ЭВМ, обрабатывающей сигналы системы контроля и выдающей управляющие

команды на регуляторы механизмов машины для оптимизации параметров технологического процесса.

В этом случае на основе статистической обработки результатов контроля качества отливок разрабатываются математические модели связи показателей качества и параметров технологического процесса. На основе таких математических моделей разрабатываются управляющие программы. ЭВМ, получая информацию от датчиков $D_1, D_2, D_3, \dots, D_n$ параметров технологического процесса, через коммутатор и аналого-цифровой преобразователь $АЦП_1$ на основе введенной в нее программы вырабатывает команды на изменение того или иного параметра и через коммутатор и $АЦП_2$ передает управляющий сигнал на регуляторы $P_1 - P_n$ исполнительного механизма машины, например на регулятор скорости механизма прессования машины.

Такой уровень автоматизации управления наиболее приемлем для условий крупносерийного и массового производства.

На последнем высшем уровне *III* система управления включает также систему контроля качества отливки (*СККО*), с помощью которой определяются численные значения функций $F'_1 \dots F'_n$ показателей качества от параметров технологического процесса (целевая функция). ЭВМ на основе программы и математической модели технологического процесса, связывающей целевую функцию, постоянные и переменные (регулируемые) параметры процесса литья под давлением, вырабатывает оптимальные значения регулируемых параметров и через систему обратной связи, включающую коммутатор K_2 и $АЦП_2$, передает команды на систему регуляторов $P_1 \dots P_n$, управляющих исполнительными механизмами литейного комплекса.

Автоматизация управления технологическим процессом литья под давлением с помощью систем уровня *II* более проста и мобильна, требует меньших затрат, чем создание систем уровня *III*.

Создание систем уровней *II* и *III* связано с решением ряда научно-технических проблем. В первую очередь — это создание высоконадежных и быстродействующих механизмов литейных комплексов: механизмов записывания и прессования; вспомогательных устройств; приборов управления исполнительными механизмами машины и преобразователей контроля параметров технологического процесса. Следующая проблема состоит в разработке быстродействующих и надежных систем автоматического контроля качества отливок.

Для автоматизации управления технологическим процессом литья под давлением при использовании систем уровней *II* и *III* требуется создание математических моделей процесса, связывающих показатели качества отливок и параметры технологического процесса. Разработка таких моделей составляет очень важную самостоятельную проблему. В целом решением всех обозначенных проблем заняты многие научные и производственные коллективы.

3.5. Проектирование технологического процесса

Задача проектирования технологического процесса решается поэтапно, при этом возможные решения на каждом из них, как правило, согласуются с конструктором изделия или заказчиком отливки. Примером могут быть согласования по поводу окончательной геометрии отливки, объема последующей механической обработки (получение отверстия литьем или механической обработкой, величина допустимых уклонов и т. д.), марки сплава и т. д. Главным при этом является обеспечение максимального качества отливок при их наименьшей цене. Ниже рассмотрены основные этапы разработки технологического процесса литья под давлением.

Оценка технологичности отливки. Этот этап является первым и самым важным при разработке любого технологического процесса. Оценку начинают с изучения чертежа детали и технических требований, предъявляемых к ней. При этом обращается внимание и на условия эксплуатации будущей детали в изделии (например, деталь может эксплуатироваться в морской воде, в климатической зоне с повышенной температурой или, напротив, с пониженной и т. п.). Все это учитывается не только при выборе сплава, но и при назначении технологических режимов литья и финишной обработки отливки.

Сплавы для литья под давлением. Обычно технолог-литейщик имеет возможность выбора марки сплава лишь в тех случаях, когда в технической документации на деталь указан только тип сплава и не указана марка. В цехах литья под давлением чаще используют не первичные, а вторичные сплавы, что обусловлено экономическими соображениями. Наилучшими литейными свойствами обладают следующие сплавы: цинковые ЦАМ4-1, ЦА4М3 — ГОСТ 25140—82; алюминиевые АК12, АК9, АК7 — ГОСТ 1583—73; магниевые МЛ3, МЛ5 — ГОСТ 2856—79; медные ЛЦ40Сд, ЛЦ16К4 — ГОСТ 17711—80 и др. Указанные сплавы обладают хорошей жидкотекучестью, низкой и стабильной усадкой, имеют небольшой интервал затвердевания и достаточно высокие эксплуатационные свойства. Их химический состав и свойства мало изменяются при длительной выдержке расплава в раздаточной печи. От первичных сплавов, например алюминиевых сплавов АЛ2, АЛ9 и АЛ4, вторичные сплавы АК12, АК9 и АК7 в основном отличаются большим содержанием примесей и меньшей пластичностью.

Наружные очертания отливки. Технологически важно, чтобы один из габаритных размеров был меньше двух других. Отливку следует располагать в пресс-форме так, чтобы глубина полости в пресс-форме была небольшой и ее можно было просто обработать без изготовления специального режущего инструмента.

Полости в отливках, полученных литьем под давлением, бывают двух видов — I и II (рис. 3.21, а). Для получения полостей

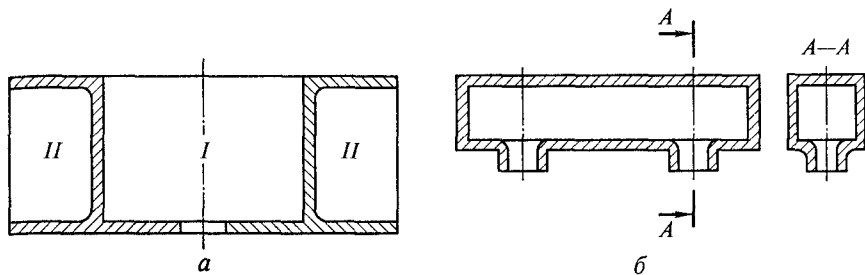


Рис. 3.21. Полости в отливках, полученных литьем под давлением:
a — отливка формируется элементами пресс-формы: *I* — неподвижными стержнями; *II* — подвижными стержнями; *б* — для получения отливки используются арматура или выплавляемые стержни

вида *I* необходимы стержни и вкладыши, направление извлечения которых перпендикулярно плоскости разъема пресс-формы. Для получения полостей вида *II* требуются стержни, направление движения при извлечении которых не совпадает с направлением движения подвижной полуформы. Полости вида *I* более технологичны, полости вида *II* труднее в исполнении.

Особый случай представляют полости с малыми выходными отверстиями (рис. 3.21, б). Для их получения необходимо либо использовать стержни специальной конструкции (чаще всего выплавляемые), либо армировать отливку, что повышает трудоемкость и снижает производительность труда в литейном цехе (однако в конечном счете трудоемкость получения таких полостей в отливках может оказаться ниже, чем при обработке резанием).

Толщина стенки отливки и ребер жесткости. Отливка, изготовляемая литьем под давлением, должна быть равностенной

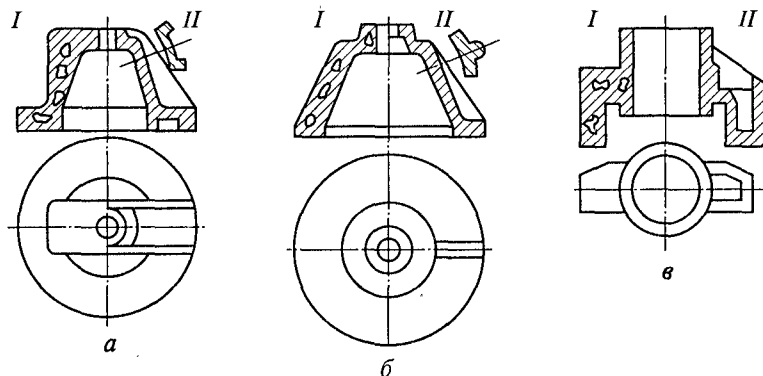


Рис. 3.22. Варианты (*a*—*в*) конструкций отливок:
I — неправильно; *II* — правильно

(рис. 3.22). Это создает предпосылки для соблюдения принципа *одновременного затвердевания*. В противном случае в массивных узлах отливки образуются крупные газоусадочные поры и раковины. Важно помнить, что *создание условий для направленного затвердевания при литье под давлением чаще всего не представляется возможным*.

Обычно толщина стенки и конфигурация отливки назначаются из условия обеспечения необходимой жесткости и прочности ее конструкции. При этом следует отметить, что с увеличением толщины стенки отливок, получаемых литьем под давлением, плотность и механические свойства материала отливок, как правило, снижаются. Предел прочности при сжатии для некоторых сплавов в 1,5—2 раза выше, чем предел прочности при растяжении. Хуже всего материал отливок работает на изгиб.

Минимально допустимая толщина стенок отливок l_0 зависит от марки сплава, габаритов отливки, эксплуатационных характеристик литейного оборудования и других факторов. Так, например, для отливок из цинковых сплавов l_0 может быть равной 0,5...2 мм, для магниевых сплавов — 1...3 мм, для алюминиевых — 0,8...3 мм и для медных — 2...3,5 мм.

Толщина ребер жесткости должна составлять $(0,8...0,9)l_0$, а высота ребра обычно не превышает $10l_0$.

Литейные уклоны. Стенки и ребра отливки, перпендикулярные плоскости разъема и получаемые извлекаемыми стержнями, должны иметь литейные уклоны. На внешних поверхностях уклоны равны $10...30'$, а на внутренних — от $30'$ до 2° . При назначении уклонов необходимо стремиться к тому, чтобы окончательный размер отливки не выходил за пределы поля допуска, и учитывать, что с уменьшением уклона усложняется извлечение отливки из пресс-формы. Специальные приемы позволяют получать отливки и без уклонов.

Радиусы сопряжения. Величина радиусов сопряжения стенок отливки зависит от свойств сплава (величины усадки, температурного интервала его затвердевания, прочностных характеристик и др.) и должна быть не менее 0,5 мм. Так, например, если у отливки из алюминиевого сплава радиус сопряжения равен 0,5 мм, то у такой же отливки из магниевоего сплава он должен быть не менее 1,5 мм. *Чем меньше радиус сопряжения, тем более вероятно образование в этих местах трещин.*

Отверстия в отливках. Технические возможности литья под давлением позволяют получать в отливках отверстия с такой высокой точностью и низкой шероховатостью, что во многих случаях может быть исключена их механическая обработка. Ниже приведены максимально допустимые значения глубины отверстий h глухих (в числителе) и сквозных (в знаменателе) в отливках из разных типов сплавов при минимально возможном их диаметре:

Сплавы:	h , мм	D_{\min} , мм
цинковые	6/12	1,0
магниевые	5/10	1,5
алюминиевые	3/6	1,5
медные	3/4	2,5

Следует учитывать, что с уменьшением диаметра и увеличением глубины отверстий повышается вероятность разрушения отливки при ее извлечении или поломки пресс-формы (обрыв стержней, разрушение формообразующих вставок и др.).

Элементы резьбового соединения. Отливки, получаемые литьем под давлением, могут иметь как наружную, так и внутреннюю резьбу. К изготовлению литьем внутренней резьбы прибегают лишь при необходимости обеспечения повышенной герметичности и более высоких механических свойств отливки. Это связано с тем, что такая операция выполняется аналогично ее выполнению при механической обработке, а трудоемкость и затраты на инструмент при варианте исполнения литьем повышаются, так как перед запуском пресс-формы каждый раз необходимо устанавливать в ее рабочую полость резьбовую сменную вставку (конструктивно вставка напоминает метчик, используемый в этих целях при механической обработке), а после извлечения отливки из пресс-формы вывинчивать эту вставку из отливки. Так как таких вставок должно быть несколько, для их извлечения потребуется либо дополнительный рабочий, либо специальный автомат.

Ниже приведены данные о минимально допустимом шаге H резьбы и ее минимальном диаметре D_{\min} в зависимости от основы материала отливки (в числителе — наружный шаг или диаметр, в знаменателе — внутренний шаг или диаметр):

Сплавы:	h , мм	D_{\min} , мм
цинковые	0,7/1,0	4/10
магниевые	1,0/2,0	6/25
алюминиевые	1,0/2,0	6/25
медные	1,0/—	8/—

Следует заметить, что методом литья под давлением можно получать отверстия и со специальной резьбой, что сложно при механической обработке, а в условиях массового производства это экономически не выгодно.

Зубчатые колеса. Литье под давлением позволяет получать зубчатые колеса без механической обработки рабочей поверхности зубьев с минимально допустимыми размерами: диаметр — 12... 15 мм; ширина — 1,5... 20 мм; модуль 0,5.

Армирование отливок. Данный технологический процесс позволяет получать отливки с разнообразной арматурой, т.е. деталь, соединенную с другой деталью (арматурой), выполненной из стали, чугуна, медных сплавов и других материалов, в пресс-форме

после запрессовки в нее расплава. Этот технологический прием может быть использован для решения ряда конструкторских и технологических задач, в числе которых следующие:

- местное увеличение прочности, износостойкости, электропроводности и других служебных свойств отливок;
- получение отливок со сложными каналами и полостями;
- экономия цветных металлов и т. д.;
- создание необходимых условий затвердевания в массивных частях отливки, когда арматура выполняет роль холодильника.

Соединение арматуры с основным телом отливки может происходить в результате действия сжимающих напряжений, а также диффузионных процессов по границе основной материал — арматура. Для надежного соединения арматуры с материалом отливки зону контакта подвергают специальной механической обработке (рис. 3.23) или создают необходимые условия для диффузионных процессов путем гальванического покрытия арматуры.

Как правило, арматуру устанавливают в пресс-форму вручную. Для повышения производительности в многогнездные пресс-формы ее устанавливают с помощью предварительно снаряжаемых кассет. Обычно для нормальной работы их требуется несколько. Например, одна кассета может находиться в пресс-форме, несколько кассет могут быть снаряженными, а в остальных проводится установка арматуры.

Примерами таких отливок являются: подошва утюга с залитым ТЭНом (термоэлектрическим нагревателем); роторы некоторых электродвигателей; колеса разного назначения со стальными втулками под запрессовку в них подшипников; корпусные детали, армированные стальными деталями или втулками из медных сплавов для изготовления резьбовых отверстий или получения направляющих поверхностей и т. д.

Точность размеров и шероховатость поверхности отливок. Литье под давлением позволяет получать отливки с шероховатостью поверхности от $Rz = 40$ до $Ra = 0,63$ мкм и точностью размеров до 10-го качества, что соответствует классу точности 1 размеров отливок по ГОСТ 26645 — 85 (изм. № 1, 1989). Неоправданно завышенные требования к точности размеров отливки и шероховатости ее поверхности увеличивают себестоимость литья под давлением в результате больших затрат на изготовление пресс-формы и необходимости строгого соблюдения технологических режимов процесса.

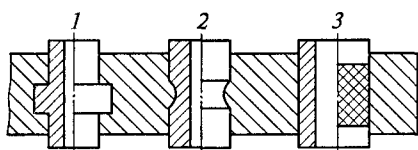


Рис. 3.23. Варианты разделки заливаемой части арматуры:

1 — внешний бортик; 2 — кольцевой паз; 3 — накатка

Шероховатость поверхности отливки зависит от многих фак-

торов, главными из которых являются: основа сплава, из которого она изготавливается; начальная шероховатость рабочих поверхностей пресс-формы и число запрессовок расплава, сделанных в нее. Так, если при изготовлении стальных отливок шероховатость их поверхностей начинает повышаться уже после первых запрессовок, то при изготовлении отливок из медных сплавов это происходит только после 250, для алюминиевых и магниевых сплавов — после 500, а для цинковых сплавов — после 5000 запрессовок.

Точность размеров отливки, полученной методом литья под давлением, определяется точностью изготовления рабочей полости пресс-формы, расположением этой полости в пресс-форме, износом рабочих поверхностей, величиной усадки сплава, точностью сопряжения и перемещения подвижных частей пресс-формы, величиной деформации отливок при их извлечении из пресс-формы, условиями транспортировки и хранения отливок. Наибольшее влияние на точность размеров отливок оказывает стабильность усадки сплава, которая зависит от стабильности его химического состава и технологических параметров процесса (температуры пресс-формы и заливаемого сплава, продолжительности выдержки отливки в пресс-форме до извлечения, скорости и давления прессования). Поэтому отклонения размеров меньше $\pm 0,15\%$ их номинального значения обычно не назначают.

Исполнительные размеры рабочих поверхностей пресс-формы определяют, используя расчетный коэффициент усадки, а их допустимые отклонения назначают с учетом направления износа этих поверхностей и возможности использования доводочных операций для обеспечения требуемых номинальных размеров отливки. Значение коэффициента усадки зависит от состава сплава, рабочей температуры пресс-формы, температуры извлечения отливки и других факторов. Так для алюминиевых сплавов значение коэффициента усадки может быть принято равным 0,3...0,6; для цинковых сплавов — 0,2...0,5; для магниевых сплавов — 0,4...0,7, а для медных сплавов — 0,5...0,8. На практике меньшие значения коэффициента усадки назначают для тонкостенных отливок, а большие — для толстостенных.

Выбор типа литейной машины. Материал отливки и требования, предъявляемые к ее качеству, влияют на выбор типа литейной машины. Литейные машины с горизонтальной холодной камерой прессования могут быть использованы для изготовления отливок из всех перечисленных ранее сплавов. В то же время использование этих машин при производстве отливок из цинковых и магниевых сплавов менее рентабельно, чем машин с вертикальной горячей камерой прессования.

Литейные машины с вертикальной холодной камерой прессования используются при изготовлении отливок из алюминиевых, цинковых и магниевых сплавов. Существующие технические воз-

возможности позволяют использовать машины с вертикальной горячей камерой прессования лишь для цинковых и магниевых сплавов. Перспективность использования этих машин для сплавов других типов связана с самопроизвольным выполнением операции заливки расплава в камеру прессования, которая на них установлена в тигле и погружена в расплав.

При изготовлении отливок из алюминиевых сплавов с повышенными требованиями по плотности, прочности и герметичности применяют наименее распространенные в настоящее время машины вертикальной компоновки. Использование на этих машинах вакуумного способа подачи расплава в вертикальную камеру прессования снижает вероятность захвата расплавом газов и позволяет подвергать отливки высокотемпературной термической обработке при нормальном давлении с их использованием при повышенных температурах.

Выбор параметров литейной машины начинают с анализа требований, предъявляемых к отливке. Такой анализ позволяет оценить минимально необходимое давление прессования $p_{пр\ min}$. При этом чем больше толщина стенки отливки, тем более высокое давление прессования требуется для обеспечения ее качественных характеристик. Для примера, приведенного в табл. 3.1, меньшие значения рекомендуемого давления прессования соответствуют толщине стенки отливки около 3 мм, а большие — 5...7 мм.

Далее, задавшись числом отливок, одновременно получаемых в пресс-форме (числом гнезд), выбирают модель литейной машины и диаметр камеры прессования.

Литейная машина обеспечивает две основные характеристики — усилие $P_{зап}$ запираания и усилие $P_{пр}$ прессования. Как правило, на современных машинах этими усилиями можно управлять. В паспортных характеристиках литейных машин указываются их максимальные значения.

Таблица 3.1

**Рекомендуемое давление прессования для отливок
разного назначения**

Назначение отливки	$p_{пр\ min}$, МПа, для разных сплавов		
	Алюминиевый	Магниевый	Цинковый
Обычного назначения	40...80	40...80	10...20
Силовая деталь	60...120	60...120	20...30
Силовая деталь, работающая под избыточным давлением жидкости или газа	80...200	80...180	25...50

Определив минимально необходимое давление прессования, задавшись числом рабочих гнезд в пресс-форме и определив площадь $F_{\text{п}}$ проекции куста отливок на ее плоскость разреза (суммарную площадь проекции, смоченной расплавом поверхности рабочих полостей пресс-формы, включая каналы литниковой системы), рассчитывают усилие $P_{\text{рас}} = p_{\text{пр}} F_{\text{п}}$ раскрытия пресс-формы. Принимая коэффициент запаса равным 1...1,5, определяют необходимое усилие $P_{\text{зап}}$ запираения, которое должна обеспечивать литейная машина $P_{\text{зап}} \geq (1 \dots 1,5) P_{\text{рас}}$. При этом с увеличением коэффициента запаса сокращается объем финишных операций, снижаются затраты на обслуживание и ремонт машин.

Значение коэффициента запаса принимается тем большим, чем больше ожидаемая величина гидроудара в конце запрессовки расплава и остановки пресс-поршня. Гидроудар тем больше, чем выше скорость пресс-поршня и хуже динамические характеристики литейной машины.

Выбрав по усилию запираения модель литейной машины, из ее паспортных характеристик узнают усилие $P_{\text{пр}}$ прессования, которое может создаваться в машине данной модификации. Далее можно, например, выбрать диаметр $D_{\text{к.п}}$ (площадь $F_{\text{к.п}}$ поперечного сечения) камеры прессования, исходя из условия $p_{\text{пр min}} \leq P_{\text{пр}}/F_{\text{к.п}}$ обеспечения необходимого давления прессования, и провести проверку на достаточность ее объема для заливки требуемой дозы расплава. Если результат проверки будет отрицательным, то принимается решение либо об уменьшении числа рабочих гнезд в пресс-форме, либо об использовании машины другой модели (например, с большим усилием запираения), либо об изменении диаметра камеры прессования и получении отливок при меньшем давлении прессования и т. д.

Все эти несложные инженерные расчеты выполняются, чаще всего, в несколько приемов и направлены на обеспечение условий, исключающих возможность раскрытия пресс-формы ($P_{\text{зап}} > P_{\text{рас}}$), при создании требуемого давления прессования, достаточности объема камеры для заливки в нее требуемой дозы расплава.

В случае использования машин с горизонтальной холодной камерой прессования должно также выполняться условие невыплескивания расплава из заливочного окна камеры до его перекрытия пресс-поршнем (на современных машинах литья под давлением камера прессования должна быть заполнена расплавом перед запрессовкой не более чем на 70...75 % ее рабочего объема). В пресс-формах с глубокими неподвижными вставками решается противоположная задача, поэтому для уменьшения рабочего объема камеры прессования и увеличения степени ее заполнения расплавом в подвижной полуформе устанавливают рассекатель. Эта деталь при запираении пресс-формы входит в камеру прессования

и уменьшает ее свободный объем. Она позволяет решить не только первую задачу, но и обеспечивает плавное заполнение пресс-формы расплавом и извлечение пресс-остатка из горизонтальной холодной камеры прессования в случае, когда пресс-поршень не выходит за плоскость разъема при раскрывании пресс-формы и выталкивании пресс-остатка из камеры.

В соответствии с размерами пресс-формы и ее конструкцией определяют другие необходимые технические характеристики машины: расстояние между колоннами по горизонтали и вертикали; допустимые наибольшую и наименьшую толщины формы; ход подвижной плиты машины; наибольший ход гидротолкателя; выход пресс-поршня за плоскость неподвижной плиты. Сопоставляя полученные расчетом и определяемые конструкцией пресс-формы характеристики машины, устанавливают возможность использования данной машины для получения отливки.

Разработка чертежа отливки. Этот этап разработки технологического процесса включает в себя выбор положения отливки в пресс-форме и плоскости ее разъема, места подвода расплава, разработку конструкции литниковой и вентиляционной систем, назначения припусков на обработку резанием, уклонов и допусков на размеры отливок.

Положение отливки в пресс-форме и плоскость ее разъема выбираются исходя из следующих основных условий. При раскрывании пресс-формы отливка и литниковая система должны оставаться в ее подвижной половине, а после срабатывания механизма выталкивания отделяться от пресс-формы самопроизвольно (при изготовлении мелких отливок), с помощью манипулятора или с использованием ручного труда оператора.

Размеры отливки, имеющие наиболее жесткие допуски, должны оформляться наименьшим числом элементов литейной формы и по возможности не пересекаться плоскостью ее разъема.

Положение отливки в пресс-форме должно обеспечивать наиболее рациональные подвод расплава в ее рабочую полость, расположение каналов литниковой и вентиляционной систем. При этом необходимо стремиться к тому, чтобы центр действия усилия на раскрывание пресс-формы был по возможности ближе к силовой оси литейной машины (к центру действия усилия запирания). В противном случае на подвижную плиту машины будет действовать изгибающий момент, т. е. появится вероятность самопроизвольного раскрывания пресс-формы при запрессовке расплава; кроме того, под действием изгибающего момента в целом снижается долговечность литейной машины.

При выборе положения отливки в пресс-форме необходимо учитывать и возможность ее последующей механизированной или автоматизированной финишной обработки. *Специальные пресс-формы обеспечивают проведение многих финишных операций (отделение*

литников и промывников и др.) непосредственно в пресс-форме перед извлечением отливки.

Припуски на обработку резанием отливок под давлением назначают минимальными, так как на небольшом (0,8... 1 мм) расстоянии от поверхности в отливках расположены мелкие поры и раковины. Обработка резанием отливок под давлением производится только в тех случаях, если допуски на размеры отливок не обеспечивают работоспособности детали или данные элементы детали невозможно получить литьем.

Припуски на обработку резанием назначают в соответствии с рекомендациями ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989) или нормативов. Обычно припуски не превышают 0,3...0,8 мм на сторону.

Конструкция литниковой системы зависит от типа машины, на которой изготавливается отливка. При литье на машинах с вертикальной камерой прессования (рис. 3.24, а) литниковая система состоит из литникового хода 3, соединяющего камеру прессования с полостью формы, подводящего канала 4, питателя 5. При литье на машинах с горизонтальной камерой прессования (рис. 3.24, б) литниковая система включает в себя подводящий канал 4 и питатель 5. Сокращение пути расплава в литниковой системе является основным преимуществом машин с горизонтальной камерой прессования.

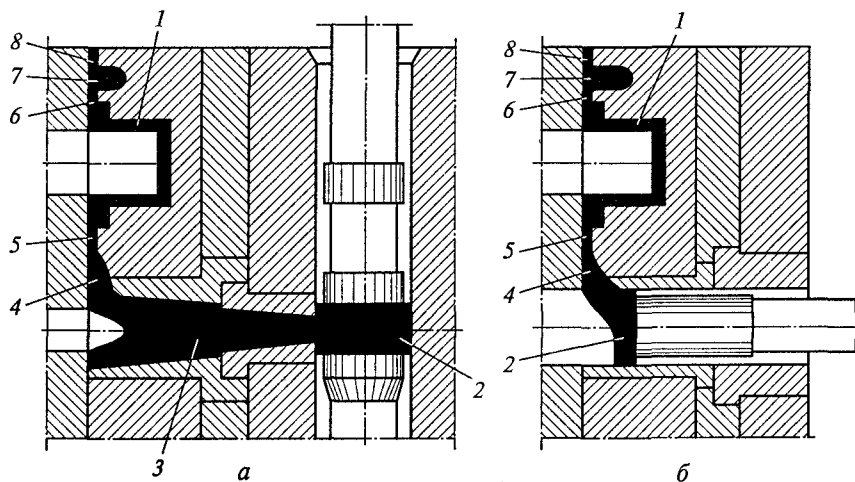


Рис. 3.24. Литниковые системы при литье на машинах с камерами прессования:

а — вертикальной; б — горизонтальной; 1 — рабочая полость пресс-формы; 2 — пресс-остаток; 3 — литниковый ход; 4 — подводящий канал; 5 — питатель; 6 — соединительный канал; 7 — промывник; 8 — вентиляционный канал

К литникам относят также пресс-остаток 2. Для экономии металла высота пресс-остатка должна быть минимальной, но обеспечивающей условия для передачи давления на кристаллизующую отливку со стороны пресс-поршня. Обычно такие условия обеспечиваются при высоте пресс-остатка $(0,5 \dots 0,7) D_{к.п}$ (где $D_{к.п}$ — диаметр камеры прессования), причем высота тем меньше, чем выше температуры камеры прессования и пресс-формы.

Вентиляционная система пресс-формы состоит из каналов 8 в виде щелей глубиной $0,05 \dots 0,3$ мм и шириной $5 \dots 30$ мм. Вентиляционный канал 8 может сообщать полость формы либо непосредственно с атмосферой, либо через промывник 7, соединенный с полостью формы 1 каналом 6. Промывники 7 устанавливают для слива первых порций расплава, загрязненных воздухом, оксидными пленками, продуктами разложения смазочного материала пресс-формы. Вентиляционные каналы и промывники располагают в местах наиболее вероятного скопления воздуха, газов, продуктов разложения смазочного материала.

В зависимости от расположения литникового хода относительно отливки различают три варианта литниковой системы: прямая, внутренняя и боковая.

Прямая литниковая система (рис. 3.25, а) не имеет подводящего канала — литниковый ход 1 непосредственно соединяется с полостью формы. Эта литниковая система обеспечивает направ-

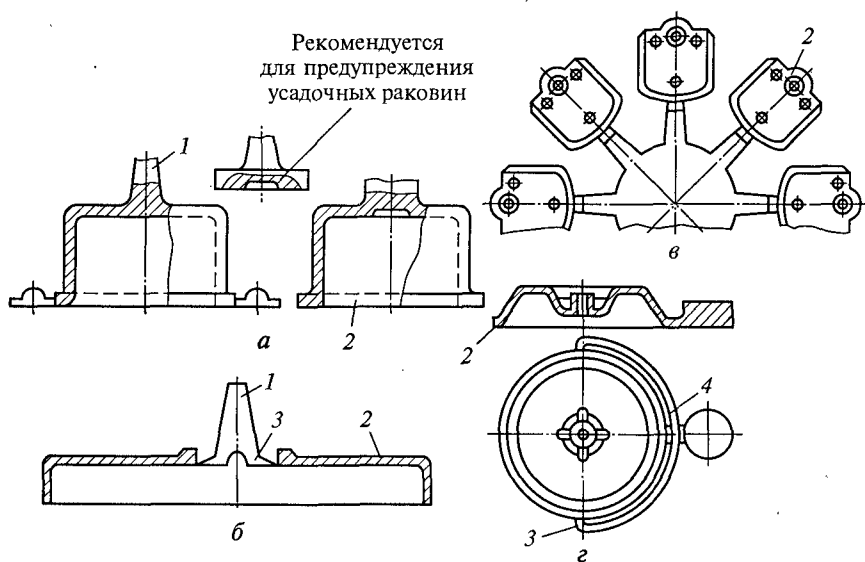


Рис. 3.25. Разновидности литниковых систем:

a — прямая; *b* — внутренняя; *v*, *z* — боковые; 1 — литниковый ход; 2 — отливка; 3 — питатель; 4 — коллектор

ленное заполнение формы сплошным потоком, чаще ее применяют для отливок, не имеющих в центре отверстий. Тепловые и гидравлические потери расплава в таких системах минимальны, поэтому такую систему используют для заполнения формы твердожидким сплавом с небольшой скоростью впуска. Это позволяет уменьшить газовую, воздушную и усадочную пористость в отливках, повысить механические свойства и плотность отливок, повысить стойкость пресс-формы.

Внутренняя литниковая система (рис. 3.25, б) используется для отливок типа рамок с большими отверстиями. Расплав подводится в полость формы внутри контура проекции отливки на плоскость разъема через сплошные щелевые или отдельные питатели 3, расположенные в плоскости разъема. Такая литниковая система позволяет уменьшить размеры пресс-формы, а также расход металла на литниковую систему, т.е. повысить коэффициент технологического выхода годного (ТВГ).

Боковая литниковая система (рис. 3.25, в) получила наибольшее распространение для подвода расплава в пресс-форму. Расплав подводится к внешнему контуру отливок 2. Литниковую систему этого типа используют в одногнездных и многогнездных пресс-формах для мелких, средних и крупных отливок. Иногда эта литниковая система имеет дополнительный элемент — коллектор 4 (рис. 3.25, г), служащий для одновременного поступления расплава в полость формы крупных отливок. Мелкие отливки располагают так, чтобы вначале заполнялся коллектор, а затем рабочие полости формы.

Проектирование литниковой системы начинают с определения места установки питателя, соблюдая выполнение следующих принципов:

- исключить лобовой удар струи расплава в рабочие поверхности пресс-формы. Это способствует сохранению на них смазочного материала, снижает вероятность приваривания отливки к пресс-форме и образования задиоров на отливке, способствует повышению долговечности пресс-формы;

- избегать встречи потоков расплава в форме;
- обеспечить поступление расплава параллельными струями;
- расположить питатель так, чтобы движение потока расплава способствовало последовательному вытеснению воздуха и продуктов разложения смазочного материала из полости пресс-формы через вентиляционные каналы на обрабатываемых поверхностях отливки (последняя мера относится и к соединительным каналам промывников и направлена на снижение трудоемкости зачистки отливок).

Важен также принцип одновременного затвердевания, для соблюдения которого расплав чаще всего подводят в тонкие сечения. При изготовлении толстостенных отливок и использовании

прямой литниковой системы подвод расплава осуществляют в массивное сечение.

Большое влияние на качество отливки (наличие неспаев, пористости) оказывает расположение питателя по ширине рабочей полости пресс-формы. В отливках типа «прямоугольная пластина» (крышки, плато приборов и т. д.) питатель необходимо подводить к короткой стороне отливки, ширина питателя должна составлять $0,8B$ (где B — ширина отливки) (рис. 3.26, а). При подводе расплава к длинной стороне воздух и продукты разложения смазочного материала не успевают покинуть пресс-форму, в результате в отливке образуются раковины, неслитины. При изготовлении отливки типа «рамка» с небольшим отверстием расплав лучше подводить двумя потоками (рис. 3.26, б), так как при подводе через один широкий питатель возможен выпор тонкого стержня к отливке. В отливках типа «рамка» с тонкими стенками нельзя использовать подвод через два питателя из-за образования в местах встречи потоков неслитины и пористости (рис. 3.26, в). При правильном подводе расплав должен двигаться по контуру рамки, последовательно вытесняя воздух из формы в каналы вентиляционной системы.

Следует избегать столкновения в отливке потоков расплава из двух питателей (рис. 3.26, г). Для отливок типа «кольцо» целесообразно применять тангенциальный подвод расплава (рис. 3.26, д, е).

К отливкам типа «цилиндрический корпус» (диаметр D больше высоты H) расплав следует подводить через питатель, примыкающий к донной части (рис. 3.26, ж), соблюдая при этом правила подвода питателя к плоским круглым пластинам (см. рис. 3.26, д). Наоборот, к удлиненным цилиндрическим корпусам малого диаметра D и большой высоты H целесообразно подводить расплав со стороны, противоположной днищу, через специальные коллекторы (рис. 3.26, з).

Для создания сплошного направленного потока большое значение имеют конструкция питателя и направление выхода из него струи в полость формы. Для отливок типа «невысокая крышка с буртиком» питатель следует подводить не к буртику, а так, чтобы струя расплава попадала в рабочую полость (рис. 3.26, и). Для коробчатых отливок с центральным окном целесообразно использовать внутреннюю литниковую систему (рис. 3.26, к). Если коробчатая отливка не имеет фланца, то лучше направлять питатель параллельно стенке (рис. 3.26, л).

Вентиляционные каналы должны быть расположены так, чтобы обеспечивалась их наиболее продолжительная работа за время запрессовки расплава. Поэтому конструкция вентиляционной системы зависит от литниковой системы и характера заполнения полости формы.

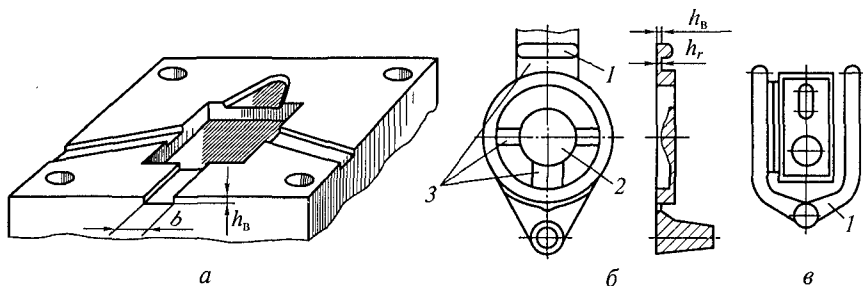


Рис. 3.27. Конструкции вентиляционных каналов (а) и промывников (б, в) в пресс-форме:

1, 2 — промывники; 3 — соединительные каналы; b , h_b — ширина и глубина вентиляционного канала; h_r — глубина соединительного канала

При заполнении формы сплошными потоками вентиляционные каналы устанавливают в местах, наиболее удаленных от питателя, или местах соединения потоков расплава.

При заполнении дисперсным потоком вентиляционные каналы следует располагать на всех участках рабочей полости пресс-формы.

Вентиляционные каналы чаще выполняют в плоскости разреза формы в виде проточек прямоугольного поперечного сечения (рис. 3.27, а). Глубину вентиляционных каналов h принимают в следующих пределах в зависимости от типа заливаемого сплава:

Сплавы:	h_b , мм
свинцовые	0,05...0,10
цинковые	0,08...0,12
алюминиевые	0,10...0,12
магниевые	0,10...0,15
медные	0,15...0,20
стали и чугуны	0,20...0,30

Меньшие значения принимаются для сплавов с большей жидкотекучестью.

Ширина b вентиляционного канала должна быть не более 30 мм, что облегчает удаление облоя при обдувке пресс-формы. Для лучшего удаления газов и воздуха вентиляционные каналы выполняют на боковых поверхностях вставок, на подвижных и неподвижных стержнях и выталкивателях. Глубина этих каналов не должна превышать $(0,5...0,6)h_b$, так как они могут быть закупорены, а удаление облоя из них задача сложная, требующая полной или частичной разборки пресс-формы.

Для удаления первых порций расплава, загрязненного продуктами разложения смазочного материала, воздухом, газом, оксидами, в пресс-форме делают промывники — технологические приливы (1, 2 на рис. 3.27, б). Промывники соединяют с полостью

формы каналами 3 глубиной h_r . Промывник 1 может соединяться с атмосферой вентиляционным каналом, но может быть и глухим 2. Обычно промывники располагают вблизи утолщенных мест отливки и там, где предполагается встреча потоков. Необходимая глубина соединительных каналов может быть определена из условия

$$h_r = (0,8 \dots 0,9) l_{0 \min},$$

где $l_{0 \min}$ — минимальная толщина стенки отливки, размера ее микро рельефа или толщина питателя.

Промывники часто используют для регулирования теплового режима пресс-формы, особенно при литье тонкостенных деталей (рис. 3.27, в). Расплав, попадая в глухой промывник 1, нагревает пресс-форму и способствует улучшению ее заполнения. Однако такой способ приводит к снижению выхода годного. Поэтому более целесообразно регулировать тепловой режим пресс-формы системой охлаждения и темпом работы.

Чтобы промывники не оставались в пресс-форме при выталкивании отливки, под каждым из них устанавливают выталкиватели. Необходимый объем промывников определяется требованиями, предъявляемыми к отливке. Чем проще геометрия отливки и выше эти требования, тем более оправданно увеличение объема промывников. Повышение плотности, прочности и герметичности сложных корпусных отливок достигается использованием как местных небольших по объему промывников, так и других технологических приемов, например вакуумированием пресс-формы.

Определение размеров каналов литниковой и вентиляционной систем вследствие сложности физико-химических процессов, происходящих при заполнении формы, вызывает значительные трудности. Поэтому на практике используют методы расчета, основанные на опытных и практических данных.

Наиболее ответственным элементом литниковой системы является питатель. Из уравнения расходов, известного из гидравлики, можно записать

$$f_{\text{п}} u_{\text{вп}} = V_0 / \tau_{\text{зап}}, \quad (3.1)$$

где $f_{\text{п}}$ — площадь поперечного сечения питателя; $u_{\text{вп}}$ — скорость расплава в выходном сечении питателя (скорость впуска); V_0 — объем отливки с промывниками; $\tau_{\text{зап}}$ — время заполнения формы.

Поскольку

$$V_0 = G / \rho, \quad (3.2)$$

где G — масса отливки с промывниками; ρ — плотность расплава, то, подставив уравнение (3.2) в (3.1), получим

$$f_{\text{п}} = G / (\rho u_{\text{вп}} \tau_{\text{зап}}). \quad (3.3)$$

При определении скорости впуска расплава $u_{\text{вп}}$ и продолжительности $\tau_{\text{зап}}$ заполнения формы теоретическими методами встречаются трудности, связанные с учетом конфигурации отливки, свойств сплава, давления прессования и других факторов. Поэтому в практических расчетах используют обобщенные опытные данные. Например, в методе, предложенном Н. А. Шубиным, в формулу (3.3) введен коэффициент $K = u_{\text{вп}}\tau_{\text{зап}}$. Коэффициент K зависит от конфигурации отливки и сплава, из которого ее изготавлиют. Так, для алюминиевых сплавов его значение может быть принято равным 4,41...6,09; для цинковых сплавов — 1,57...2,16; для магниевых сплавов — 4,78...7,32, а для медных сплавов — 1,37...1,89. Большие значения K принимаются для простых отливок.

Площадь поперечного сечения питателей по этому методу определяют по формуле

$$f_{\text{п}} = G/(K\rho). \quad (3.4)$$

Этот способ расчета используют для отливок массой до 0,5 кг с толщиной стенок до 5 мм.

В методе коэффициентов, разработанном А. К. Белопуховым [14, 21], учитывается сложность конфигурации отливки, давление прессования, состав сплава и толщина стенки отливки. Установлено по большому числу отливок, что средняя скорость впуска расплава в рабочую полость пресс-формы составляет $u_0 \approx 15$ м/с, а средняя продолжительность их заполнения $\tau_0 \approx 0,06$ с.

Скорость впуска расплава в форму для получения конкретной отливки рекомендуется определять по формуле

$$u_{\text{вп}} = K_1 K_2 u_0, \quad (3.5)$$

где $K_1 = 0,75...2,0$ — коэффициент, принимаемое значение которого тем больше, чем меньше толщина отдельных элементов отливки (ребер, микрорельефа надписей на ней и т. д.) и сложнее ее конфигурация; $K_2 = 2,5...1,0$ — коэффициент, учитывающий давление прессования (при давлении прессования свыше 100 МПа $K_2 = 1,0$).

Продолжительность заполнения формы $\tau_{\text{зап}}$ находят, исходя из условий, обеспечивающих соединение отдельных струй расплава в момент окончания заполнения пресс-формы, по формуле

$$\tau_{\text{зап}} = K_3 K_4 \tau_0, \quad (3.6)$$

где $K_3 = 1,1...0,5$ — коэффициент, учитывающий тип заливаемого сплава (уменьшается с повышением температуры плавления и снижением жидкотекучести сплава; $K_3 = 1,0$ для отливок из цинковых сплавов); $K_4 = 0,5...1,5$ — коэффициент, учитывающий толщину стенки отливки (для толщин более 9,0 мм $K_4 = 1,5$).

После подстановки соотношений (3.5) и (3.6) в уравнение (3.3) зависимость для расчета площади поперечного сечения питателя для одного гнезда пресс-формы принимает вид

$$f_{\text{п}} = G/(\rho K_1 K_2 u_0 K_3 K_4 \tau_0). \quad (3.7)$$

Подставив значения средних скорости впуска u_0 и времени τ_0 заполнения пресс-формы в уравнение (3.7), получим

$$f_{\text{п}} = 1,12 G/(\rho K_1 K_2 K_3 K_4). \quad (3.8)$$

Определив скорость впуска по формуле (3.5), из уравнения неразрывности находим скорость перемещения прессующего поршня (скорость прессования):

$$u_{\text{пр}} = u_{\text{вп}} f_{\text{п}} / F_{\text{к.п}}, \quad (3.9)$$

где $F_{\text{к.п}}$ — площадь поперечного сечения камеры прессования.

При определении скорости прессующего поршня для многогнездных форм в формулу (3.9) подставляют суммарное сечение всех питателей.

На практике применяют также другие методы расчета, основанные на использовании опытных данных.

Обычно геометрические размеры питателей устанавливают с учетом конфигурации и толщины стенки отливки в месте подвода расплава и удобства отделения литниковой системы от отливки. Так, при изменении толщины отливок, к которым предъявляются высокие требования к качеству поверхности, от 1,0 до 6,0 мм рекомендуется назначать следующую толщину питателя: для цинковых сплавов 0,6... 1,7 мм; для магниевых сплавов 1,0... 2,5 мм; для алюминиевых сплавов 0,8... 2,0 мм.

Площадь поперечного сечения трапециевидного подводящего канала принимают из соотношения $F_{\text{п.к}} = (1,2... 1,5) f_{\text{п}}$.

Глубину $H_{\text{п.к}}$ и ширину по средней линии $B_{\text{п.к}}$ подводящего канала определяют по эмпирическим формулам

$$H_{\text{п.к}} = 0,77 \sqrt{f_{\text{п}}}; \quad B_{\text{п.к}} = (1,55... 1,95) \sqrt{f_{\text{п}}}.$$

Кромки питателя и подводящего канала, выходящие на плоскость разъема формы, не должны иметь скруглений. Радиусы нижних кромок должны быть не менее 1,0 мм, а их боковые поверхности выполняются с уклоном 5... 15°. Во избежание преждевременного отделения питателей от отливки при ее удалении из пресс-формы рекомендуется под питателями устанавливать толкатели.

Для оценки площади поперечного сечения вентиляционных каналов $f_{\text{в}}$, при условии последовательного заполнения рабочей полости пресс-формы сплошным спокойным потоком можно воспользоваться соотношением, вытекающим из баланса расходов газа и расплава в пресс-форме:

$$f_{\text{в}} \geq u_{\text{вп}} f_{\text{п}} / (v_{\text{зв}} \mu_{\text{в}}),$$

где $v_{\text{зв}} = \sqrt{kRT/M}$ — скорость звука, соответствующая максимальной скорости истечения газов из пресс-формы; k — показатель

адиабаты (процесс без теплообмена); R — универсальная газовая постоянная; T , M — соответственно термодинамическая температура и средняя молярная масса газов в рабочей полости пресс-формы (для обычного процесса $M = 30 \dots 40$ кг/кмоль); μ_b — коэффициент расхода вентиляционного канала (для обычного щелевого канала $\mu_b = 0,1 \dots 0,2$).

Из приведенного соотношения следует, что полнота удаления газов из пресс-формы зависит не только от площади f_b , но и от молярной массы газов в пресс-форме ($M \geq 4,0$ кг/кмоль для гелиевого процесса), от длины вентиляционного канала ($\mu_b \approx 0,5$, если длина не превышает $2 \dots 3$ мм) и других факторов. Уменьшение длины вентиляционного канала на практике достигают использованием его ступенчатой конструкции.

При заполнении пресс-формы дисперсным потоком работа вентиляционной системы практически прекращается сразу после поступления первых порций расплава в рабочую полость пресс-формы. При этом эффективное управление газовым режимом процесса может происходить путем уменьшения количества газообразных продуктов, подлежащих удалению из рабочей полости пресс-формы после начала ее заполнения расплавом.

Для реализации этого пути прежде всего используют традиционные способы изменения технологических параметров процесса, направленные на достижение указанной цели. К таким способам можно отнести, например, увеличение проходного сечения системы вентиляции, оптимизацию скорости пресс-поршня с целью снижения вероятности захвата газов расплавом из камеры прессования. Существенно повлиять на служебные свойства отливок можно, используя смазочные материалы для пресс-форм и камеры прессования с минимальной газотворной способностью и более высокими смазывающими свойствами. Если традиционные способы недостаточны, то можно использовать метод вакуумирования пресс-формы и камеры прессования или кислородный процесс.

Технологические режимы литья. Температуру пресс-формы перед заливкой и температуру заливки сплава назначают с учетом состава сплава, конфигурации отливки, толщины ее стенки и выбранного режима заполнения по рекомендациям, изложенным в подразд. 3.2.

Продолжительность выдержки отливки в пресс-форме до извлечения определяют, пользуясь методами расчета, изложенными в теории формирования отливки [1].

Средства автоматизации околomашинных операций. Как и устройства для управления технологическим процессом, средства автоматизации околomашинных операций выбирают в зависимости от характера производства (опытное, серийное, массовое) в соответствии с рекомендациями, изложенными в подразд. 3.4.

ЛИТЬЕ ПОД РЕГУЛИРУЕМЫМ ДАВЛЕНИЕМ

4.1. Общие сведения

Методы литья под регулируемым низким давлением основаны на использовании для заполнения формы и кристаллизации расплава разницы давления газа, действующего на зеркало расплава в печи установки и в полости литейной формы (регулируемое газовое давление), или давления в металле, создаваемого электромагнитным насосом. По величине скоростей течения металла в форме литье под регулируемым давлением занимает промежуточное место между обычным литьем в кокиль и литьем под давлением. Промышленные способы литья под регулируемым давлением появились после Второй мировой войны, хотя их идея была сформулирована ранее, в частности в работах акад. А. А. Бочвара и проф. А. Г. Спасского.

Общим технологическим признаком этих методов является заполнение формы расплавом посредством выдавливания его снизу вверх из тигля установки через металлопровод под действием перепада газового давления Δp . На рис. 4.1 представлены упрощенные схемы установок для литья под регулируемым газовым давлением.

Если давление газа в полости формы (p_{ϕ}) равно атмосферному (p_a), а заливка формы осуществляется благодаря созданию избыточного давления газа над поверхностью расплава в тигле установки ($p_{\pi} = p_{изб}$), то такой процесс называется литье под низким давлением (рис. 4.1, а), которое равно

$$\Delta p = p_{\pi} - p_{\phi} = p_{изб} - p_a.$$

Термин *низкое давление* используют потому, что для заполнения расплавом формы требуется избыточное давление обычно не более 0,05 МПа.

Положим, что в камерах, где расположены форма и тигель с металлом, создано одинаковое, но более высокое, чем атмосферное, давление воздуха или газа, т.е. $p_{\kappa} = p_{\phi} = p_{\pi}$. Далее подачу воздуха в камеру формы прекращают, а в камеру печи подача продолжается. Тогда за счет разницы давления Δp расплав будет подниматься по металлопроводу (рис. 4.1, б). При этом

$$\Delta p = p_{\pi} - p_{\phi} = p_{изб} - (p_a + \Delta p_{\phi}).$$

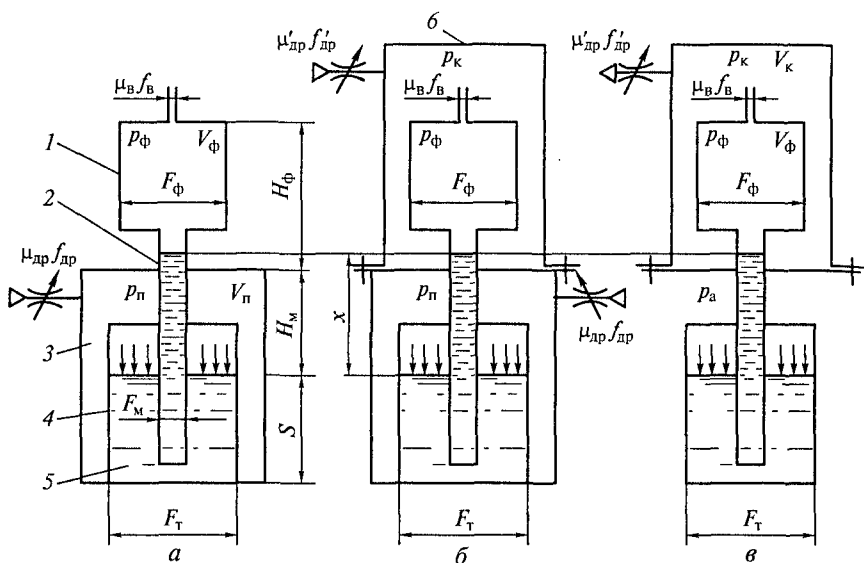


Рис. 4.1. Схемы установок для литья под регулируемым давлением:

a — под низким давлением; *б* — с противодавлением; *в* — с вакуумным всасыванием; 1 — литейная форма; 2 — металлопровод; 3 — герметичная печь установки; 4 — тигель с расплавом; 5 — расплав; 6 — камера, герметизирующая форму; μ_v , $\mu_{др}$, $\mu'_{др}$ — коэффициенты расхода соответственно вентиляционной системы формы, дросселя камеры печи, дросселя камеры формы; f_v , $f_{др}$, $f'_{др}$ — площади сечения вентиляционной системы формы, дросселя печи, дросселя камеры формы; p_a — атмосферное давление; p_ϕ , V_ϕ , $p_п$, $V_п$, $p_к$, $V_к$ — соответственно давление и объем формы, свободного пространства печи, камеры для размещения формы; F_ϕ , $F_м$, $F_т$ — площади поперечного сечения рабочего пространства соответственно формы, металлопровода и зеркала металла в тигле; S — высота металла в тигле; $H_м$ — незаполненная металлом к началу процесса высота металлопровода; H_ϕ — высота напора в форме; x — уровень металла

Аналогичного результата можно достичь, если на втором этапе понижать давление в камере формы, оставляя постоянным давление в камере печи. Такие процессы называются литьем под низким давлением с противодавлением или сокращенно литьем с противодавлением.

Если в герметичной камере *б* с формой создавать вакуум, а над металлом в тигле сохранять атмосферное давление, то за счет перепада давления ($\Delta p = p_a + p_\phi$) начнется заполнение формы. Такой способ литья называют литьем вакуумным всасыванием (рис. 4.1, *в*).

Очевидно, заполнение форм в рассматриваемых способах подчинено действию одних и тех же законов пневматики и гидравлики. Анализ этих процессов показывает, что при определенных режимах наблюдается ярко выраженное колебание скорости запол-

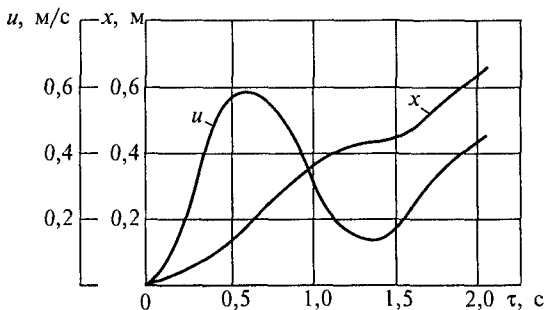


Рис. 4.2. Изменение уровня металла x и скорости заполнения u формы при литье панели под низким давлением

нения расплавом литейной формы. В качестве примера на рис. 4.2 показаны изменения уровня металла (x) и скорости течения металла в форме (u) при заполнении панели размером $350 \times 550 \times 5$ мм сплавом АЛ4 на установке литья под низким давлением.

Для уменьшения отрицательного эффекта пульсации скорости заполнения металлом формы применяют следующее:

- используют первый период колебательного процесса в случае небольших невысоких отливок с малым временем заполнения формы;

- уменьшают амплитуду колебательного процесса в случае высоких и металлоемких отливок путем правильного выбора конструктивных параметров установки и технологических параметров процесса.

В целом, к снижению пульсации скорости заполнения приводят увеличение свободного пространства печи, или отношения $V_{п}/V_{ф}$, отношения $F_{т}/F_{ф}$, площади сечения дросселя $f_{др}$, повышения давления воздуха или газа в ресивере (магистралах). Для литья вакуумным всасыванием большое значение имеют параметр $\omega = \mu_{в} f_{в}/(\mu_{др} f_{др})$ и отношение $V_{к}/V_{ф}$.

Для всех этих способов характерны следующие общие черты:

- 1) для подъема расплава из тигля установки до верхней точки полости формы на высоту $H_{м} + H_{ф}$, т. е. для ее заполнения, необходимо приложить к расплаву в тигле избыточное относительно формы давление $p_{зал} = \rho g(H_{м} + H_{ф} + \Delta H) + \Delta p_{пот}$ (где ΔH — понижение уровня расплава в тигле при заполнении формы; $\Delta p_{пот}$ — гидравлические потери в системе);

- 2) скорость подъема расплава можно регулировать, изменяя скорость нарастания давления $p_{зал}$; при большой скорости нарастания давления $p_{зал}$ скорость подъема расплава может стать настолько большой, что расплав будет фонтанировать из металлопровода, тогда как при оптимальной скорости подъема расплав быстро, но плавно заполняет полость формы;

3) скорость нарастания давления в установке зависит от того, как быстро будет изменяться проходное сечение отверстия в регуляторе, через которое газ подается в камеру установки или отсасывается из нее, от величины давления подаваемого газа, от соотношения геометрических размеров системы в целом, от свободных объемов камер б и 3 (см. рис. 4.1, б), объема формы, а также степени прогрева газа, подаваемого в камеру установки, и т.д.;

4) в связи с неустановившимся движением расплава в металлопроводе и полости формы характер и скорость его движения зависят от скорости нарастания давления, геометрических характеристик системы — размеров тигля, площади его зеркала, диаметра и длины металлопровода, размеров полости формы и т.д., а также от гидравлических сопротивлений ее звеньев — металлопровода, полости самой формы, литниковой системы.

Таким образом, *установки литья под регулируемым давлением — сложные динамические системы, позволяющие регулировать скорость заполнения формы расплавом.* Посредством таких установок можно заполнять формы тонкостенных отливок, изменять продолжительность заполнения отдельных участков формы отливок сложной конфигурации с переменной толщиной стенки с целью управления процессом теплообмена расплава и формы, добиваясь рациональной последовательности затвердевания отдельных частей отливки.

Приложение дополнительного давления на затвердевающий в форме расплав обеспечивает улучшение условий питания отливки и, как результат, ее качества — механических свойств и герметичности. Положительное влияние давления газов на процесс формирования отливки и возможность повышения качества литого металла отмечал еще Д. К. Чернов [1].

В рассматриваемых процессах после заполнения формы давление действует на расплав, который из тигля через металлопровод поступает в затвердевающую отливку и питает ее. Благодаря этому усадочная пористость в таких отливках уменьшается, плотность и механические свойства возрастают.

Способы литья под регулируемым давлением создают возможность уменьшения газовой и газоусадочной пористости в отливках. Например, в способе заполнения формы по схеме, показанной на рис. 4.1, в, реализуется возможность после заполнения форм перекрыть металлопровод в верхнем сечении специальным затвором, а затем создать в камере установки давление, существенно большее атмосферного. При этом отливка будет затвердевать в условиях всестороннего газового давления. Внешнее всестороннее давление уменьшает выделение газов из расплава при кристаллизации отливки и препятствует зарождению и росту газовых пузырьков в массе расплава и на примесях. За счет действия всестороннего давления газа объем отливки уменьшается на некоторую

малую величину по ее внешним контурам, а поскольку масса расплава в форме остается прежней, то питание отливки становится более интенсивным, объем усадочных пор в ней уменьшается.

Используя ту же схему установки (см. рис. 4.1, б) возможно в начале процесса создать в камерах б и З вакуум и осуществить дегазацию расплава, а затем, понизив давление в камере б, заполнить форму в условиях вакуумного всасывания. Дегазация расплава приводит к понижению содержания растворенных в расплаве газов и уменьшению пористости отливок. Возможен и другой ход процесса: после дегазации расплава и заполнения формы вакуумным всасыванием перекрыть затвором металлопровод в верхнем сечении и создать в камере б избыточное давление, осуществляя кристаллизацию отливки в условиях всестороннего газового давления. Такой способ литья, разработанный Н. Н. Белоусовым, получил название вакуумно-компрессионное литье. Применение этого способа литья обеспечивает возможность резко уменьшить газоусадочную пористость в отливках, повысить их герметичность и механические свойства.

Литье под регулируемым давлением осуществляется на специальных установках, в которых процесс заполнения формы расплавом выполняется автоматически. Конструкции установок и машин для этих литейных процессов часто предусматривают и автоматизацию операций сборки и раскрытия форм, выталкивания отливки и ее удаления из формы. Таким образом, процессы литья под регулируемым давлением обеспечивают наряду с высоким качеством отливок возможность автоматизации их производства.

В практике наибольшее применение нашли следующие процессы литья под регулируемым давлением: литье под низким давлением; литье под низким давлением с противодавлением; литье вакуумным всасыванием; литье вакуумным всасыванием с кристаллизацией под давлением, т. е. вакуумно-компрессионное литье.

4.2. Литье под низким давлением

Установки для литья под низким давлением обычно состоят из механизмов сборки и разборки форм, отделения отливок от формы и стержней (по существу элементы кокильной машины), агрегата заливки (печи-металлораздатчика), гидравлической, пневматической и электрической систем управления. Многочисленные конструкции разработанных универсальных и специализированных установок различаются: размерами рабочей зоны для размещения формы, числом подвижных элементов для сборки и разборки формы, типами печей-металлораздатчиков, компоновочной схемой, реализующей варианты обслуживания отдельных агрегатов установки, степенью автоматизации вспомогательных операций.

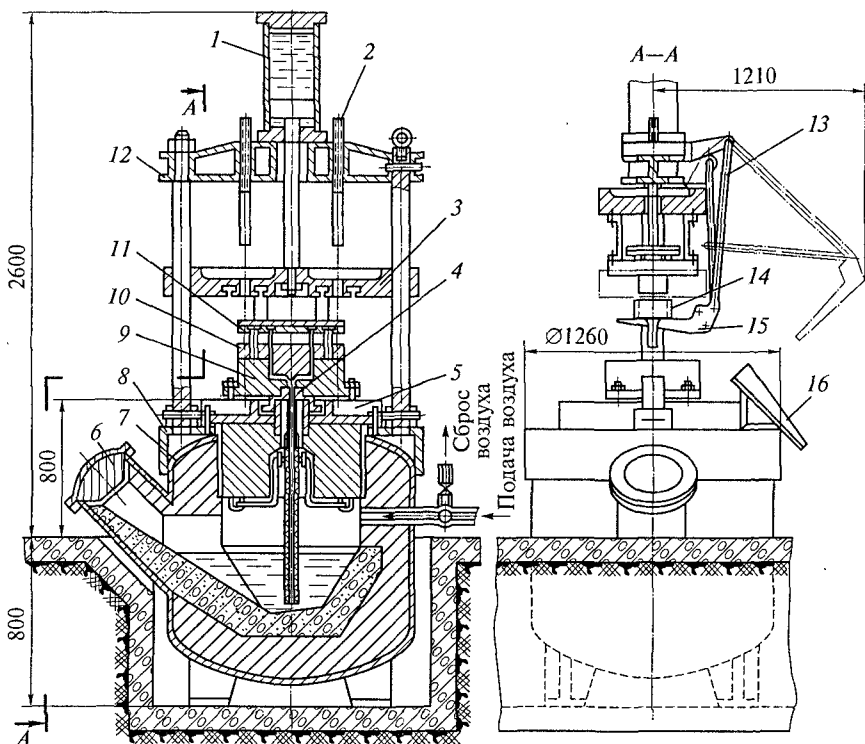


Рис. 4.3. Установка литья под низким давлением для получения отливок из алюминиевых сплавов:

1 — гидроцилиндр; 2 — штанги для движения плиты толкателей; 3 — подвижная траверса; 4 — металлопровод; 5 — плита; 6 — крышка заливочного окна; 7 — металлораздатчик; 8 — рама печи; 9 — нижняя половина формы; 10 — верхняя половина формы; 11 — плита толкателей; 12 — неподвижная траверса; 13 — рычажный механизм; 14 — отливка; 15 — приемный лоток; 16 — склиз

На рис. 4.3 показана одна из установок литья под низким давлением для получения отливок из алюминиевых сплавов в металлических формах с горизонтальной плоскостью разреза. Металлораздатчик 7 установки — герметизированная электропечь сопротивления ванного типа с заливочной горловиной, закрываемой футерованной крышкой 6 на поролоновой прокладке. На раме 8 печи расположена плита 5 с металлопроводом 4 из жаростойкого материала. К нижней стороне этой плиты на болтах подвешен свод печи с нагревателями, а на верхней плоскости закреплена нижняя неподвижная половина формы 9. Верхняя половина формы 10 крепится в пазах подвижной траверсы 3. На неподвижной траверсе 12 размещен гидроцилиндр 1, предназначенный для перемещения верхней половины формы. Регулируемые по высоте штанги 2 слу-

жат для выталкивания отливки плитой 11 толкателей из верхней половины формы. Отливка 14 удаляется из рабочего пространства установки вспомогательным устройством, состоящим из приемного лотка 15, перемещаемого рычажным механизмом 13. При раскрытой форме лоток 15 находится под отливкой, при закрытой — отходит в сторону, сбрасывая отливку на склиз 16. Металлопровод 4 погружают в расплав таким образом, чтобы его конец не доходил до дна тигля на 40...60 мм. Полость в отливке может быть выполнена металлическим, оболочковым или песчаным стержнем.

Воздух или инертный газ под давлением до 0,05 МПа через систему регулирования поступает по трубопроводу внутрь камеры установки и давит на зеркало расплава. Вследствие разности давления в камере установки и атмосферного давления расплав поступает в форму снизу через металлопровод 4 со скоростью, регулируемой давлением в камере установки. По окончании заполнения формы давление в системе можно увеличивать до конца затвердевания отливки, после чего автоматически открывается клапан, соединяющий камеру установки с атмосферой. Давление воздуха в камере снижается до атмосферного и незатвердевший расплав из металлопровода сливается в тигель. После охлаждения отливки до заданной температуры форма раскрывается, отливка выталкивается и цикл повторяется.

Литье под низким давлением применяется и самостоятельно, и как дополнение к другим способам литья в качестве эффективного метода автоматического заполнения формы жидким металлом. В последнем случае удобство способа связано с отсутствием необходимости герметизации формы. Его используют для получения отливок в песчаные, металлические и графитовые формы. В последнее время появились варианты заливки под низким давлением алюминиевых сплавов на автоматических линиях формовки безопочных форм типа Disamatic и др. Самостоятельно способ литья под низким давлением используют чаще для литья в кокили или в кокили с песчаными оболочковыми стержнями, так как процесс сборки кокиля легче автоматизировать.

Способ литья под низким давлением характеризуется следующими основными преимуществами, определяющими области его распространения и конструктивные особенности установок:

- управление гидродинамическими параметрами течения металла позволяет заполнить форму с минимальными потерями теплоты, что особенно важно для сложных тонкостенных крупногабаритных отливок. Заполняемость форм возрастает в 1,3—1,5 раза;

- при подводе металла в наиболее массивные части отливок питание их в процессе кристаллизации осуществляется через металлопровод, что позволяет упростить конструкцию литниковопитающей системы, сократить расход жидкого металла на нее, так как часто отсутствует необходимость устанавливать прибыли;

- избыточное давление в сплаве после заполнения формы улучшает условия питания кристаллизующихся слоев как в тонких, так и в массивных сечениях отливки, увеличивает скорость затвердевания металла благодаря интенсификации теплообмена его с формой. Это способствует повышению плотности, измельчению структуры металла отливок. Прочность металла может возрасти на 15...25%, пластичность в 1,5—2 раза;

- подача металла в форму снизу обеспечивает ее плавное заполнение, уменьшение развития эффектов разбрызгивания и перемешивания металла, способствующих его окислению и захвату воздуха;

- уменьшается возможность окисления металла в печи и исключается вероятность попадания в форму шлака и флюса с зеркала расплава, так как металл поступает в форму с глубинных слоев ванны печи;

- полностью решена проблема автоматизации процесса заливки литейной формы жидким металлом;

- низкие в сравнении с литьем под давлением скорости течения металла при заполнении формы позволяют использовать как металлические, так и разовые элементы формы из других менее прочных материалов, что накладывает меньше ограничений на конструктивное оформление отливок;

- повышенная скорость затвердевания и охлаждения отливок сокращает в 1,5 раза время выдержки отливки в металлической форме по сравнению с литьем в кокиль, что увеличивает производительность установок.

Наряду с указанными преимуществами способ литья под низким давлением имеет недостатки, в числе которых: невысокая стойкость части металлопровода, постоянно погруженной в расплав (это затрудняет использование способа для таких сплавов с высокой температурой плавления, как чугун и сталь); сложность регулирования скорости потока расплава в форме, вызванная скоростью операции и динамическими процессами, происходящими в установке при заполнении ее камеры воздухом; возможность изменения свойств сплава при длительной выдержке его в печи установки.

Преимущества и недостатки способа определяют рациональную область его применения. Основную долю продукции литья под низким давлением составляют отливки из алюминиевых сплавов. Реже этим способом изготавливают отливки из медных сплавов, стали, чугуна, в том числе высокопрочного с толщиной стенки до 3 мм (в песчаную форму). Минимальная толщина стенок отливок из алюминиевых сплавов, полученных этим способом, равна 1,5 мм, средняя толщина для крупных отливок — 3...6 мм. Для медных сплавов минимальная толщина стенок отливок — 3 мм. Характерную номенклатуру отливок, полученных литьем под низким давлением, составляют:

- отливки, к которым предъявляются повышенные требования по плотности, герметичности и прочности (рабочие колеса и другие детали гидравлических устройств, корпусные детали лодочных моторов, диски автомобильных колес, другие силовые детали);

- протяженные тонкостенные отливки, для которых при гравитационной заливке трудно обеспечить заполнение формы (оболочковые и корпусные отливки, роторы электродвигателей, выпускные коллекторы и др.);

- разностенные отливки с одним или несколькими тепловыми узлами, питание которых может быть обеспечено одним или несколькими металлопроводами (блоки и крышки цилиндров, картер маховика и др.).

В крупносерийном и массовом производстве часть отливок производят на специализированных установках для изготовления одной или однотипных деталей. При этом динамические характеристики системы изменяются незначительно, и процесс литья становится более устойчивым.

Особенности формирования отливки при литье под низким давлением. Заполнение форм расплавом при этом способе литья может осуществляться со скоростями потока, которые можно регулировать. Для получения качественных отливок предпочтительно заполнять форму сплошным потоком при скоростях, обеспечивающих последовательное заполнение формы, исключающее захват воздуха расплавом, образование в отливках газовых раковин, попадание в них оксидных плен и неметаллических включений (см. подразд. 3.3). Однако неизбежное при этом уменьшение скорости потока, необходимое для сохранения его сплошности, сопряжено с возможностью преждевременного охлаждения и затвердевания расплава, т.е. с процессами, недопустимыми в период до полного заполнения формы. Поэтому, как и в других литейных процессах, при литье под низким давлением *важно согласование гидравлических и тепловых режимов заполнения формы расплавом.*

Известно, что при литье алюминиевых сплавов нарушений сплошности потока в полость формы не происходит, если критерий Рейнольдса $Re = 4uR_r/\nu < 2300$ (см. подразд. 2.3) (здесь u — скорость потока, м/с; R_r — гидравлический радиус полости формы, м; ν — кинематическая вязкость жидкости, м²/с). В простейшем случае полость формы — плоская щель толщиной l_0 и достаточно большой ширины, для которой гидравлический радиус $R_r = F/\Pi$ (где F — площадь сечения потока в плоскости, перпендикулярной вектору скорости; Π — периметр сечения). Для данного случая плоской щели $R_r = 0,5l_0$, т.е. гидравлический радиус равен половине толщины стенки отливки. Полагая, что отливка изготовляется из алюминиевого сплава ($\nu = 0,2 \cdot 10^{-6}$ м²/с), построим зависимость $u = f(l_0)$ при $Re = 2300$. Результаты расчета приведены

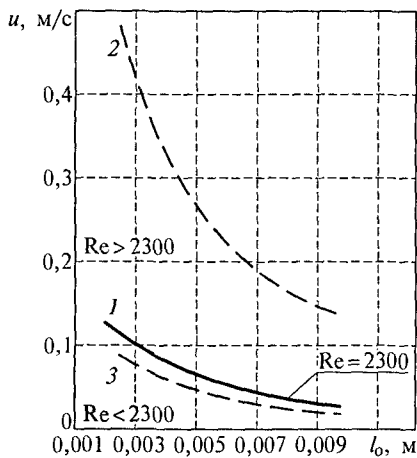


Рис. 4.4. Зависимость скорости подъема металла в форме u от толщины стенки отливки l_0 :

1 — для $Re = 2300$; 2 — при $Z = 0,3$ м; $\varepsilon = 0,0002$ м; 3 — при $Z = 0,3$ м; $\varepsilon = 0,0004$ м

на рис. 4.4, на котором область над кривой 1 соответствует турбулентному режиму движения расплава, а под кривой 1 — ламинарному.

Связь между скоростью потока u в металлической форме (кокиле), расстоянием Z , которое проходит расплав, пока температура его поверхности не станет равной температуре кристаллизации, теплоемкостью c'_l расплава, его плотностью ρ , коэффициентами теплообмена β между движущимся потоком расплава и стенкой формы, температурой формы T_ϕ , температурой кристаллизации $T_{кр}$ сплава, температурой его заливки $T_{зал}$ и толщиной l_0 стенки отливки выражается зависимостью [15]

$$Z = (c'_l \rho X u / \beta) \ln[(T_{зал} - T_\phi) / (T_{кр} - T_\phi)], \quad (4.1)$$

где $X = l_0 / 2$.

Положим далее, что отливка высотой $Z = 0,3$ м изготовлена из алюминиевого сплава, для которого

$c'_l = 1,254 \cdot 10^3$ Дж/(кг · К), $\rho = 2500$ кг/м³, $T_{зал} = 923$ К, $T_\phi = 473$ К,

$$T_{кр} = (T_L + T_S) / 2, \quad T_L = 828 \text{ К}, \quad T_S = 793 \text{ К}, \quad T_{кр} = 863 \text{ К}.$$

Кокиль покрыт огнеупорной краской толщиной $\varepsilon = 0,0002$ м при теплопроводности $\lambda_{кр} = 0,3$ Вт/(м · К). Тогда $\beta = \lambda_{кр} / \varepsilon = 1500$ Вт/(м² · К). Используя приведенные выше данные, можно рассчитать зависимость $u = f(l_0)$ (из уравнения (4.1)). На рис. 4.4 результаты расчета приведены в виде кривой 2, которая располагается выше кривой 1. Это означает, что скорости потока, необходимые для того, чтобы расплав заполнил форму без образования на ее поверхности твердых корочек, при данных тепловых параметрах процесса находятся в области турбулентного режима. Для перехода в область ламинарного движения необходимо снизить скорость потока расплава, однако при этом возникает опасность чрезмерного охлаждения потока. Тогда необходимо в допустимых пределах поднять температуру формы T_ϕ , температуру заливки $T_{зал}$ расплава и изменить условия теплообмена, увеличив, например, толщину слоя огнеупорного покрытия. Кривая 3 на рис. 4.4 — это результаты

расчета зависимости $u = f(l_0)$ при $\varepsilon = 0,001$ м, $T_{\text{зал}} = 973$ К, $T_{\text{ф}} = 523$ К. Видно, что данная кривая раскладывается в области laminarного движения расплава, когда создаются лучшие условия для удаления газов и воздуха из полости формы. Это способствует более плавному заполнению формы и исключает замешивание оксидных плен в расплав.

Для случая применения метода литья под низким давлением для заполнения песчаных форм согласовать гидравлические и тепловые режимы течения потока расплава в форме можно с помощью уравнения

$$Z = \{[c' \rho l_0 \sqrt{u} / (1,13b_2)] [\ln(T_{\text{зал}} - T_{\text{ф}}) / (T_{\text{кр}} - T_{\text{ф}})]\}^2,$$

где b_2 — коэффициент тепловой аккумуляции формы.

Из приведенного примера следует, что для согласования тепловых и гидравлических режимов процесса заполнения формы вполне достаточно использования общих положений теории формирования отливки. Гораздо сложнее обеспечить движение расплава в форме с необходимой технологической скоростью, особенно при получении отливок с переменной толщиной стенок по высоте. Установка литья под низким давлением, включающая тигель с расплавом, камеру, металлопровод, форму для фасонной отливки с литниковой и вентиляционной системами, трубопроводы для подачи воздуха и приборы регулирования подачи воздуха (вентили, клапаны, дроссели, регуляторы), в процессе работы представляет собой *сложную динамическую систему*. Изменение каждого из параметров этой системы влияет на скорость движения расплава в форме. В течение одного рабочего цикла установки понижается уровень расплава в тигле, что вызывает увеличение объема рабочего пространства камеры и уменьшение массы и глубины расплава в тигле. Изменяются также давление воздуха в камере установки, его температура и другие параметры системы. В ходе производства отливок, от цикла к циклу работы установки уменьшаются масса расплава в тигле и его уровень, что также изменяет скорость движения расплава в форме.

Математическое описание поведения такой системы включает в себя уравнение движения расплава переменной массы при заполнении формы, термодинамические уравнения, характеризующие изменение состояния газа переменной массы, входящего в установку, с учетом его прогрева.

Предложены различные математические модели данной системы. Наиболее важные практические выводы, вытекающие из результатов теоретических и экспериментальных исследований, сводятся к следующему.

1. В зависимости от сочетания конструктивных и пневматических параметров установки движение расплава в металлопроводе и литейной форме при заполнении может происходить *как при по-*

стоянной или монотонно изменяющейся скорости потока, так и при колебательном ее изменении. Колебательный характер изменения скорости отрицательно влияет на качество отливок, поэтому конструкция установки и режимы работы ее пневмосистемы, а также конструкция вентиляционной системы формы должны способствовать гашению колебаний скорости. Основными конструктивными параметрами установки литья под низким давлением являются: объем свободного рабочего пространства камеры печи ($V_{\text{п}}$), площадь поперечного сечения металлопровода ($F_{\text{м}}$), площадь зеркала расплава в тигле ($F_{\text{т}}$) (см. рис. 4.1, а).

2. Увеличение объема рабочего пространства камеры печи усиливает скорость потока, способствует гашению колебаний, но полностью их не исключает.

3. Уменьшение площади поперечного сечения $F_{\text{м}}$ металлопровода в установках с объемом рабочего пространства менее $0,07 \text{ м}^3$ приводит к резкому гашению колебаний и увеличению скорости течения расплава. В установках с объемом рабочего пространства более $0,4 \text{ м}^3$ увеличение площади сечения металлопровода не влияет на характер движения потока и скорость расплава на входе в форму. Это объясняется совместным влиянием размеров металлопровода и конструктивных параметров установки: соотношения площади $F_{\text{м}}$ сечения металлопровода и объема $V_{\text{п}}$ рабочего пространства на скорость нарастания давления в камере установки. Если изменение скорости нарастания давления при заливке не превышает 5%, то колебания расплава при его движении не возникают.

4. Увеличение площади зеркала расплава в тигле ($F_{\text{т}}$) при условии постоянства массы расплава в нем способствует спокойному заполнению. Поэтому установки с тиглем ванного типа, в которых зеркало расплава достаточно велико, более предпочтительны, так как обеспечивают устойчивый режим работы.

5. Увеличение гидравлического сопротивления в металлопроводе приводит к снижению ускорения расплава в начале заполнения и гасит возникающие колебания. При этом общая продолжительность заполнения и средняя скорость течения расплава остаются практически неизменными.

6. Обеспечение постоянства заданной скорости от заливки к заливке, т. е. по мере понижения уровня расплава в тигле, должно обеспечиваться системой управления подачей воздуха в камеру установки. Наиболее удовлетворительные результаты получены при использовании систем с регулированием скорости нарастания давления в камере установки. Системы регулирования по величине давления целесообразно использовать только в установках ванного типа. При этом точность регулирования должна быть в пределах $0,01 \dots 0,02 \text{ МПа}$, что обеспечивает поддержание скорости заливки с погрешностью $10 \dots 15 \%$. Для установок ванного типа и

установок с уравновешенным тиглем используют дроссельные системы регулирования подачи воздуха.

7. При заполнении форм сложных отливок с ребрами, бобышками создаются условия для захвата воздуха потоком расплава, затягивания оксидных плен с поверхности внутрь отливки. Существенное влияние на характер движения потока оказывает гидравлическое сопротивление полости формы. Конструкция вентиляционной системы также влияет на характер движения потока расплава как в полости формы, так и в металлопроводе. Уменьшение площади поперечного сечения вентиляционных каналов приводит к возрастанию противодавления воздуха в полости формы, способствует гашению колебаний и снижает скорость потока расплава.

Площадь щелевых вентиляционных каналов f_b для удаления воздуха из полости формы может быть найдена по эмпирической формуле, предложенной В. Н. Майоровым,

$$f_b \geq (1,7 \dots 2,4) F_{\text{отл}} u \sqrt{t_b}, \quad (4.2)$$

где $F_{\text{отл}}$ — площадь сечения отливки в направлении, перпендикулярном к потоку расплава, м^2 ; u — скорость расплава, м/с ; t_b — начальная температура воздуха в полости формы, $t_b \cong t_{\text{ф}}$, $^{\circ}\text{C}$.

Тепловые условия формирования отливки. При литье под низким давлением тепловые условия формирования отливки создают возможность направленного затвердевания отливки и питания ее усадкой. Части формы, расположенные на верхней плите рабочей камеры установки (см. рис. 4.3), нагреваются до температуры, большей, чем верхняя ее часть. Кроме того, через нижние сечения полости формы, расположенные ближе к металлопроводу, проходит большее количество расплава, чем через сечения, расположенные в верхней части, что существенно увеличивает разницу температур в нижней и верхней частях отливки. Поэтому массивные части отливки, требующие питания, располагают внизу формы, соединяют их массивными питателями с металлопроводом; сверху же формы располагают не требующие питания тонкие части отливки.

Статическое давление на расплав. По окончании заполнения формы за счет статического давления улучшается контакт затвердевающей корочки и поверхности формы, вследствие чего увеличивается скорость затвердевания отливки. Давление воздуха на расплав в тигле способствует постоянной подпитке затвердевающей отливки, благодаря чему уменьшается усадочная пористость, возрастает плотность и повышаются механические свойства отливки.

Однако избыточное давление в потоке расплава при заполнении формы в данном способе больше, чем при гравитационной заливке, и гидравлический удар в момент окончания заполнения формы может привести к прониканию расплава в поры песчаного стержня, появлению механического пригара на отливках.

Тепловые и гидравлические режимы зависят от химического состава сплава и конструкции отливки. При литье под низким давлением технологи стремятся обеспечить процесс заполнения формы расплавом с возможно меньшим перегревом, достаточным, однако, для хорошего заполнения формы. В случаях уменьшения толщины стенки отливки и увеличения ее размеров принимают большей температуру заливки. Температуру кокиля назначают также с учетом свойств сплава, толщины стенки и размеров отливки, руководствуясь правилами, известными из практики кокильного литья.

Литниковые системы конструируют с учетом литейных свойств сплава и конструкции отливки. Для отливок простой конфигурации литниковая система может состоять из одного элемента, непосредственно примыкающего к массивной части. Для более сложных тонкостенных отливок литниковая система состоит из литниковых ходов, коллектора и питателей.

Регулирование газового давления. При литье под низким давлением скорость движения расплава в каналах литниковой системы и полости формы регулируют давлением на расплав в камере установки. Требуемые режимы изменения давления в металлораздатчике связаны с особенностями конкретного используемого метода и номенклатуры изготавливаемых отливок.

Наиболее простой режим для отливок с площадью постоянного поперечного сечения по высоте в общем виде показан на рис. 4.5 и состоит из нескольких стадий, в числе которых следующие.

1. Повышение избыточного давления воздуха в печи до максимально необходимого перепада давлений для заполнения формы $\Delta p_{\text{зал}} = p_{\text{п}} - p_{\text{ф}}$ при постоянном сечении впускного отверстия дросселя. В этих условиях давление в печи изменяется по экспоненте с затухающей скоростью в конце процесса (рис. 4.5, а).

Скорость течения металла в форме зависит от скорости нарастания давления в металлораздатчике и соотношения площадей поперечного сечения отливки на различных участках металлопровода и зеркала металла в печи. При постоянной площади поперечного сечения отливки по высоте скорость металла в форме также будет уменьшаться к концу заполнения формы, снижая отрицательные последствия сильного гидравлического удара в конечный момент.

2. Некоторая выдержка ($\tau_{\text{зал}}$) по достижении в системе $\Delta p_{\text{зал}}$, необходимость которой связана с тем, что заполнение формы сплавом происходит с запаздыванием (рис. 4.5, б) из-за инерционности системы. Кроме того, после заполнения формы перед повышением давления небольшая выдержка целесообразна для начала формирования корочки металла на поверхности формы, чтобы избежать появления пригара на отливке при использовании песчаных элементов формы.

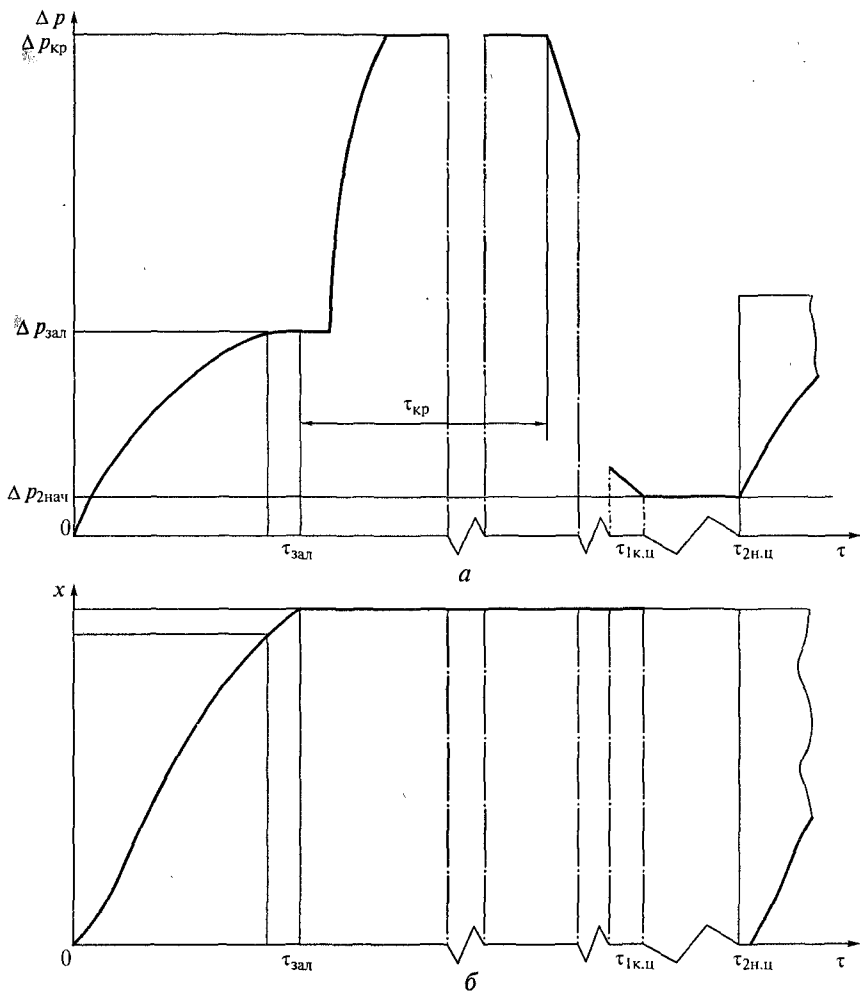


Рис. 4.5. Режимы изменения параметров при литье под низким давлением: *a* — изменение избыточного давления Δp в цикле; *б* — изменение высоты подъема расплава x ; параметры $\Delta p_{кр}$, $\Delta p_{зал}$, $\Delta p_{2нач}$, $\tau_{кр}$, $\tau_{зал}$, $\tau_{1к.п}$, $\tau_{2н.п}$ пояснены в тексте

3. Быстрое повышение избыточного газового давления до перепада $\Delta p_{кр}$ (см. рис. 4.5, *a*) для периода затвердевания отливки ($\tau_{кр}$).

4. Выдержка при этом давлении длительностью, достаточной для затвердевания отливки.

5. Уменьшение давления для удаления жидкого металла из верхней части металлопровода. Чтобы исключить сильное колебание и перемешивание расплава в тигле, обеспечить идентичность условий заливки следующей отливки, избыточное давление сбрасывают плавно (со скоростью около 0,01 МПа/с) и не до конца, а до

значения $\Delta p_{2\text{нач}}$, необходимого для поддержания уровня металла в металлопроводе такого же, как в начале первого цикла. После удаления отливки, охладившейся до температуры, обеспечивающей манипуляторную прочность, и подготовки формы с избыточного давления $\Delta p_{2\text{нач}}$ начинается новый цикл (на рис. 4.5 $\tau_{1\text{к.ц}}$ и $\tau_{2\text{н.ц}}$ — соответственно конец 1-го и начало 2-го циклов).

Таким образом, $\Delta p_{\text{нач}}$ от цикла к циклу повышается, обеспечивая постоянство начальных условий. Если масса отливки мала и опускание уровня металла в печи за один цикл несущественно (достигнутая точность регулирования уровня металла в металлопроводе ± 10 мм), то учет данного явления выполняется с интервалом в несколько циклов.

Рассмотренный режим пригоден для получения многих мелких и средних простых отливок, когда заполнение форм продолжается в течение нескольких секунд и из-за инерционности системы регулирование давления неэффективно.

Для крупных разностенных высоких отливок целесообразен более сложный режим, в котором предусмотрено регулирование изменения скорости повышения давления в печи на первой стадии в соответствии с рациональной скоростью u течения металла в форме на разных участках по ее высоте. Принципы определения рациональной скорости течения металла в форме, согласования гидравлических и тепловых параметров литья изложены ранее в подразд. «Особенности формирования отливки при литье под низким давлением» (см. с. 251).

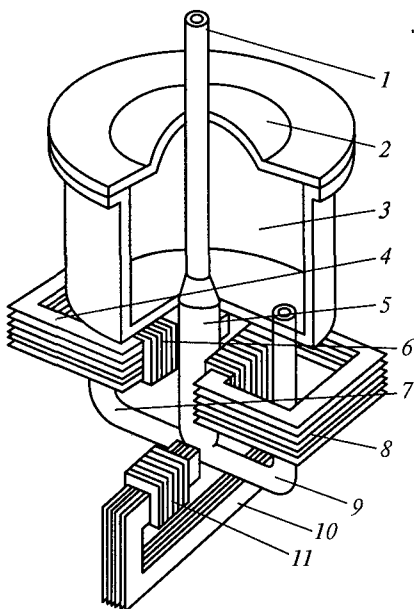
Для целесообразной номенклатуры отливок массового и крупносерийного производства во многих случаях достаточно использование металлической формы с одной горизонтальной плоскостью разъема и одной подвижной частью кокиля. Однако существуют установки с возможностями по сборке и разборке форм, сопоставимыми по сложности с кокильными машинами (см., например, рис. 2.4). Исключено при этом лишь применение подвижных стержней снизу и сложности возникают с размещением системы выталкивания отливок в нижней половине кокиля.

Типовое оборудование для литья под низким давлением, разработанное АО «НИИТавтопром», включает в себя универсальные установки с максимальными размерами пространства для размещения форм от $400 \times 320 \times 250$ до $1600 \times 1250 \times 1000$ мм. Существуют специализированные установки и комплексы для литья поршней, головок блока цилиндров из алюминиевых сплавов и др.

Магнитодинамический способ подачи металла в форму. Процесс, похожий на литье под низким давлением, осуществляют, используя магнитодинамический принцип подачи расплава в форму. Этот способ литья разработан в Институте проблем литья Украины. По одному из вариантов магнитодинамического насоса расплав из тигля 3 (рис. 4.6) попадает в металлопровод 1 (центральный ка-

Рис. 4.6. Схема магнитодинамического насоса:

1 — металлопровод; 2 — крышка печи; 3 — тигель с расплавом; 4, 8 — индукторы; 5 — центральный канал; 6 — обмотка индуктора; 7, 9 — боковые каналы; 10 — электромагнит; 11 — обмотки электромагнита



нал) через два боковых вертикальных 7 и 9 канала, а также через горизонтальные каналы. Участок соединения каналов расположен в межполюсном зазоре электромагнита 10. При включении обмоток индукторов в сеть переменного тока в металле возникает электрический ток, который, взаимодействуя с внешним магнитным потоком, создает давление, действующее на расплав.

При наличии двух индукторов раздельное управление электромагнитными системами обеспечивает различные функциональные возможности такой установки.

1. Режим насоса — при синфазном включении индукторов и электромагнита металл из печи по боковым каналам поступает в центральный канал — магнитопровод под некоторым давлением, величина которого определяется электрическими параметрами индукторов и электромагнита.

2. Режим стопора — при реверсивном включении электромагнита направление движения металла изменяется на обратное. Выбором режимов работы индукторов и электромагнита можно поддерживать необходимый уровень металла в металлопроводе.

3. Режим хранения — при противофазном включении индукторов через металл в каналах протекает удвоенный ток, а металл циркулирует в ванне печи, поступая через один боковой канал и вытекая через другой. Выбором режима работы индукторов можно поддерживать необходимую температуру металла в печи.

Общим этого процесса с литьем под низким давлением являются величины скоростей течения металла в форме и сходная методика определения гидравлических и тепловых параметров литья. Однако в отличие от установок с газовым давлением при этом способе не требуется герметизация металлораздатчика, что позволяет доливать металл в металлораздатчик без остановки процесса литья. К дополнительным преимуществам магнитодинамического процесса относятся следующие:

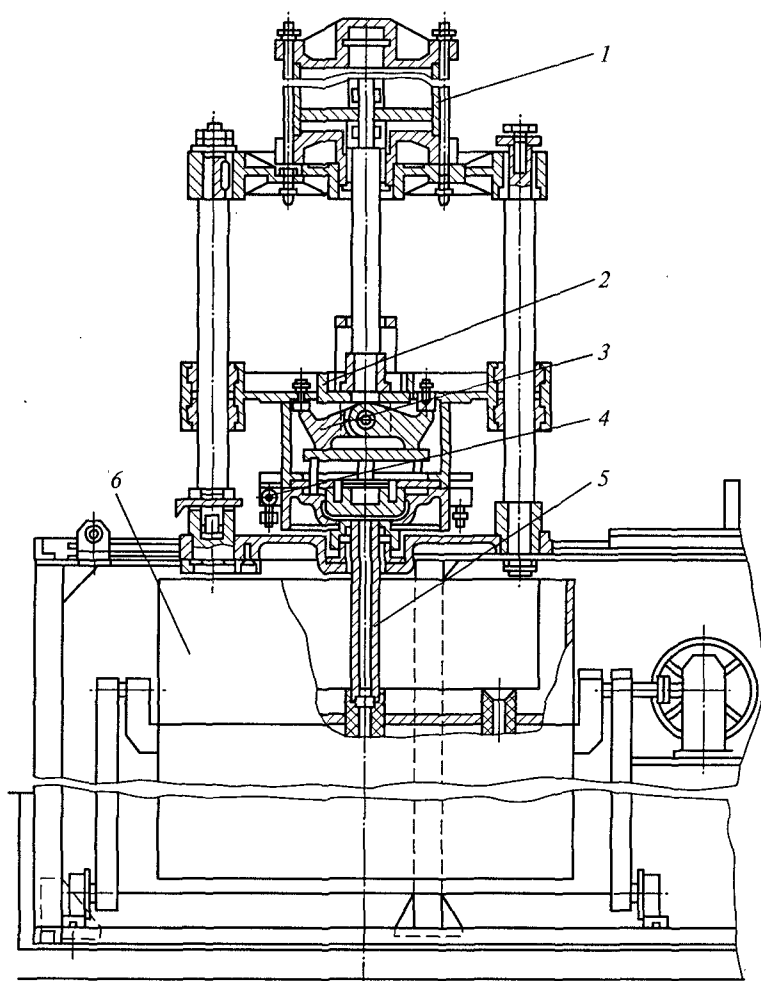


Рис. 4.7. Установка модели ЛЭМД-002 для получения отливок из алюминиевых сплавов:

1 — цилиндр подвижной траверсы; 2 — подвижная траверса; 3 — рычажное устройство; 4 — кокиль; 5 — металлопровод; 6 — магнитодинамическая заливочная установка МДН-6А

- отсутствие сжимаемой газовой среды в камере установки (это упрощает реализацию необходимых режимов литья);
- повышенная по сравнению с литьем под низким давлением точность выполнения заданных режимов из-за меньшей инерционности электромагнитного воздействия;
- улучшенные условия регулирования тепловых условий литья (можно обеспечить перегрев расплава непосредственно в канале металлопровода).

К отличиям негативного характера относятся: бóльшая опасность выделения растворенного газа в расплаве и попадания его в отливку из-за отсутствия избыточного давления в ванне расплава, а также бóльшая сложность эксплуатации установок.

На рис. 4.7 представлена установка модели ЛЭМД-002 для литья алюминиевых сплавов в металлическую форму с магнитодинамическим насосом типа, показанного на рис. 4.6. В установке использован рычажный механизм, увеличивающий усилие выталкивания отливок из верхней половины кокиля.

4.3. Литье с противодавлением

Данный способ литья является развитием способа литья под низким давлением. Установка для литья с противодавлением (рис. 4.8, а) состоит из двух камер *I* и *II*. В камере *I*, устройство которой подобно герметической камере установки литья под низким давлением, располагается тигель 7 с расплавом 6. В камере *II* находится форма 3 обычно металлическая. Камеры *I* и *II* разделены герметичной крышкой 4, через которую проходит металлопровод 2, соединяющий тигель 7 и форму 3. Камеры *I* и *II* прочно соединены одна с другой зажимами 5.

В начале процесса сжатый воздух или инертный газ при требуемом по технологии давлении, например 0,12 МПа, поступает через вентили 8—10 в камеры *I* и *II*. Вентиль 1 при этом закрыт, и расплав в тигле 7 остается неподвижным. По достижении заданного давления вентиль 10 закрывается, а вентиль 1 постепенно открывается. В результате давление в камере *II* понижается, и под действием разности давлений в камерах *I* и *II* расплав поднимается по металлопроводу и заполняет форму.

Можно, наоборот, повысить давление в камере печи через вентиль 8. После заполнения формы давление в камерах *I* и *II* можно повысить, сохраняя их перепад равным таковому в период заполнения формы. Обычно значение давления при кристаллизации отливки выше, чем при литье под низким давлением (0,4... 0,6 МПа), что улучшает питание отливки, уменьшает усадочную и газовую виды пористости, повышает плотность отливки. Таким образом, по существу в этом процессе литья совмещены два: способ литья под низким давлением, используемый для заполнения полости формы, и способ кристаллизации отливок под всесторонним давлением газа или воздуха (см. подразд. 4.1).

Давление воздуха, при котором происходит заполнение формы расплавом, будет соответственно равно разности давлений в нижней p_I и верхней p_{II} камерах установки: $\Delta p = p_I - p_{II}$. Скорость подъема расплава в металлопроводе и полости формы так же, как и при литье под низким давлением, будет зависеть от всей сово-

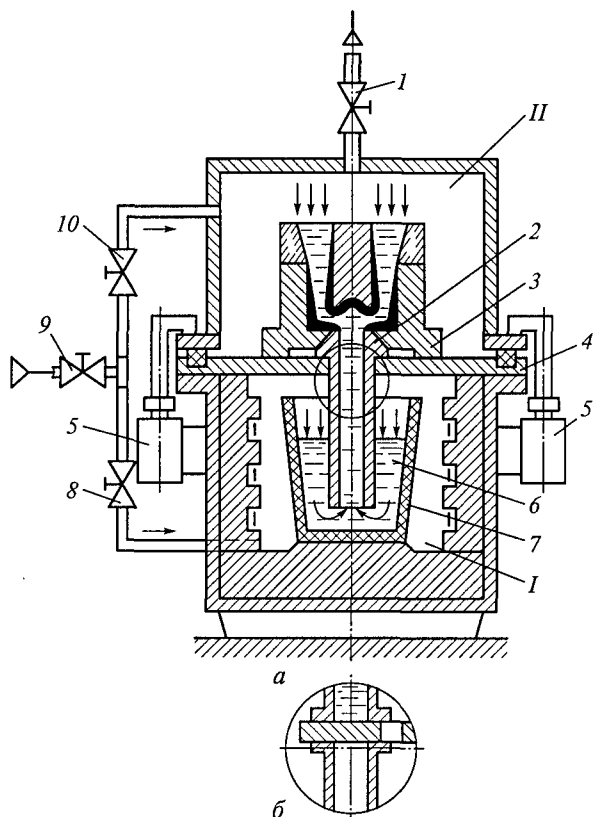


Рис. 4.8. Схема установки литья с противодавлением (а) и устройства для перекрытия металлопровода (б):

1, 8—10 — вентили пневмосистемы установки; 2 — металлопровод; 3 — форма; 4 — крышка печи; 5 — зажим; 6 — расплав; 7 — тигель; прямыми стрелками показано направление действия газа (воздуха) на расплав; I, II — нижняя и верхняя камеры установки

купности рассмотренных ранее конструктивных и пневматических характеристик системы, определяющих скорость нарастания разности давлений Δp , во время работы установки. Поэтому закономерности процессов заполнения формы и расчетные зависимости, приведенные ранее, справедливы и для процесса литья под низким давлением с противодавлением.

Необходимо только учитывать, что в условиях действия давления повышается плотность используемого газа, что сопровождается увеличением его теплопроводности. В результате время как охлаждения, так и последующего затвердевания отливок при литье с противодавлением может сократиться на 10...20%. Схемы изменения разности давлений Δp в период заполнения формы ана-

Предел прочности отливок из сплава АЛ9, полученных разными способами

Способ литья	$\sigma_{в}$, МПа
Литье в кокиль	130...150 / 200...220
Литье под низким давлением 0,1 МПа	165...180 / 220...225
Литье с противодавлением 0,4 МПа	170...185 / 225...250

Примечание. В числителе — предел прочности $\sigma_{в}$ литого металла, в знаменателе — то же, после термической обработки по режиму Т5 (закалка с кратковременным искусственным старением).

логичны показанной на рис. 4.5 и другим вариантам для литья под низким давлением.

На производстве наряду с рассмотренным вариантом конструкции установок для литья с противодавлением используют установки с механическим перекрытием металлопровода после заполнения формы затвором специальной конструкции (рис. 4.8, б), устанавливаемым в месте, обозначенном на рис. 4.8, а кружком. В установках этого типа по окончании заполнения и перекрытия металлопровода затвором давление в нижней камере понижается до атмосферного, а в верхней повышается до необходимого технологического. Такие установки могут иметь менее прочную нижнюю камеру.

В отличие от литья под низким давлением при литье с противодавлением заливка литейной формы происходит в условиях всестороннего повышенного газового давления. Это препятствует выделению растворенных в металле газов (образованию газовых пузырьков) не только при затвердевании отливки, но и при течи расплава. Отмеченное явление наряду с кристаллизацией отливки под более высоким газовым давлением и с увеличенной скоростью приводит к измельчению структуры металла, повышению его физико-механических и эксплуатационных свойств (табл. 4.1).

Способ литья с противодавлением дает наибольший эффект при изготовлении отливок с массивными стенками равномерной толщины из алюминиевых и магниевых сплавов, кристаллизующихся в широком интервале температур. Использование второй стадии процесса — кристаллизации под всесторонним избыточным давлением — для тонкостенных отливок не всегда приводит к заметному улучшению их свойств. Это объясняется тем, что продолжительность кристаллизации тонкостенных отливок мала, т. е. в данном случае отливка затвердеет прежде чем давление в верхней камере установки достигнет необходимой величины.

4.4. Литье вакуумным всасыванием

Суть процесса. Принцип литья вакуумным всасыванием состоит в том, что расплав заполняет форму под действием разрежения, создаваемого в ее полости, и далее при затвердевании металла образуется отливка. Скорость заполнения формы расплавом можно регулировать, изменяя разность между атмосферным давлением и давлением в полости формы.

Кроме общих преимуществ, характерных для способов литья под регулируемым давлением, литье вакуумным всасыванием имеет ряд своих достоинств, а именно:

- увеличенная заполняемость полости формы жидким металлом, что позволяет получать особо тонкостенные отливки (толщина стенки до 1 мм, а иногда и меньше);
- отсутствие необходимости герметизации печи с жидким металлом, что упрощает конструкцию установок и их обслуживание.

Однако последнее обстоятельство ухудшает условия длительного хранения расплавов, склонных к повышенному окислению. Используют два варианта установки для литья вакуумным всасыванием.

Установки первого типа (рис. 4.9) имеют две камеры: нижнюю *I* и верхнюю *II*. Нижняя камера *I* представляет собой раздаточную печь с электрическим или газовым обогревом,

в которой располагается тигель 3 с расплавом. Верхняя камера *II* расположена на крышке 4 нижней камеры. В крышке 4 размещен металлопровод 5.

Форму 6 устанавливают и закрепляют в камере *II* так, чтобы литник 7 соединялся с металлопроводом 5. Верхняя камера *II* герметически соединяется цилиндром прижима 1 с крышкой 4. Полость верхней камеры *II* через вакуумпровод 2 соединена с ресивером, в котором насосом создается разрежение, регулируемое системой управления.

В начале цикла клапан управления открывается, в камере *II* создается разрежение, и расплав за счет разности давлений в камерах *I* (атмосфер-

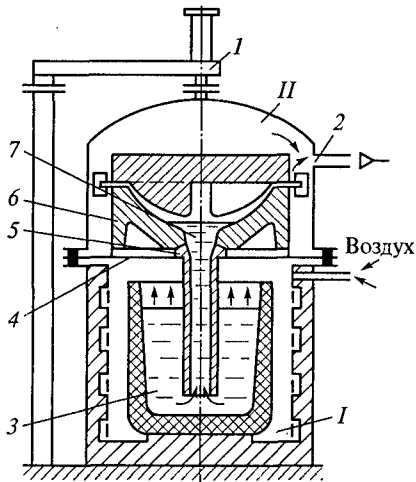


Рис. 4.9. Схема установки для литья вакуумным всасыванием:

1 — прижим камеры *II*; 2 — вакуумпровод; 3 — тигельная печь сопротивления; 4 — крышка нижней камеры; 5 — металлопровод; 6 — форма; 7 — литниковая система; *I*, *II* — камеры

ное) и II (менее атмосферного) по металлопроводу 5 поднимается, заполняя полость формы. После затвердевания отливки клапан системы управления соединяет полость камеры II с атмосферой, давление в верхней и нижней камерах становится одинаковым, а остатки незатвердевшего расплава сливаются из металлопровода 5 в тигель 3. Камера II снимается, форма 6 с отливкой извлекается и цикл может повторяться.

Как и при литье под низким давлением, скорости движения расплава в металлопроводе и полости формы определяются сочетанием большого числа конструктивных и пневматических параметров системы.

Подходы к определению рациональных режимов изменения избыточного давления Δp , обеспечивающих заполнение формы металлом и затвердевание отливок, общие для всех способов литья под регулируемым давлением (см. рис. 4.5). Отсутствие герметизации металлораздатчика не позволяет поддерживать уровень расплава в металлопроводе постоянным к началу каждого цикла. Он будет понижаться по мере расходования металла из металлораздатчика.

Методика выбора оптимальных гидравлических и тепловых параметров аналогична другим методам литья под регулируемым давлением. В отличие от других методов при литье вакуумным всасыванием значительным оказывается влияние на динамику рабочего процесса величины отношения $\mu_v f_v / (\mu_{др} f_{др})$, определяющей скорость нарастания разрежения в форме (см. рис. 4.1, в). При значении этого параметра менее 3 возникает опасность фонтанирования металла в форме. При увеличении данного параметра выше 5 возникает пульсация металла в форме, ухудшаются условия заполнения тонких сечений отливок. Для устойчивой реализации процесса заполнения формы объем ресивера должен быть больше объема камеры V_k в 9—10 раз, чтобы давление в ресивере во время вакуумирования формы изменялось незначительно.

Предпочтительной номенклатурой отливок для этого способа являются различные колеса вентиляторов с прямыми и изогнутыми лопатками, колеса компрессоров с лопатками толщиной 0,7... 1 мм и др.

При литье вакуумным всасыванием улучшаются механические свойства отливок. Например, предел прочности отливок из алюминиевого сплава АЛ9 возрастает на 5... 10%, а относительное удлинение на 30% по сравнению с литьем в кокиль. Это объясняется лучшими условиями питания отливки через металлопровод, чем из прибылей.

Установки второго типа используют только для литья слитков и заготовок простой конфигурации в водоохлаждаемые кристаллизаторы. Носок металлического водоохлаждаемого кристаллизатора I (рис. 4.10) погружается в расплав, находящийся в тиг-

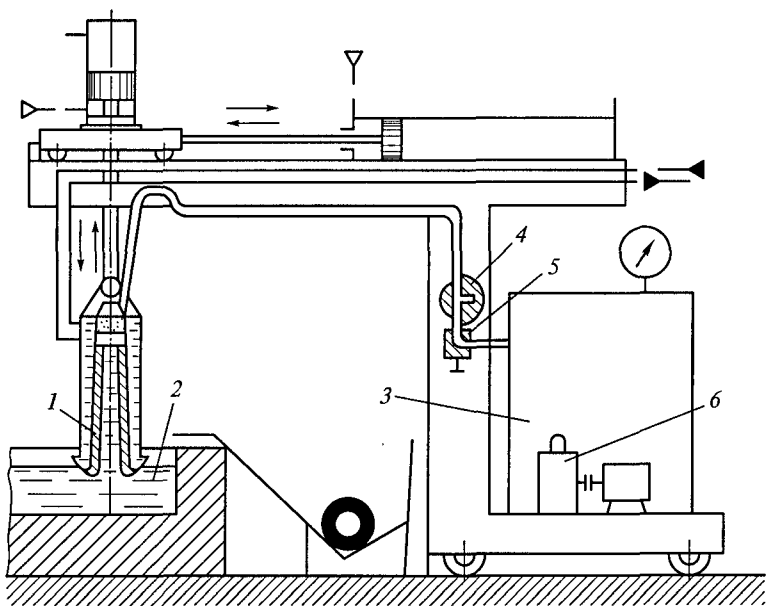


Рис. 4.10. Схема установки для литья слитков, втулок, гильз способом вакуумного всасывания:

1 — водоохлаждаемый кристаллизатор; 2 — тигель с расплавом; 3 — вакуумный ресивер; 4 — вакуумный кран; 5 — регулирующий натекатель; 6 — вакуумный насос

ле 2 раздаточной печи. Рабочая полость кристаллизатора, образующая отливку, соединяется вакуумпроводом с вакуумным ресивером 3. Разрежение в системе создается вакуумным насосом 6 и регулируется натекателем 5. Поворотом распределительного крана 4 рабочая полость кристаллизатора соединяется с вакуумным ресивером 3, в полости кристаллизатора создается разрежение, и расплав всасывается внутрь кристаллизатора, поднимаясь на высоту H , пропорциональную разрежению $h_{рт}$ и обратно пропорциональную его плотности ρ :

$$H = h_{рт} \rho_{рт} / \rho,$$

где $\rho_{рт}$ — плотность ртути.

После затвердевания отливки носок кристаллизатора извлекают из ванны расплава, поворотом крана 4 рабочую полость соединяют с атмосферой и отливка выпадает из кристаллизатора в приемный короб.

Особенности формирования отливки. Форма может заполняться расплавом с требуемой скоростью, плавно без разбрызгивания, сплошным фронтом. Расплав, заполнивший форму, затвердевает в условиях вакуума. Газы, содержащиеся в расплаве, могут из него

выделяться, благодаря чему создаются условия для получения отливок без газовых раковин и пористости. Одновременно под действием давления воздуха на зеркало расплава последний постоянно питает затвердевающую отливку, в результате чего она может быть получена плотной, без усадочных дефектов. Однако для получения плотных отливок без усадочных явлений необходима определенная согласованность интенсивности затвердевания и питания отливки.

Обычно при литье вакуумным всасыванием расплав засасывается в тонкостенный металлический водоохлаждаемый кристаллизатор, результатом чего является затвердевание отливки с высокой скоростью. Это способствует устранению ликвации в отливках из сплавов, склонных к ликвационным явлениям.

Способом вакуумного всасывания можно получать пустотелые заготовки типа втулок без стержней. В этом случае после всасывания расплава в кристаллизатор и намораживания на внутренних стенках кристаллизатора корочки твердого расплава заданной толщины вакуум отключается и незатвердевший расплав сливается обратно в тигель. Таким способом получают плотные заготовки втулок без газовых и усадочных раковин и пористости. Однако внутренняя поверхность втулок бывает волнистой из-за неравномерного затвердевания. Это приводит к необходимости увеличения припуска на обработку резанием внутренней поверхности втулки. Для уменьшения припуска можно отливать такие заготовки с применением стержня, устанавливаемого внутри кристаллизатора.

Литьем вакуумным всасыванием получают отливки из легких цветных, медных сплавов, чугуна и стали. Наиболее часто его используют для литья заготовок втулок, вкладышей, подшипников скольжения из дефицитных и дорогостоящих медных сплавов.

4.5. Вакуумно-компрессионное литье

Суть процесса. Данный способ литья совмещает процесс предварительного вакуумирования расплава для понижения содержания в нем растворенных газов, заливку расплава в форму вакуумным всасыванием и воздействие всестороннего давления воздуха на затвердевающую отливку.

Установка (рис. 4.11) состоит из двух камер, из которых в верхней располагается форма 1 (металлическая или песчаная) так, чтобы литниковая система соединялась с верхней частью металлопровода 3. Форму 1 покрывают стальным колпаком 2 и для герметичности запирают специальными затворами. В нижней камере размещают (в данном случае закатывают) тигель 4, камеру герметически закрывают крышкой 5. Камеры формы и тигля соединяются с вакуумной системой трубопроводами 7 и 8 для дегазации

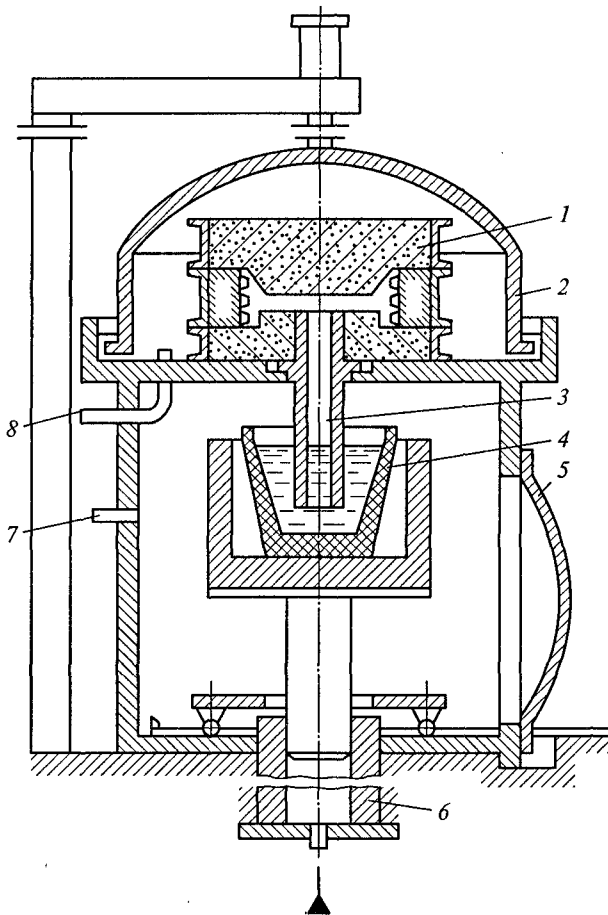


Рис. 4.11. Схема установки для вакуумно-компрессорного литья:

1 — форма; 2 — стальной колпак; 3 — металлопровод; 4 — тигель с расплавом;
 5 — крышка нижней камеры; 6 — гидроцилиндр подъема тигля с расплавом;
 7, 8 — трубопроводы пневмосистемы установки

сплава и формы. По окончании дегазации гидроцилиндр 6 поднимает тигель с расплавом и металлопровод погружается в расплав. Затем давление в камере формы постепенно снижают, создавая разность давлений в нижней и верхней камерах, за счет чего происходит всасывание расплава из тигля в полость формы. Разность давлений в камерах расплава и тигля обычно не превышает 25 кПа.

После заполнения формы отверстие металлопровода перекрывается, и в камеру формы по трубопроводу 8 подается сжатый воздух, отливка затвердевает под всесторонним давлением. Избыточное давление в верхней камере выше давления газов в раство-

ре, поэтому оставшиеся в расплаве после вакуумирования растворенные газы из него не выделяются и газовая пористость не образуется. Такая мера способствует повышению механических свойств материала отливки. Этим способом получают сложные отливки без пористости с высокими механическими свойствами.

Особенности использования методов литья под регулируемым давлением в массовом и мелкосерийном производстве. При использовании методов литья под регулируемым газовым давлением в массовом производстве, когда важной является проблема производительности установок, интерес могут представлять предложения, связанные с конструкционными разработками карусельных (многопозиционных) машин для литья под низким давлением, для литья вакуумным всасыванием, аналогичных карусельным кокильным машинам. Разделение кокиля и металлораздатчика с металлопроводом происходит на карусели после заполнения формы металлом и затвердевания отливки. Дальнейшее охлаждение отливки, извлечение ее из формы и сборку кокиля проводят на других позициях карусели.

В мелкосерийном производстве некрупных предприятий острее стоит проблема загрузки специального оборудования из-за недостатка номенклатуры изделий с экономически оправданным объемом производства. В этих условиях может оказаться эффективным использование универсальных комбинированных установок литья под регулируемым газовым давлением, позволяющих реализовывать несколько рассмотренных видов технологических процессов или их комбинаций.

Основным требованием при создании такого оборудования является наличие двух надежно герметизированных камер: для расплава и формы. Из выпускаемых в настоящее время машин полнее этому требованию отвечают установки для литья с противодавлением. Дополнительно оснащенные специальными модулями, эти установки обеспечивают получение отливок методами литья под низким давлением, с противодавлением, вакуумным всасыванием, литье в вакуумируемую форму и возможными комбинациями этих методов.

Опыт показывает, что при использовании такой универсальной установки удается повысить коэффициент загрузки установки с 0,2...0,4 до 0,7...0,8. При этом приблизительно 15% всех отливок изготавливаются с применением вакуумного модуля, на долю способа противодействия приходится приблизительно 10...15% и при литье под низким давлением — 70...75%.

ЦЕНТРОБЕЖНОЕ ЛИТЬЕ

5.1. Суть способа. Основные операции. Область использования

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

Чаще используют два варианта способа, в которых расплав заливается в форму с горизонтальной или вертикальной осью вращения. В первом варианте получают отливки — тела вращения малой и большой протяженности, во втором — тела вращения малой протяженности и фасонные отливки.

Наиболее распространен способ литья пустотелых цилиндрических отливок в металлические формы с горизонтальной осью вращения. По этому способу (рис. 5.1) отливка 4 формируется в поле центробежных сил со свободной цилиндрической поверхностью, а формообразующей поверхностью служит внутренняя поверхность изложницы. Расплав из ковша 3 заливают во вращающуюся форму 5 через заливочный желоб 2. Расплав 1 растекается по внутренней поверхности

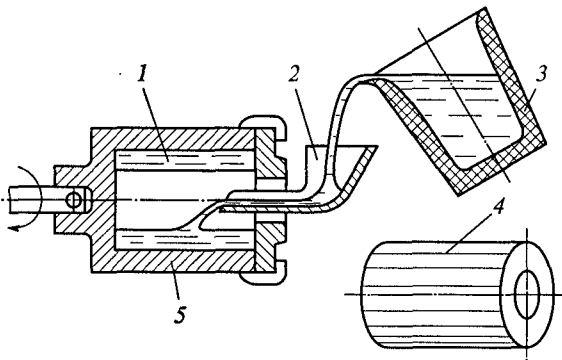


Рис. 5.1. Схема получения отливки при вращении формы вокруг горизонтальной оси:

1 — расплав; 2 — заливочный желоб; 3 — ковш; 4 — отливка; 5 — форма

сти формы, образуя под действием поля центробежных сил пустотелый цилиндр. После затвердевания металла и остановки формы отливку 4 извлекают. Данный способ характеризуется наиболее высоким технологическим выходом годного (ТВГ $\approx 100\%$), так как отсутствует расход металла на литниковую систему.

При получении отливок со свободной параболической поверхностью при вращении формы вокруг вертикальной оси (рис. 5.2) расплав из ковша 1 заливают в форму 2, закрепленную на шпинделе 3, приводимом во вращение электродвигателем 4. Расплав 5 под действием центробежных и гравитационных сил распределяется по стенкам формы 2 и затвердевает, после чего вращение формы прекращают и извлекают из нее затвердевшую отливку 6.

Отливки с внутренней поверхностью сложной конфигурации получают с использованием стержней (рис. 5.3, а) в формах с вертикальной осью вращения. Так отливают венцы зубчатых колес. Расплав из ковша через заливочное отверстие и стояк 1 поступает в центральную полость 2 формы, выполненную стержнями 3 и 4, а

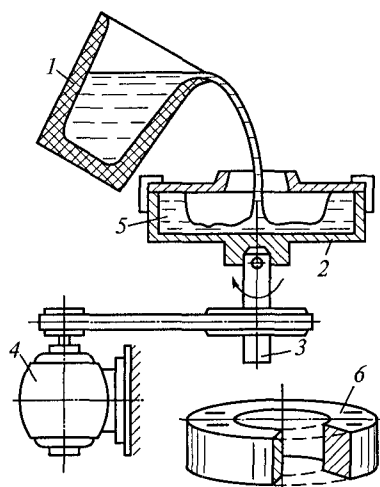


Рис. 5.2. Схема получения отливки при вращении формы вокруг вертикальной оси:

1 — ковш; 2 — форма; 3 — шпиндель; 4 — электродвигатель; 5 — расплав; 6 — отливка

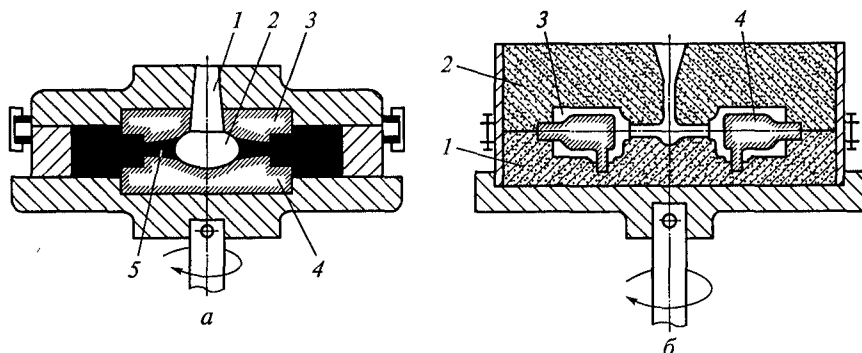


Рис. 5.3. Схема получения фасонных отливок:

а — венец шестерен: 1 — стояк; 2 — центральная полость формы; 3 и 4 — стержни; 5 — прибыль; б — мелкие фасонные отливки: 1 — нижняя полуформа; 2 — верхняя полуформа; 3 — рабочая полость формы; 4 — стержень

затем через шелевые питатели (под действием центробежных сил) — в рабочую полость формы. Технологический выход годного здесь меньше, чем в предыдущем способе. Избыток металла 5 (прибыль сверх массы отливки) в центральной полости 2 формы питает отливку при затвердевании.

Мелкие фасонные отливки изготавливают по варианту, в котором применяют, например, песчаную форму (рис. 5.3, б). Части формы 1 и 2 устанавливают на центробежный стол и крепят на нем. При необходимости используют стержни 4. Рабочие полости 3 должны располагаться симметрично относительно оси вращения для обеспечения балансировки формы. Расплав заливают через центральный стояк, из которого по радиальным каналам он попадает в полости формы. Технологический выход годного при таком способе литья приближается к выходу годного при литье в песчаные формы. При центробежном литье можно использовать песчаные, металлические, оболочковые и объемные керамические, а также комбинированные формы.

Краткие исторические сведения. Первый патент на центробежный способ изготовления отливок был получен в Англии в 1809 г. Однако это изобретение А. Экхерта практического применения не нашло. Предложенный 40 лет спустя центробежный способ литья труб также не имел положительных результатов. К числу главных причин этого можно отнести, во-первых, отсутствие в то время массового спроса на отливки типа труб, втулок и колец. Потребность в них вполне обеспечивалась другими способами литья. Во-вторых, показатели качества отливок, полученных центробежным способом, были весьма низкими из-за отсутствия удобного привода, позволяющего управлять скоростью вращения изложницы и свойствами отливок. В XX в. по мере роста городов и развития автомобильной и тракторной промышленности потребность в водопроводных и канализационных трубах, а также в таких деталях, как втулки и гильзы разного назначения, возросла настолько стремительно, что традиционные способы уже не могли обеспечивать требуемых количества и качества таких изделий. Появление надежной конструкции электропривода в конце XIX в. и возможность промышленности изготавливать детали для быстроходных машин с требуемой точностью создали необходимые предпосылки для широкого промышленного распространения центробежного литья.

Особенности формирования отливки. Главная особенность процесса формирования отливок при центробежном способе литья заключается в том, что заполнение формы и затвердевание отливки происходят в поле действия центробежных сил, во много раз превосходящих силу тяжести.

Рассмотрим силы, действующие во вращающемся расплаве. Действие поля центробежных сил, приходящееся на единицу объема вращающегося расплава, может быть выражено зависимостью

$$\rho_{\text{ц}} = \rho \omega^2 r / g,$$

где ρ — плотность расплава; ω — угловая скорость вращения формы; r — радиус вращения произвольной точки расплава; g — ускорение свободного падения.

Коэффициент $k = \rho_{\text{ц}} / \rho = \omega^2 r / g$, называемый «гравитационным коэффициентом», показывает соотношение между центробежными силами и силой тяжести.

Для определения статического давления, действующего во вращающемся расплаве, положим, что расплав вращается вместе с формой вокруг неподвижной оси, перпендикулярной плоскости чертежа, с постоянной угловой скоростью вращения ω (рис. 5.4). Если допустить, что расплав в этой системе подвержен действию только центробежных сил, то он находится в состоянии покоя относительно формы и поэтому можно воспользоваться уравнениями гидростатики. Такое допущение правомерно, так как обычно при центробежном литье $k \gg 1$.

При элементарном перемещении точки M в произвольном направлении в жидкой среде приращение давления определяется уравнением Эйлера

$$dp = Xdx + Ydy + Zdz, \quad (5.1)$$

где dx , dy , dz — проекции перемещения точки; X , Y , Z — объемные силы, действующие на рассматриваемую точку в направлении соответствующих осей.

В радиальном направлении на точку M действует объемная сила $\rho \omega^2 r$, составляющие которой по осям $X = \rho \omega^2 x$, $Y = \rho \omega^2 y$, $Z = 0$. Так как $x = r \sin \varphi$ и $y = r \cos \varphi$ (где r — текущий радиус), приращение давления в точке при ее элементарном перемещении составит

$$dp = \rho \omega^2 (x dx + y dy). \quad (5.2)$$

Интегрируя уравнение (5.2) и определяя постоянную интегрирования, находим, что во вращающемся расплаве вызванное действием поля центробежных сил давление определяется зависимостью

$$p = (\rho \omega^2 / 2)(r^2 - r_0^2), \quad (5.3)$$

где r_0 — радиус свободной поверхности отливки.

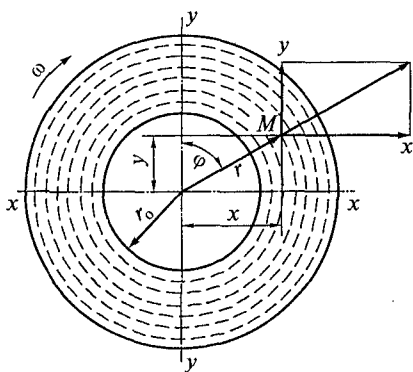


Рис. 5.4. Схема к определению статического давления во вращающемся расплаве (обозначения величин см. в тексте)

Из зависимости (5.3) следует, что в расплаве, вращающемся вместе с формой с постоянной угловой скоростью, дополнительное давление изменяется пропорционально квадрату расстояния до рассматриваемой точки от оси вращения. На свободной поверхности расплава при любой скорости вращения давление, вызванное действием центробежных сил, равно нулю.

Зависимость (5.3) может быть использована и для определения давления в расплаве при движении его в каналах формы для фасонных отливок, и давления на оформляющие поверхности формы, но она справедлива лишь для невысоких форм. Примеры таких литейных форм изображены на рис. 5.2 и 5.3, а. При заливке высоких форм из материалов с малой прочностью (сырые песчаные формы, оболочковые формы по выплавляемым моделям, схема которых изображена на рис. 5.3, б) угловая скорость может быть меньше, а напор расплава в стояке больше и его следует учитывать, используя уравнение

$$p = \rho \omega^2 r^2 / 2 + \rho gh,$$

где h — расстояние от уровня расплава в чаше на оси вращения до плоскости, в которой находится рассматриваемая точка.

Силы, действующие на инородные частицы в расплаве, определяются следующим образом. Если плотность твердой частицы, погруженной в расплав, или плотность какого-либо жидкого объема отличается от плотности расплава, то сила, действующая на частицу или на этот объем со стороны расплава, не уравновешивается их собственной центробежной силой и силой тяжести, поэтому возникают условия для их перемещения в ту или другую сторону по отношению к свободной поверхности. В соответствии с законом Архимеда результирующая сила, действующая на тело, погруженное во вращающийся расплав плотностью ρ , равна

$$P_{ц} = V(\rho_1 - \rho)\omega^2 r, \quad (5.4)$$

где V , ρ_1 — соответственно объем и плотность погруженного тела, например, частицы включений; ω — угловая скорость вращения; r — радиус вращения произвольного тела, например частицы в расплаве.

При $\rho_1 > \rho$ сила положительна и частица в расплаве движется от оси вращения к стенке формы, при обратном соотношении плотностей она перемещается к оси вращения и всплывает на свободную поверхность расплава.

Если твердая частица соприкасается со стенкой формы, то она оказывается прижатой расплавом к стенке и уже не всплывет. На этом основано использование сыпучих покрытий для металлических форм при центробежном литье. Действие этих сил необходимо учитывать при разработке систем шлакозадержания и пита-

ния, например, песчаных форм для стальных фасонных отливок при их центробежной заливке.

Особенности охлаждения и затвердевания отливки в поле центробежных сил. При изготовлении отливок со свободной поверхностью расплав охлаждается в изложнице неравномерно по объему. Часть теплоты отводится от расплава через стенку изложницы и ее крышку, часть — конвекцией и излучением со стороны свободной поверхности. Количество теплоты, отводимое в воздушное пространство от свободной поверхности отливки, значительно. Воздух, находящийся в полости отливки, вовлечен в процесс вращения, т. е. находится в постоянном движении. Вдоль оси вращения на смену нагретому воздуху поступают порции холодного воздуха. Более интенсивна циркуляция воздуха в случае вращения формы с расплавом вокруг вертикальной оси вследствие естественного подъема горячего воздуха вверх.

Подобная неравномерность охлаждения, особенно толстостенных отливок, приводит к возникновению конвективных потоков в расплаве: охлажденный более плотный расплав перемещается от свободной поверхности внутрь затвердевающей отливки, а горячий и менее плотный — наружу. Таким образом конвективные потоки в расплаве циркулируют в радиальном направлении (рис. 5.5, а). В условиях центробежного литья это явление наблюдается даже при небольшом различии температур и плотностей, так как действующие в этой системе силы возрастают пропорционально гравитационному коэффициенту k . Это способствует на-

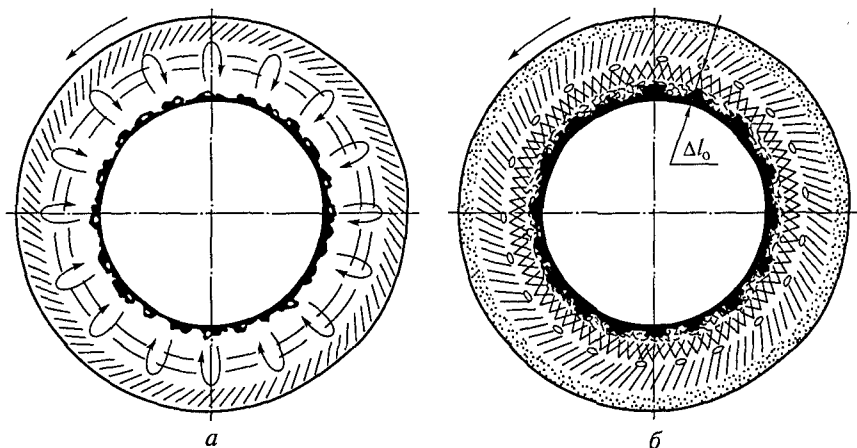


Рис. 5.5. Схема возникновения конвективных потоков (показаны фигурными стрелками) во вращающемся затвердевающем расплаве (а) и схема кристаллического строения отливки (б):

Δ_0 — глубина расположения зоны усадочной пористости; стрелкой показано направление вращения изложницы

правленному затвердеванию отливки в радиальном направлении и тем больше, чем выше угловая скорость вращения (на рис. 5.5 показано стрелкой).

При направленном затвердевании от стенок изложницы фронт растущих в радиальном направлении кристаллов находится под значительным избыточным давлением расплава, обусловленным действием поля центробежных сил. Вследствие этого кристаллы растут в направлении поступающего расплава (рис. 5.5, б), поэтому они несколько наклонены в сторону по направлению вращения. Давление, развиваемое при вращении расплава, способствует прониканию его в межкристаллитные пространства, что улучшает питание затвердевающей отливки, повышает ее плотность. Свободная поверхность расплава затвердевает в последнюю очередь и при горизонтальной оси его вращения форма свободной поверхности остается геометрически правильной — цилиндрической. Из уравнения (5.4) следует, что инородные частицы (газы, шлак и т.д.), имеющие плотность, меньшую, чем расплав, под действием центробежной силы, обусловленной разностью плотностей, интенсивно всплывают на свободную поверхность расплава. Это приводит к необходимости назначать большие припуски на обработку свободных поверхностей отливок, что является недостатком метода.

Таким образом, при направленном затвердевании можно получить отливки с плотным строением тела, без усадочных дефектов и инородных включений. Однако центробежные силы способствуют направленному затвердеванию только в тех случаях, если выделяющиеся на свободной поверхности кристаллы твердой фазы имеют плотность большую, чем плотность остального расплава. Для большинства литейных сплавов это условие соблюдается. Исключения составляют два случая: когда сплав затвердевает с увеличением объема, например серый чугун, и когда выделяющиеся подвижные кристаллы обогащены компонентами сплава, имеющими меньшую плотность, чем остающийся расплав, например при затвердевании заэвтектических силуминов. В последнем случае содержание кремния в силуминах более 11,7%, т.е. первичные кристаллы обогащены кремнием, плотность которого меньше плотности алюминия. Если эти более легкие кристаллы зародились и выросли на свободной поверхности, то они здесь и останутся, а если они зародились внутри переохлажденного расплава, то за счет разности плотностей они всплывают. В результате отливка затвердевает от стенок изложницы и со стороны свободной поверхности, т.е. к концу затвердевания вследствие недостатка питания внутри отливки, образуются усадочные поры. В этом случае, чем быстрее вращается форма, тем интенсивнее выносятся кристаллы на свободную поверхность и тем на большую глубину распространяется усадочная пористость.

Усадочная пористость под свободной поверхностью наблюдается также при изготовлении толстостенных отливок (рис. 5.5, б). В тонкостенных отливках большой протяженности глубина Δl_0 расположения зоны усадочной пористости меньше. Это объясняется соотношением скоростей охлаждения со стороны наружной и внутренней (свободной) поверхностей отливки. Чем меньше скорость охлаждения внутренней поверхности и больше скорость охлаждения со стороны наружной поверхности отливки, тем меньше глубина Δl_0 .

Скоростью охлаждения отливки можно управлять. Так, с наружной стороны это достигается путем изменения толщины или теплофизических свойств огнеупорного покрытия, изменением скорости охлаждения формы. Со стороны внутренней поверхности с этой целью можно использовать сыпучие огнеупорные материалы или экзотермические смеси (для отливок из стали такая смесь может иметь состав: 50 % железной руды зернистостью 0,63; 26 % алюминиевого порошка; 24 % кварцевого песка $1K_3O_2016$).

При центробежном способе изготовления отливок ликвация (химическая неоднородность) чаще всего наблюдается в радиальном направлении и реже в осевом. Ликвация происходит при изготовлении отливок из сплавов, компоненты которых взаимно нерастворимы и не образуют эвтектик, химических соединений. К таким сплавам относится, например, свинцовистая бронза. В некоторых случаях при неправильных режимах литья ликвация в этом медном сплаве развивается настолько интенсивно, что весь свинец оказывается на поверхности отливки, образуемой изложницей, а медь и другие менее плотные компоненты — на свободной ее поверхности.

Если сплав содержит компоненты, взаимно растворимые при данном их содержании в сплаве, то ликвация проявляется лишь в обогащении слоев отливки, примыкающих к свободной ее поверхности, менее плотными компонентами сплава и примесями. В результате ликвации в слоях, расположенных ближе к свободной поверхности массивных отливок из чугуна, содержится большее количество углерода, фосфидной эвтектики, включений MnS . В стальных отливках в аналогичных слоях повышается содержание P , S , концентрируются оксиды, нитриды, силикатные включения.

Сплавы, склонные к обратной ликвации, проявляют эти свойства и при центробежном литье. Обратная ликвация — обогащение периферийной части отливки фазами с низкой плотностью. Такое явление наблюдается при литье сплавов меди с оловом, алюминия с магнием, в доэвтектических силуминах и др. Обратная ликвация возникает вследствие пропитывания менее плотной фазой каналов между ветвями дендритов. Это происходит под действием центробежного давления в расплаве и по причине

уменьшения объема периферийной зоны при усадке. Как правило, ликвация возрастает с увеличением скорости вращения формы.

Форма свободной поверхности расплава в поле действия центробежных сил может быть определена, исходя из уравнения (5.1). При вращении формы вокруг вертикальной оси на каждую частицу расплава кроме центробежных сил действует сила тяжести. Тогда из уравнения (5.1) при $dp = 0$, $X = \rho\omega^2x$, $Z = -\rho g$, $Y = 0$ получим, что для свободной поверхности

$$z = \omega^2 x^2 / (2g). \quad (5.5)$$

Из соотношения (5.5) следует, что свободная поверхность отливки при вертикальной оси вращения z — параболоид вращения, геометрическая ось которого совпадает с осью вращения. Вследствие этого отливки получаются разностенными в осевом направлении, что вынуждает назначать повышенные припуски на обработку резанием высоких отливок. Поэтому вращением вокруг вертикальной оси преимущественно изготавливают отливки небольшой протяженности в осевом направлении (кольца, венцы, короткие втулки).

Если при вращении формы с постоянной скоростью ω вокруг горизонтальной оси на расплав действуют только центробежные силы, то уравнение (5.1) при $dp = 0$ имеет решение

$$x^2 + y^2 = r^2, \quad (5.6)$$

т. е. свободная поверхность расплава принимает форму кругового цилиндра, геометрическая ось которого совмещена с осью вращения формы. Однако на расплав действует также сила тяжести, поэтому на пути к нижней точке траектории его частицы движутся ускоренно, а к верхней — замедленно, таким образом возникает пульсация расплава. Вследствие неразрывности потока слой расплава в нижней части формы должен быть тоньше, чем в верхней.

Эксцентриситет, обусловленный пульсацией расплава в форме, тем меньше, чем больше угловая скорость ее вращения и чем больше вязкость расплава. По мере того как фронт затвердевания продвигается от стенок изложницы в глубь расплава, эксцентриситет уменьшается, достигая нуля к моменту затвердевания свободной поверхности. Свободная поверхность получается цилиндрической, и готовая отливка не имеет разностенности ни в радиальном, ни в осевом направлении.

Получение отливки с геометрически правильной свободной поверхностью возможно лишь при определенной угловой скорости вращения (определяющей гравитационный коэффициент). При недостаточной скорости вращения свободная поверхность отливки искажается, повышается ее шероховатость, расплав плохо очищается от неметаллических включений, тогда как завышенная скорость может приводить к образованию в отливках трещин, усилению механического пригара и ликвационных процессов.

Таким образом, особенности формирования отливки при центробежном литье сопряжены как с большими преимуществами, так и с недостатками. Преимуществами этого способа литья являются: возможность улучшения заполняемости форм расплавом под действием давления, развиваемого центробежными силами; повышение плотности отливок вследствие уменьшения усадочных пор, раковин, газовых, шлаковых и неметаллических включений; уменьшение расхода металла и повышение выхода годного благодаря отсутствию литниковой системы при изготовлении отливок типа труб, колец, втулок или уменьшению массы литников при изготовлении фасонных отливок; исключение затрат на стержни при изготовлении отливок типа втулок и труб.

Недостатками способа центробежного литья являются: трудности получения отливок из сплавов, склонных к ликвации; загрязнение свободной поверхности отливок неметаллическими включениями и ликватами; неточность размеров и необходимость повышенных припусков на обработку свободных поверхностей отливок, вызванная скоплением неметаллических включений в материале отливки вблизи этой поверхности и отклонениями точности дозы расплава, заливаемого в форму.

Наивысшие технико-экономические показатели центробежного способа достигаются при получении пустотелых цилиндрических отливок с различными размерами и массой (длиной до нескольких метров и массой до нескольких тонн): труб разного назначения из чугуна, стали, цветных и специальных сплавов; втулок и гильз для стационарных и транспортных дизелей; колец подшипников качения и др. Большое распространение получило центробежное литье для изготовления биметаллических изделий, изделий из сплавов с низкой жидкотекучестью и высоким поверхностным натяжением, при необходимости получения тонкостенных отливок со сложной геометрией и микрорельефом поверхности. К ним относятся, например, турбинные диски с лопатками, отливки художественного и ювелирного назначения (серьги, кулоны, перстни и др.). Для таких изделий применяют керамические оболочковые формы по выплавляемым моделям, гипсовые формы, кокили и др.

Эффективность достигается при этом вследствие возможности получения отливок без стержней, практически без отходов металла на литники и прибыли, а также благодаря получению высококачественной поверхности отливок, не имеющих дефектов усадочного и газового происхождения.

5.2. Технология изготовления отливок

Для изготовления отливок центробежным способом применяют различные литейные формы: металлические, песчаные,

комбинированные (металлические с песчаными стержнями), керамические, оболочковые по выплавляемым моделям и др. Формы могут быть предназначены для изготовления отливок на машинах с горизонтальной и вертикальной осью вращения формы, для длинных или коротких отливок цилиндрической формы, для получения фасонных отливок; конструкция формы зависит также от характера производства (единичное, серийное, массовое).

Металлические формы. Такие формы для изготовления отливок центробежным способом обычно называют «изложницами».

В случае форм с горизонтальной осью вращения в зависимости от назначения и конфигурации отливок применяют короткие и длинные изложницы. Короткие изложницы 2 крепят на планшайбе 1 (рис. 5.6, а) или на шпинделе 6 (рис. 5.6, б) машины для центробежного литья. Эти изложницы используют для литья коротких втулок, колец, гильз. При установке изложницы на шпинделе ее стопорят болтом. При установке на планшайбе машины изложницу центрируют по диаметру D , для чего на планшайбе имеется специальная проточка. Изложницу крепят к планшайбе болтами с тыльной ее стороны. Для предотвращения вибрации при вращении заготовки изложницы подвергают механической

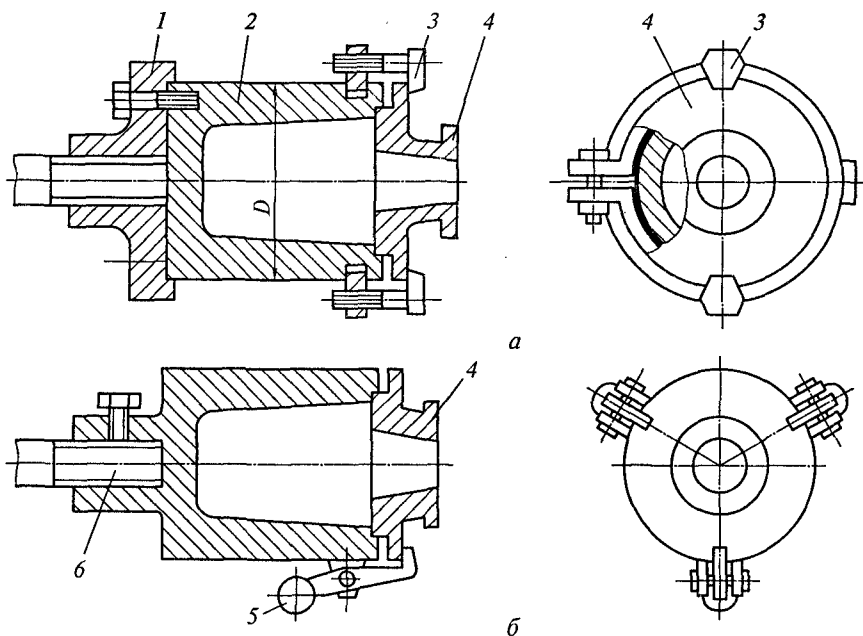


Рис. 5.6. Способы крепления крышек на изложницах:

а — крепление изложницы на планшайбе; б — крепление изложницы на шпинделе; 1 — планшайба; 2 — изложница; 3 — болт; 4 — крышка; 5 — центробежный зажим; 6 — шпиндель

обработке по внутренней и наружной поверхностям с одной установки заготовки на металлорежущий станок, а при необходимости, и балансировке. Внутренняя поверхность изложницы должна иметь уклон, тем меньший, чем больше диаметр отливки. При диаметре отливки более 300 мм уклона не делают, так как отливка легко извлекается вследствие образования зазора при усадке.

Крышки 4 крепятся к таким изложницам болтами 3 или центробежными зажимами 5 (см. рис. 5.6, а и б). Крепление крышки болтами используют при изготовлении небольших серий отливок. Центробежные зажимы применяют в условиях автоматизированного серийного и массового производства отливок. Зажимные устройства крышек конструируют и рассчитывают на прочность с учетом действия центробежных сил как на расплав, так и на другие части этой системы. Минимальное число болтов для крепления крышки — два, а центробежных зажимов — три. В некоторых конструкциях при использовании болтов для крепления крышки предусматривают температурные компенсаторы, исключающие смятие резьбы при разогреве изложницы и крышки. Конфигурация крышки должна исключать выплескивание расплава при заливке, например быть такой, как это показано на рис. 5.6, а, б. Расплав не должен попадать на устройство для крепления крышки, для чего последняя снабжается цилиндрическим выступом. Диаметр отверстия в крышке должен быть достаточным, чтобы можно было ввести в изложницу заливочный желоб.

Для изготовления фасонных отливок используют также металлические формы (рис. 5.7). На шпинделе машины закрепляют планшайбу 4, в которую устанавливают нижнюю полуформу 6 с пес-

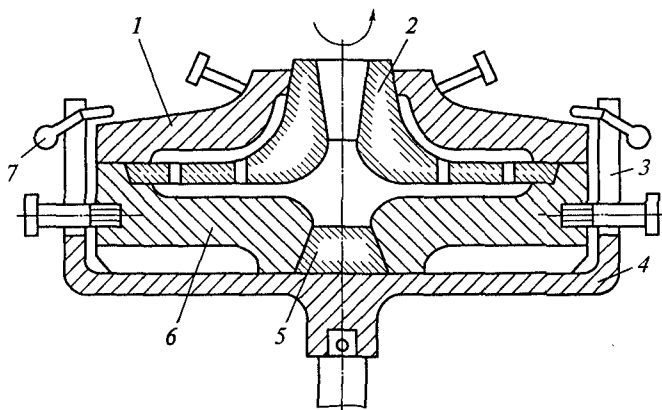


Рис. 5.7. Металлическая форма с песчаным стержнем для получения фасонных отливок:

1 — верхняя полуформа; 2 — песчаный стержень; 3 — прорези; 4 — планшайба; 5 — песчаная вставка; 6 — нижняя полуформа; 7 — центробежный зажим

чаной вставкой 5. Полость в отливке выполняют песчаным стержнем 2. Сборку формы завершают установкой верхней полуформы 1. При вращении планшайбы проскальзывание формы исключается вследствие того, что ее цапфы проходят в прорези 3 в планшайбе. Верхняя полуформа 1 прижимается к нижней полуформе центробежными зажимами 7.

Тепловой режим изложниц, применение защитных покрытий. Изложницы для центробежного литья так же, как и кокили, перед заливкой расплава подогревают, на их рабочую поверхность наносят слой огнеупорного покрытия, предназначенный для регулирования скорости охлаждения отливки и защиты изложницы от воздействия расплава. При необходимости формы охлаждают воздухом или водой. Поэтому все, что изложено по вопросам тепловых режимов формы в подразд. 2.3, в равной мере относится и к формам при их центробежной заливке. Кроме того, при центробежном литье широко используют сыпучие материалы для покрытия поверхности форм. Покрытие наносят на поверхность вращающейся формы с помощью желоба или совка так, чтобы оно равномерно распределилось по поверхности формы. В единичном производстве операцию нанесения покрытия выполняют вручную, а в серийном или массовом — с помощью специальных механизмов или автоматических устройств. На поверхности формы частицы покрытия прочно удерживаются под действием центробежных сил.

Состав сыпучих покрытий зависит от их назначения. Различают покрытия теплоизоляционные, предназначенные для регулирования скорости охлаждения отливки и защиты изложницы от расплава (мелкий кварцевый песок, пылевидный кварц), и химически активные, взаимодействующие с расплавом (ферросилиций, графит, алюминиевый порошок и т.д.), изменяющие свойства поверхностного слоя отливки. Однако использование сыпучих покрытий невозможно для изложниц с фасонной поверхностью, а также при литье на машинах с вертикальной осью вращения. Поэтому в состав покрытия вводят небольшое количество связующего, например, пульвербакелита ПК104.

Материалы для металлических форм. Стенки изложницы в процессе работы подвергаются циклическому воздействию механических и термических нагрузок. В таких условиях работы изложницы в ее стенке могут возникать очаги усталостного разрушения. Поэтому для изготовления изложниц часто используют жаропрочные стали, легированные хромом, молибденом, например 25Х2НМ, 34ХМ. Однако это целесообразно только в условиях крупносерийного и массового производства отливок, так как стальные изложницы дороги. Поэтому в мелкосерийном производстве, особенно отливок небольших размеров из чугуна, используют изложницы из серых чугунов СЧ20, СЧ25.

Футерованные формы. В производстве отливок, у которых наружная поверхность имеет выточки, буртики, пояски, применяют футерованные формы, например, для гильз двигателей внутреннего сгорания. В этом случае металлическую форму футеруют изнутри песчано-глинистой или песчано-смоляной смесью. Футеровку наносят на поверхность формы формовкой по модели или накаткой роликом.

Для нанесения футеровки формовкой по модели изложницу снимают с машины, снимают с нее переднюю и заднюю крышки, извлекают отливку и очищают ее поверхность от остатков смеси. Процесс нанесения футеровки по разъемной или неразъемной модели аналогичен тому, который используется, например, для изготовления сырых песчано-глинистых форм. После извлечения модели на изложницу устанавливают крышки и готовую к заливке форму крепят на машине. После заливки изложницы и охлаждения отливки до температуры выбивки процесс повторяется. Такой технологический процесс используется для изготовления гильз с двумя наружными поясками для крупных дизелей.

При нанесении футеровки накаткой роликом изложницу 1 (рис. 5.8, а) закрывают крышками 2 и приводят во вращение на центробежной машине. Во вращающуюся изложницу насыпают дозу формовочной смеси 3, которая прижимается центробежными силами к стенкам изложницы и под их действием несколько уплотняется. Шаблон 5, установленным на опорах 4, смесь распределяют и профилируют по контуру наружной поверхности отливки. Затем шаблон удаляют и на его место устанавливают ролик 6 (рис. 5.8, б), закрепленный в опорах 7. Ролик 6 с опорами 7 перемещают в радиальном направлении и окончательно профилируют и уплотняют форму. После остановки машины ролик из-

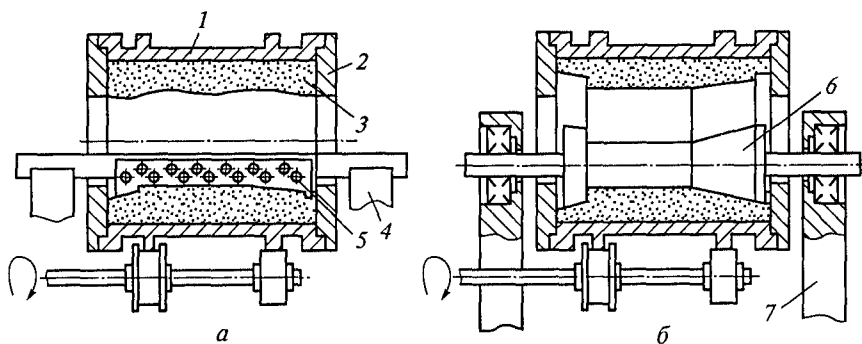


Рис. 5.8. Футеровка форм:

а — с помощью шаблона; б — накаткой роликом; 1 — изложница; 2 — крышка; 3 — формовочная смесь; 4 — опора шаблона; 5 — шаблон; 6 — ролик; 7 — опора ролика

влекают из формы, заменяют крышки 2 другими, с отверстиями меньших размеров, закрепляют крышки на форме и далее форму заливают. Аналогично футеруют формы и на шпиндельных машинах, закрепляя накатной ролик консольно на специальной опоре. При использовании песчано-смоляных смесей после их нанесения футеровку для полимеризации нагревают электронагревателем, вводимым внутрь формы.

Неметаллические формы. Песчаные формы чаще всего применяют для изготовления фасонных отливок из бронз и сталей. В качестве формовочных смесей применяют песчано-глинистые и быстротвердеющие смеси со связующим (6,5... 7,5% жидкого стекла). Например, корпуса буровых шарошек, венцы червячных колес отливают в изложницах (рис. 5.9) с горизонтальной осью вращения, для чего в ее полость устанавливают песчаные стержни соответствующей конфигурации.

Объемные керамические и оболочковые формы по выплавляемым моделям для центробежной заливки используют при литье жаропрочных сплавов, титана и сплавов на его основе. Эти сплавы легко окисляются на воздухе, к тому же они обладают плохими литейными свойствами (низкой жидкотекучестью, большой усадкой). Оболочковую форму 1 (рис. 5.10) изготовляют по выплавляемым моделям, формуют в контейнере 2 сыпучим или прочным опорным материалом 3, устанавливают на центробежный стол 4 и заливают расплавом. Заливку проводят обычно в вакуумной плавильно-заливочной установке (см. рис. 1.24, б).

Дозирование расплава. Точность массы и толщины стенок отливок со свободной поверхностью при центробежном литье в су-

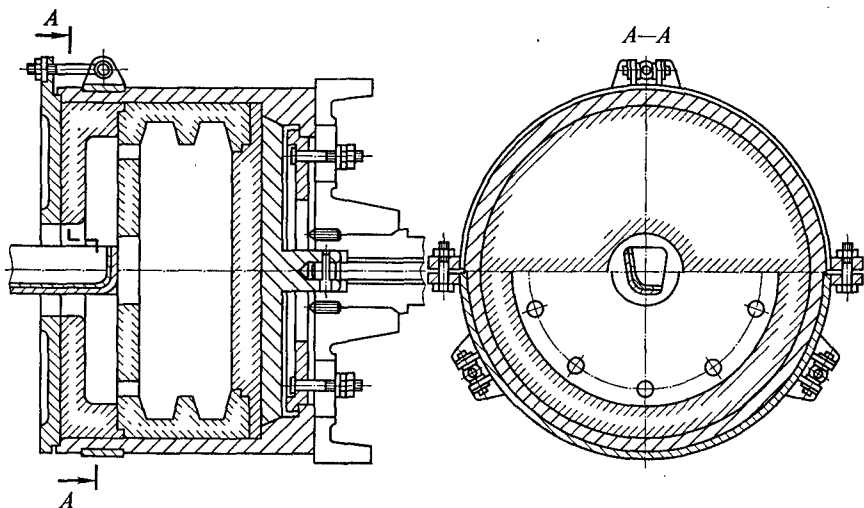
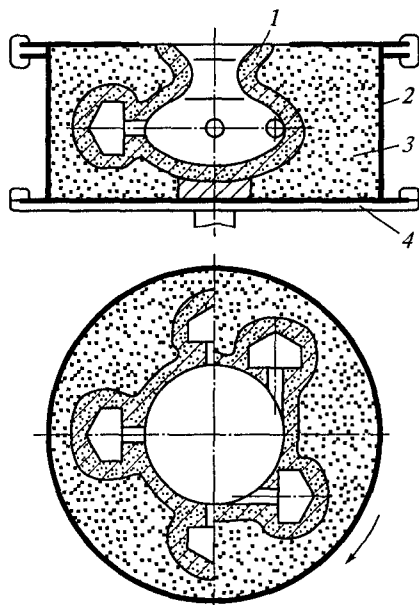


Рис. 5.9. Форма для центробежной отливки, собранная из стержней

Рис. 5.10. Оболочковая керамическая форма для центробежной заливки:

1 — оболочковая форма; 2 — контейнер; 3 — опорный материал; 4 — центробежный стол



ществленной степени зависят от точности дозирования. При работе с неподвижным заливочным устройством расплав дозируют по объему, массе, переливу избытка металла и измерением положения уровня свободной поверхности.

Дозирование по объему проводится мерными ковшами, футерованными по шаблону. Требуемый уровень расплава в ковше определяется меткой или уступом в футеровке. Этот способ не отличается точностью, так

как футеровка ковша разрушается, на поверхности расплава может находиться шлак и трудно точно установить уровень расплава в ковше.

Дозирование по массе осуществляют с помощью весов различной конструкции, к которым подвешен ковш. Хорошей точностью обладают крановые тензосилы. В них масса расплава регистрируется преобразователями-тензосопротивлениями, наклеенными на скручивающийся или растягивающийся упругий валик. Сигнал от преобразователя подается на регистрирующий прибор, который фиксирует изменение массы ковша, начиная с момента заполнения его расплавом. Погрешность взвешивания расплава на тензосилах составляет 0,1...1%.

Дозирование по переливу избытка расплава осуществляется так, как это показано на рис. 5.11, а, б. Между формой 1 и крышкой 3 устанавливают шайбу 2, диаметр отверстия которой равен внутреннему диаметру отливки. Излишек расплава выливается через отверстие в этой шайбе в полость 4 (см. рис. 5.11, а) или через калибровочное отверстие б в футеровке формы в полость формы 5 (см. рис. 5.11, б).

Дозирование измерением положения уровня свободной поверхности расплава в форме осуществляется с помощью специального устройства (рис. 5.11, в). В форму 1 вводится поплавков 9 и устанавливается на нужный размер по толщине стенки отливки. При заливке уровень расплава достигает поплавок и пе-

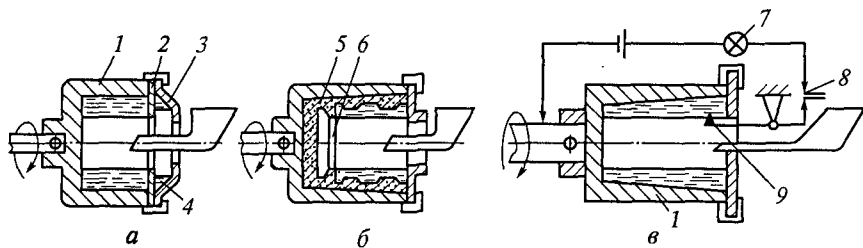


Рис. 5.11. Способы дозирования расплава:

а, б — варианты дозирования по переливу избытков расплава; *в* — дозирование по положению уровня свободной поверхности; 1 — форма; 2 — шайба; 3 — крышка; 4, 5 — полость для слива излишка расплава; 6 — калиброванное отверстие; 7 — сигнальная лампа; 8 — контакт; 9 — поплавок

ремещает его, контакт 8 замыкается (загорается лампа 7), что является сигналом на прекращение заливки.

Из рассмотренных способов наибольшей точностью обладает способ дозирования по массе.

Изготовление отливок общего назначения. Речь идет о литье чугунных втулок в металлических формах. Для изготовления небольших по массе и размерам (диаметром до 500 мм) отливок используют универсальные шпиндельные машины, для более массивных (более 100 кг) — роликовые центробежные машины. Угловую скорость вращения изложницы определяют по зависимостям, приведенным в подразд. 5.4.

Обычно используют сыпучие теплоизоляционные покрытия. Перед заливкой форму очищают от остатков теплоизоляционного покрытия сжатым воздухом и нагревают до 150... 200 °С. Такую температуру изложницы поддерживают и при последующих заливках. Затем форму закрывают крышкой, включают двигатель машины и с помощью лотка засыпают в изложницу сыпучий теплоизоляционный материал — сухой песок, просушенный и просеянный через сита № 0063 и № 005. Толщина слоя покрытия формы зависит от толщины стенки отливки:

Толщина стенки отливки, мм	До 10	10...15	15...20	Свыше 20
Толщина теплоизоляционного слоя, мм	1,5	2,5	4,0	5,0

Перед заливкой желоб нагревают и вводят в изложницу так, чтобы расплав, заливаемый в изложницу, падал на ее стенки с минимальной высоты. Способ дозирования расплава выбирают в зависимости от массы отливки и требований к точности ее размеров. Для крупных отливок с невысокими требованиями к точности размеров свободной поверхности используют дозирование по объему, для более точных — дозирование по массе или переливу. Для отливок массой до 10 кг продолжительность заливки 5... 10 с,

а для более крупных отливок (более 10 кг) — не более 15 с. Температура заливки чугуна выдерживается в пределах, рекомендуемых при литье в кокиль. После заливки заливочный желоб выдвигают; изложница вращается до тех пор, пока температура отливки не понизится до 600...700 °С. Для ускорения охлаждения отливки после затвердевания ее обдувают сжатым воздухом, включают систему охлаждения изложницы и останавливают машину. Затем открывают крышку изложницы и механизмом извлечения выталкивают отливку на приемный лоток.

Литье втулок, колец, венцов из цветных сплавов. Для литья втулок, колец, венцов из медных сплавов применяют металлические и реже песчаные формы. Втулки небольших и средних размеров из медных сплавов отливают в формы, рабочая поверхность которых покрыта ацетиленовой сажей или графитовой краской. Форму перед заливкой нагревают до температуры 80...400 °С. Частоту вращения изложницы выбирают с учетом зависимостей, приведенных далее в подразд. 5.4. Однако, например, литье отливок из медных сплавов, склонных к ликвации (высокосвинцовистые бронзы), во избежание ликвации ведут при частоте вращения изложницы менее критической — в режиме намораживания при интенсивном охлаждении изложницы.

Для получения качественных отливок из медных сплавов важно выдерживать определенную температуру заливки (см. подразд. 2.3).

Небольшие втулки и кольца из цветных сплавов изготавливают на многошпиндельных машинах с вертикальными осями вращения изложниц.

Особенности изготовления толстостенных и длинномерных цилиндрических полых заготовок. Такие заготовки обычно изготавливают из стали, чугуна, медных сплавов. Отливки могут иметь диаметр более 1000 мм, толщину стенки до 300 мм, длину более 8000 мм и массу до 60 000 кг, т.е. до 60 т. Это, например, пустотелые валы бумагоделательных машин, детали химических агрегатов, нефтяного и угольного машиностроения, гильзы крупных дизелей и т.п.

Изготовление таких отливок сопряжено с проблемами, главными из которых являются обеспечение заполнения формы и получения отливок без литейных дефектов: продольных и поперечных усадочных трещин, рыхлот, неметаллических включений.

Для предотвращения образования дефектов в отливке, связанных с развитой поверхностью потока в форме, необходимо, чтобы заливочное устройство обеспечивало минимальные потери расплавом теплоты и защиту его от окисления. Для этого используют литниковые устройства закрытого типа, в которых при литье заготовок из стали длиной до 10 м скорость нарастания толщины слоя расплава достигает $(3,3 \dots 5) \cdot 10^{-4}$ м/с. Поскольку из-за большой толщины стенки отливки на внешней поверхности гравита-

ционный коэффициент значительно больше, чем на свободной, создается опасность появления напряжений в твердой корочке металла, затвердевающей на стенке изложницы. Это может привести к образованию продольных трещин в отливке. Поэтому для предотвращения трещин частоту вращения изложницы увеличивают постепенно, согласовывая скорость ее нарастания с толщиной корки затвердевающей отливки.

Усадка длинной отливки в продольном направлении велика (при усадке 1% и длине отливки 10 м она составит 0,1 м). Даже если форма не будет тормозить усадку, то только под действием собственной массы в отливке возникнут значительные напряжения в результате ее трения о стенки изложницы. Для уменьшения опасности возникновения трещин в некоторых случаях «помогают» перемещению отливки при усадке вдоль ее оси путем подпрессовки с помощью специальных механизмов.

При изготовлении полых заготовок с большой толщиной стенки (100...300 мм) возникает проблема предотвращения образования фронта кристаллизации со стороны внутренней свободной поверхности отливки. Это приводит к образованию дефектов усадочного происхождения в зоне стыка двух фронтов кристаллизации отливки, в связи с чем необходимо назначать очень большие припуски на обработку резанием по внутренней поверхности. Расположение усадочных дефектов в стенке отливки зависит от соотношения коэффициентов теплоотдачи от наружной и внутренней поверхностей. Устранить усадочные дефекты можно следующим одновременным воздействием: охлаждением наружной поверхности отливки и утеплением, например слоем шлака (после заливки), свободной поверхности. Кроме перечисленных способов применяют глухие торцовые крышки в форме, полностью экранирующие свободную поверхность отливок от потоков воздуха, что резко ограничивает конвективную теплоотдачу от свободной поверхности отливки: в центре передней крышки выполняется отверстие, к которому плотно примыкает стационарный литник заливочного устройства.

В практике центробежного литья однослойных и многослойных труб и заготовок применяют обработку расправов флюсами. Такая обработка производится непосредственно в изложнице.

Синтетический флюс при заливке расплава в форму дозируют в изложницу в виде легкоплавких или экзотермических смесей. Флюс защищает расплав от окисления, эффективно рафинирует его в форме от неметаллических включений и газов, в то же время утепляет отливку со стороны внутренней (свободной) поверхности, создавая условия направленного затвердевания отливки. В результате улучшается качество макро- и микроструктуры, повышается плотность и механические свойства отливок.

Изготовление валков прокатных станов. Литые валки прокатных станов имеют высокую стойкость при горячей прокатке металлов, а стоимость их изготовления ниже стоимости кованных.

Форма для изготовления валков представляет собой чугунную изложницу, в которую с обоих концов установлены металлические стаканы, футерованные формовочной смесью, служащие для получения шеек и цапф валков. На внутреннюю поверхность изложницы наносят два слоя сыпучего огнеупорного покрытия — кварцевого песка (толщиной до 3 мм) и противопригарного — диоксида циркония (толщиной 0,8... 1 мм). В период заливки, затвердевания и охлаждения отливки форма интенсивно охлаждается водой.

Для получения сплошной (без отверстия) отливки металл заливают через специальное литниковое устройство, которое вплотную примыкает к крышке вращающейся изложницы.

Изготовление специальных отливок. Биметаллические отливки можно изготовлять центробежным способом путем армирования, наваркой расплава, последовательной заливкой различных сплавов.

Армирование отливок осуществляют заливкой жидким металлом отдельных металлических частей, выполненных из других материалов. Эти части (арматура) фиксируют в форме при ее сборке. При заливке арматура частично заливается расплавом и прочно скрепляется с основной массой отливки. Связь арматуры с основным металлом имеет, как правило, механический характер.

Армирование применяют при изготовлении фасонных отливок и тел вращения. Примером может служить технология изготовления отливки тормозного барабана из чугуна (рис. 5.12). В форму 1, футерованную смесью 2 накаткой, устанавливают арматуру 3 (стальной штампованный диск) и фиксируют его пневмозажимом 4. Собранный форму заливают центробежным способом до уровня *a—a*. Для более прочного соединения диска с материалом отливки его края имеют специальную разделку в виде «ласточкина хвоста». В це-

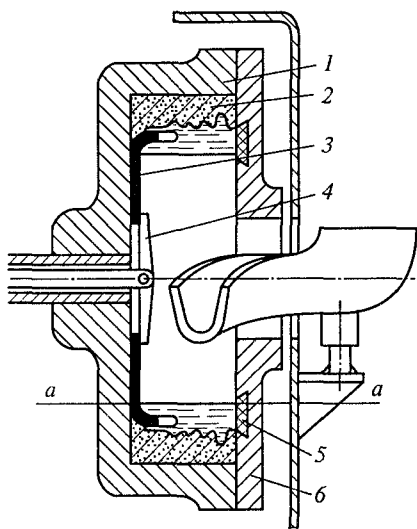


Рис. 5.12. Схема получения армированного чугуна тормозного барабана:

1 — форма; 2 — футеровка; 3 — арматура; 4 — пневмозажим; 5 — паз, заполненный шамотной смесью; 6 — крышка

лях предотвращения отбела на торце отливки в крышке 6 формы используют кольцевой паз 5, заполняемый шамотной смесью.

Наварку жидкого металла на твердую металлическую основу выполняют путем заливки расплава внутрь заранее отлитой или изготовленной другим способом и установленной в изложницу втулки. При наварке связь расплава со втулкой — твердой основой — осуществляется в результате образования химических или механических связей по всей поверхности соприкосновения.

Наваркой расплава на твердую металлическую основу изготовляют подшипниковые втулки, вкладыши, тормозные барабаны. При наварке легкоплавких подшипниковых сплавов на стальную или бронзовую основу подготовительные операции сводятся к механической очистке (в отдельных случаях к механической обработке) внутренней поверхности втулки, ее обезжириванию, травлению, промывке и флюсованию. Подготовленные таким образом втулки или вкладыши вставляют в форму центробежной машины и заливают необходимым сплавом. В отдельных случаях, главным образом при изготовлении крупногабаритных подшипников, металлическую основу подвергают предварительному лужению. Лужение можно осуществлять на той же центробежной машине, которая служит для заливки, но при меньшей угловой скорости вращения.

Последовательная заливка во вращающуюся форму двух металлов для изготовления биметаллических отливок предложена инж. П. Е. Ляминам. Второй из металлов, образующий внутреннюю часть отливки, начинают заливать, когда заканчивается затвердевание наружного слоя первого и на его свободной поверхности остается только немного жидкости. При этом на границе соприкосновения наружной и внутренней частей образуется слой промежуточного сплава толщиной в несколько миллиметров, что обуславливает прочное соединение частей отливки. Этим методом можно соединять сплавы с разными плотностями и температурами плавления независимо от того, какой из них образует наружную или внутреннюю часть отливки.

Получение абразивного инструмента методом центробежной пропитки. Метод изготовления абразивного инструмента основан на пропитке металлическими сплавами твердых пористых тел под действием центробежных сил.

Крути, применяемые для плоского и кругового шлифования, изготовляют в металлической форме 1 (рис. 5.13), в которую засыпают порцию абразивного материала. Зерна абразива при вращении формы распределяются равномерным слоем 3 по цилиндрической поверхности вставки 4 и прижимаются к ней центробежными силами. Форму нагревают индуктором до температуры примерно 600 °С и заливают в нее порцию сплава, служащего для связывания зерен абразива. Слой связующего 2 плотно прижимается к аб-

разиву, но не проникает в его поры, так как форма вращается с недостаточной для этого скоростью. Затем в рабочую полость формы заливают алюминиевый сплав, предназначенный для образования корпуса инструмента. При последующем резком увеличении скорости вращения под действием возросшего давления связка заполняет поры между зернами абразива, после чего вращающуюся форму охлаждают вместе с отливкой.

Состав связки может быть разным, его подбирают в соответствии со свойствами абразива. Для предотвращения перемещения зерен абразива, залитых расплавом, необходимо, чтобы образующий тело инструмента сплав был менее плотным, чем связка, а связка менее плотной, чем абразив.

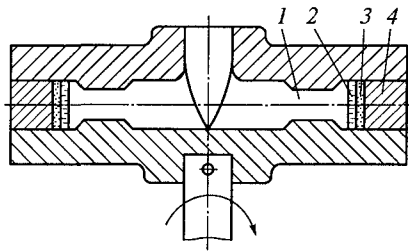


Рис. 5.13. Схема получения абразивного инструмента методом центробежной пропитки:

1 — форма; 2 — связующий материал; 3 — слой абразива; 4 — вставка

5.3. Машины и автоматизация центробежного литья

Центробежное литье принадлежит к литейным процессам, основные операции которых выполняются с использованием машин. В зависимости от назначения машины для центробежного литья разделяют на универсальные, предназначенные для изготовления отливок общего назначения, труболитейные, предназначенные для изготовления чугунных и стальных труб, в том числе труб большого диаметра, и специального назначения, предназначенные для изготовления однотипных отливок в массовом производстве (гильзы двигателей внутреннего сгорания, биметаллические отливки и т.д.), а также валков прокатных станов и бумагоделательных машин. К последнему типу можно отнести и многошпиндельные машины для изготовления мелких отливок из цветных сплавов.

В зависимости от расположения в пространстве оси вращения изложницы различают машины с горизонтальной, вертикальной и наклонной осью вращения. В зависимости от конструктивного исполнения различают шпиндельные, роликовые машины и центробежные столы.

Требования к машинам. Машины должны обеспечивать вращение форм с требуемой угловой скоростью, изменение числа оборотов формы в заданных условиями технологического процесса пределах, необходимые разгонные и тормозные характеристики; кроме того, они должны работать плавно, без вибраций, иметь

прочные и удобные устройства для крепления и фиксации форм, устройства подогрева и охлаждения изложниц. Независимо от типа и конструктивного исполнения машины для центробежного литья имеют следующие основные узлы: привод вращения формы, опорные приспособления для крепления (или фиксации) формы. Кроме того, различные машины могут оснащаться устройствами введения и вывода заливочного лотка, механизмом выталкивания отливок, кожухами, служащими для обеспечения условий безопасной работы.

Универсальные машины. Шпиндельные машины с горизонтальной осью вращения (рис. 5.14) используют при изготовлении отливок общего назначения, например втулок.

На бетонном основании 9 расположена станина 8, на которой в подшипниках качения вращается горизонтальный шпиндель 6, приводимый в движение электродвигателем 11. От электродвигателя через клиноременную передачу 10 и ступенчатый шкив 7 вращение передается на форму 4 с крышкой 2. Расплав заливают через желоб 1, установленный на поворотной крышке защитного кожуха 3, служащими для обеспечения условий безопасной работы.

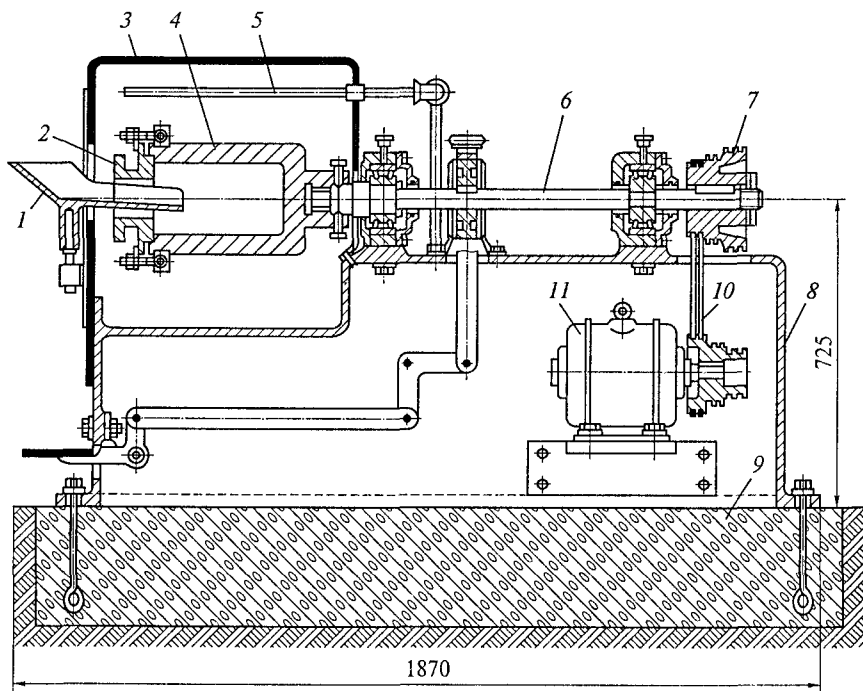


Рис. 5.14. Шпиндельная машина для отливок общего назначения:

1 — желоб; 2 — крышка; 3 — защитный кожух; 4 — форма; 5 — система охлаждения; 6 — шпиндель; 7 — шкив; 8 — станина; 9 — бетонное основание; 10 — клиноременная передача; 11 — электродвигатель

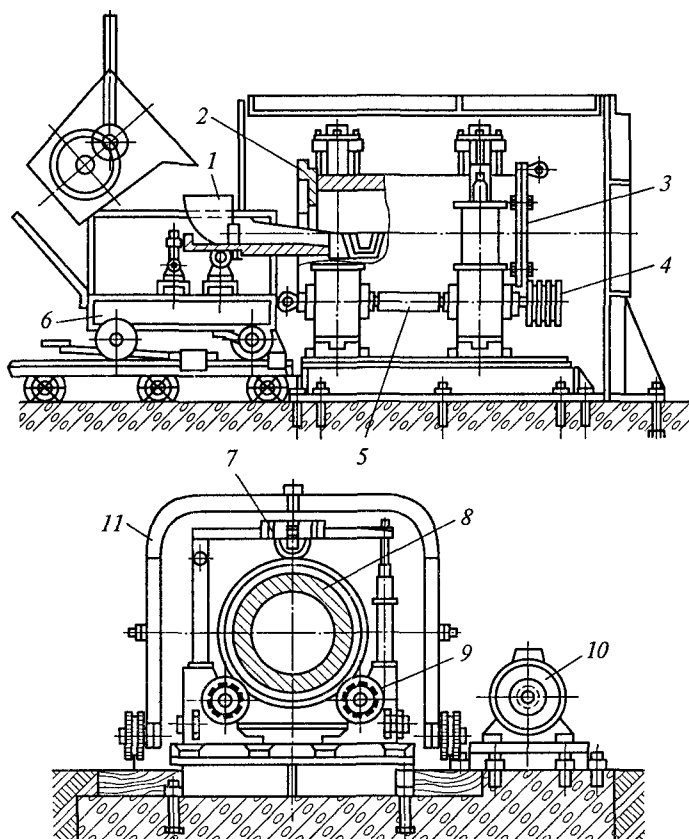


Рис. 5.15. Роликовая центробежная машина:

1 — желоб; 2 — передняя крышка; 3 — задняя крышка; 4 — клиноременная передача; 5 — приводной вал; 6 — тележка; 7 — прижимные ролики; 8 — форма; 9 — опорные ролики; 10 — электродвигатель; 11 — защитный кожух

кожуха 3. В целях увеличения производительности машины и предотвращения чрезмерного нагрева форму охлаждают водой, для чего служит труба 5 с просверленными в ней отверстиями. Шпиндельные машины просты в обслуживании, надежны в работе. В этих машинах возможна быстрая замена форм, что важно при большой номенклатуре отливок. Недостатком шпиндельных машин является ограниченная масса получаемых отливок (до 120 кг, для отливок большей массы консольное крепление формы недостаточно надежно).

Роликовые машины с горизонтальной осью вращения используют для изготовления массивных втулок, колец (рис. 5.15). Форма 8 закрывается крышками 2 и 3. Форма имеет на внешней

поверхности два кольцевых выступа, которыми опирается на четыре опорных ролика 9. Форма приобретает вращение от электродвигателя 10 с помощью клиноременной передачи 4, приводящей в движение один из роликов, сидящих на валу 5 (от ролика движение передается форме). Для устранения вибрации при работе форма сверху прижимается роликами 7, укрепленными на подпружиненных опорах. Это предотвращает заклинивание формы при ее тепловом расширении в процессе заливки. При заливке расплав поступает в форму по желобу 1, укрепленному на тележке 6. Во время работы форму закрывают защитным кожухом 11.

Преимуществом роликовых машин является возможность изготовления на них отливок разных размеров и массы. Это достигается сменой форм и соответствующей перестановкой опорных роликов на фундаментной плите. Диаметр роликов выполняют таким, чтобы при сопряжении роликов с формой получалась пара с необходимым передаточным числом. При увеличении диаметра формы передаточное число автоматически увеличивается. Это позволяет исключить из привода машины редуктор, т.е. упростить конструкцию машины. Недостатками роликовых машин является сложность балансировки подвижных частей, сложность переналадки при смене форм, сильный шум при работе.

Машины с вертикальной осью вращения (рис. 5.16) используют при изготовлении фасонных отливок. На бетонном основании 16 установлена нижняя часть 14 сборного корпуса машины. В верхней части 11 корпуса в опорном кольце 10 и подшипниках 8, 12, 13 установлен шпиндель 17. На верхнем торце шпинделя смонтирована форма, состоящая из поддона 6 корпуса 5 и крышки 3, скрепленная болтами 4.

Верхнюю часть шпинделя во избежание заклинивания подшипника отделяют от формы теплоизоляционной прокладкой 7. Во время работы шпиндель охлаждают с помощью вентилятора 9. Рассекатель 1 формы также защищает шпиндель от перегрева. Форма вращается от электродвигателя 15, соединенного со шпинделем клиноременной передачей. Форма при заливке закрыта защитным кожухом 2. Для удобства сборки и разборки формы корпус и крышка снабжены цапфами 18 и 19.

Во многих конструкциях машин с вертикальной осью вращения исключено применение внешних заливочных устройств. Такие устройства входят в состав плавно-заливочного агрегата, расположенного внутри камеры агрегата для вакуумной плавки и заливки сплавов.

Труболитейные машины. Литые водопроводные и канализационные трубы диаметром 50...1200 мм и длиной до 7000 мм являются типичными изделиями для отливок массового производства, получаемых центробежным способом. Литые трубы не подвергаются обработке резанием.

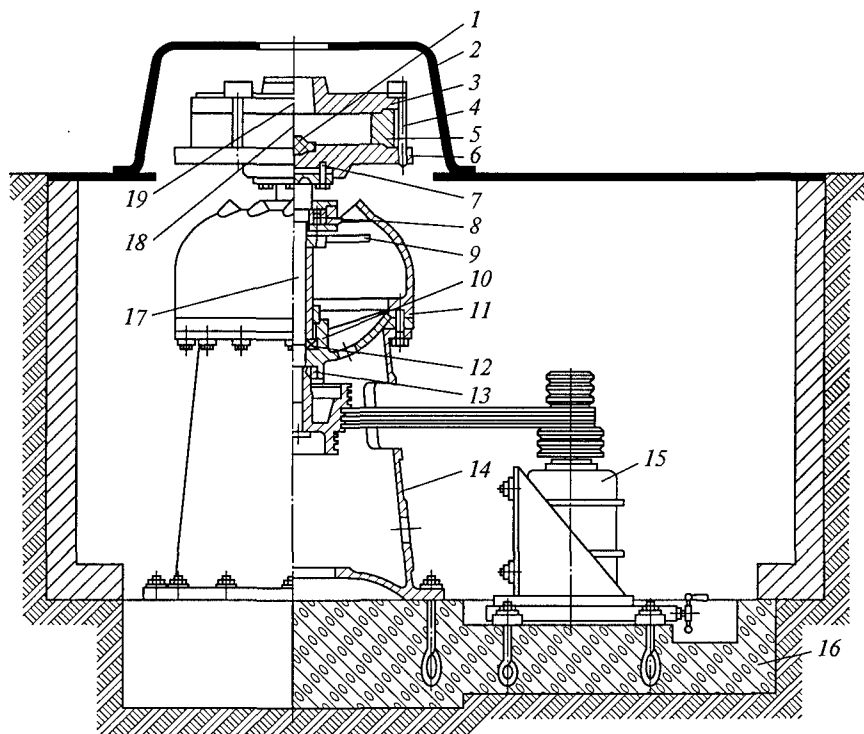


Рис. 5.16. Машина с вертикальной осью вращения:

1 — рассекаватель; 2 — защитный кожух; 3 — крышка; 4 — болт; 5 — корпус формы; 6 — поддон; 7 — прокладка; 8, 12, 13 — подшипники; 9 — вентилятор; 10 — опорное кольцо; 11, 14 — корпус машины; 15 — электродвигатель; 16 — бетонное основание; 17 — шпиндель; 18, 19 — цапфы

Для изготовления труб из серых чугунов применяют интенсивно охлаждаемые металлические формы взамен футерованных. Это позволяет устранить из технологического процесса литья операцию футеровки форм песчаными смесями, улучшить условия труда в литейных цехах. Для предотвращения отбела на отливках используют огнеупорные покрытия с низкой теплопроводностью. Для литья труб рекомендуется использовать чугуны, имеющие низкую склонность к отбелу; так, например, содержание кремния не должно превышать 2,4%, а серы — 0,08%. Следует заметить, что более высокое содержание серы не только влияет на склонность чугуна к отбелу, но и приводит к снижению жидкотекучести и повышению краснотекучести.

Наибольшее распространение в промышленности получили машины с подвижной изложницей (рис. 5.17, а). Такие машины имеют меньшие размеры, у них отсутствует вибрация длинного заливочного желоба, исключается касание желобом вращающейся

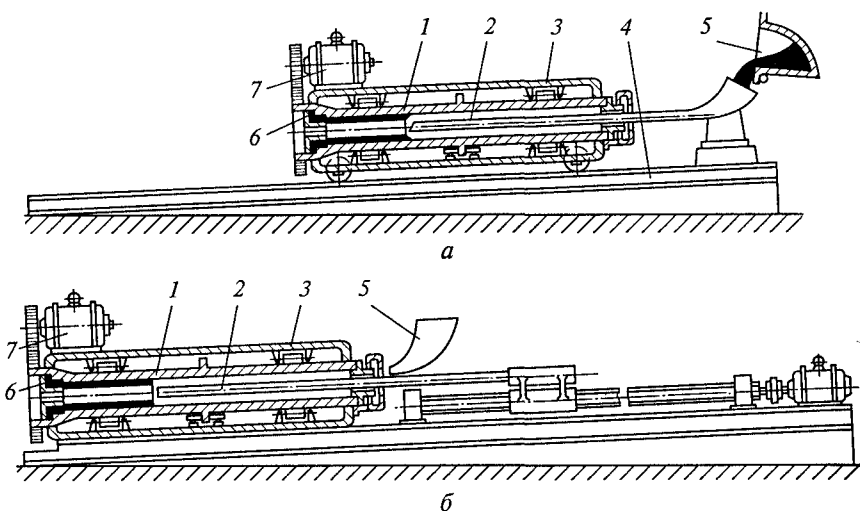


Рис. 5.17. Схема получения труб на труболитейной машине:

a — с подвижной изложницей; *б* — с подвижным заливочным желобом; 1 — изложница; 2 — желоб; 3 — корпус машины; 4 — рельсовые пути; 5 — дозирующе-заливочное устройство; 6 — стержень; 7 — электродвигатель

ся формы. Уклон машины $3... 5^\circ$ в сторону раструбной части формы улучшает стекание расплава с желоба в изложницу.

Изложница 1 установлена в корпусе 3 машины на роликовых опорах и приводится во вращение электродвигателем 7. В раструбной части формы устанавливают стержень 6. Расплав из дозирующе-заливочного устройства 5 по желобу 2 поступает во вращающуюся изложницу. При заливке машина перемещается по рельсовому пути 4 с равномерной скоростью.

Такие машины имеют производительность 15—40 труб в час при диаметре труб 50... 300 мм и длине до 6 м.

5.4. Проектирование технологического процесса

Положение оси вращения формы и отливки назначают с учетом конфигурации свободной поверхности расплава в поле действия центробежных сил, особенностей затвердевания и питания отливки в этих условиях.

Отливки, которые в соответствии с чертежом должны иметь правильную цилиндрическую внутреннюю поверхность, могут быть получены, независимо от их длины, при горизонтальной оси вращения формы. При наклоне оси вращения под любым углом к горизонту свободная поверхность расплава имеет конфигурацию параболоида вращения, отливки приобретают разностенность. Так

как при наклоне $3 \dots 5^\circ$ разностенность невелика, такое положение вращающейся формы применяют в машинах для изготовления труб длиной $3 \dots 8$ м.

Кольца, бандажи можно получать в формах с горизонтальной и вертикальной осями вращения. При выборе положения оси вращения форм для таких отливок следует учитывать факторы, влияющие на качество отливки, а также удобство сборки-разборки формы, удаления отливки.

Фасонные отливки, изготавливаемые в песчаных (керамических, оболочковых по выплавляемым моделям, металлических) формах, получают на машинах с вертикальной осью вращения. При этом удобнее монтировать форму на столе машины (собирать и разбирать ее, извлекать отливки).

Выбор скорости вращения формы. Одним из наиболее важных вопросов в центробежном литье является расчет необходимой угловой скорости вращения формы. При недостаточном числе оборотов формы нередко не удается получить отливку требуемой конфигурации, расплав плохо очищается от неметаллических включений. Чрезмерно высокая скорость вращения также может ухудшить качество отливок и условия работы машины. В результате роста давления расплава повышается вероятность образования в отливках трещин, пригара (в случае использования песчаных или футерованных форм), ликвации компонентов сплава по плотности. При высокой скорости вращения повышаются требования к точности деталей и узлов машин, выполнению статической и динамической балансировки вращающихся частей для уменьшения вибрации.

Поэтому при разработке технологического процесса и конструировании машин следует стремиться к тому, чтобы обеспечить получение отливок требуемого качества при минимальной скорости вращения формы.

Расчетные зависимости для определения требуемого числа оборотов литейной формы наиболее полно разработаны для случая получения полых цилиндрических отливок. Из наиболее известных приведем следующие:

уравнение Кэммена

$$n = C\sqrt{r}, \quad (5.7)$$

где n — число оборотов формы, мин^{-1} ; C — коэффициент, зависящий от типа сплава (для стали $C = 1350$, для серого чугуна и бронзы $C = 1675$, для алюминия $C = 2250$); r — радиус внутренней поверхности отливки, см;

уравнение Константинова

$$n = 5520 / \sqrt{\rho r}, \quad (5.8)$$

где 5520 — эмпирический коэффициент; ρ — плотность сплава, $\text{г}/\text{см}^3$; r — радиус внутренней поверхности отливки, см.

Уравнение (5.8) получено для условия обеспечения минимальной величины эффективной плотности, необходимой для получения качественной отливки со свободной поверхностью. Опытный числовой коэффициент (5520) показывает, что эти условия создаются, если плотность вращающегося расплава на свободной поверхности достигает величины $\rho_{п} = 340 \text{ г/см}^3$.

Применение уравнений (5.7), (5.8) не дает точного результата для определения частоты вращения форм при изготовлении толстостенных отливок, так как на наружной и внутренней поверхностях отливки гравитационный коэффициент существенно различен. Вследствие этого на наружной поверхности таких отливок могут наблюдаться продольные трещины — признак чрезмерных центробежных сил. Уравнения (5.7) и (5.8) дают удовлетворительные результаты только в определенном диапазоне толщин стенок отливок, когда радиус наружной стенки отливки превышает радиус внутренней стенки не более чем в 2 раза, т.е. для относительно тонкостенных отливок.

Для определения допустимого числа оборотов n в случаях, когда развиваемое расплавом давление может привести к возникновению механического пригара или разрушению формы, пользуются формулой

$$n = 423 \sqrt{p / [\rho(R^2 - r^2)]}, \quad (5.9)$$

где 423 — эмпирический коэффициент; p — допустимое давление расплава плотностью ρ на форму, г/см^2 ; R — расстояние от оси вращения до рассматриваемой точки рабочей поверхности формы, см; r — радиус свободной поверхности расплава, см.

Соотношение (5.9) выражает зависимость между скоростью вращения формы и давлением, развиваемым металлом в рассматриваемой точке рабочей поверхности формы.

Необходимость такого расчета возникает при изготовлении фасонных отливок в песчаных формах в основном сырых. По опытными данным разных предприятий критическое давление расплава чугуна или оловянной бронзы составляет от 0,15...0,28 МПа (1500...2800 г/см^2) в формах из сырых смесей до 0,4 МПа в сухих формах и 0,36...0,6 МПа из стержневых смесей.

При изготовлении отливок в формах с вертикальной осью вращения необходимую частоту вращения можно определять по требуемой разностенности отливок

$$n = 423 \sqrt{h / [\Delta x(2r_1 - \Delta x)]}, \quad (5.10)$$

где h — высота отливки, см; Δx — разность толщин стенки отливки в нижнем и верхнем сечениях, см; r_1 — радиус свободной поверхности отливки в ее верхнем сечении, см.

Необходимо иметь в виду, что частота вращения, определенная по формуле (5.10), обеспечивает получение тонкостенной цилиндрической отливки с заданной разностенностью только тогда, когда плотность вращающегося расплава на свободной поверхности будет составлять $\rho_{ц} \geq 200 \text{ г/см}^3$, а для толстостенных отливок $\rho_{ц} \geq 300 \text{ г/см}^3$. Поэтому формула (5.10) предназначена в основном для корректировки числа оборотов формы в тех случаях, когда разностенность отливок, для которых число оборотов формы определялось по уравнениям (5.7) или (5.8), оказывается больше допустимой.

Особенности технологии изготовления фасонных отливок в песчаных формах. Вращение формы и действие поля центробежных сил определяют особенность технологии изготовления фасонных отливок. Оно (вращение) оказывает влияние на скорость заполнения формы расплавом и его взаимодействие с рабочими поверхностями формы и каналами литниковой системы, а также на работу шлакоуловителей и прибылей.

Так, при назначении скорости вращения формы должно учитываться дополнительное давление расплава на ее стенки (см. подразд. 5.1), которое может приводить к изменению геометрии рабочей полости (к подутию формы) и усилению механического пригара. При разработке литниковой системы обращается внимание на действие силы Кориолиса, например на расплав, текущий по литниковому ходу, расположенному в плоскости, перпендикулярной оси вращения. Использование при этом прямых каналов может приводить к их размыванию расплавом и поражению отливок неметаллическими включениями. На рис. 5.18 показаны основные различия литниковых систем, используемых при центробежной и гравитационной заливке.

Литейная форма проектируется с учетом факторов, исключающих возможность значительного дисбаланса, так как в противном случае проявится действие вибрации машины и формы во время вращения и заливки, произойдет разрушение фундамента и преждевременный выход из строя машины.

Припуски на обработку резанием. Эти характеристики зависят от глубины расположения литейных дефектов в стенке отливки. В длинных отливках со свободной поверхностью глубина залегания усадочной зоны невелика вследствие небольших потерь теплоты от излучения. Припуск на обработку внутренней поверхности таких отливок тем больше, чем больше их диаметр, и уменьшается с увеличением длины. Припуски на обработку наружных поверхностей цилиндрических отливок меньше, чем внутренних поверхностей, и составляют для разных толщин стенок отливок, материала покрытия форм и других факторов 2... 12 мм.

Величина припусков зависит от состава заливаемого сплава. Минимальные припуски назначают для отливок из серого чугуна.

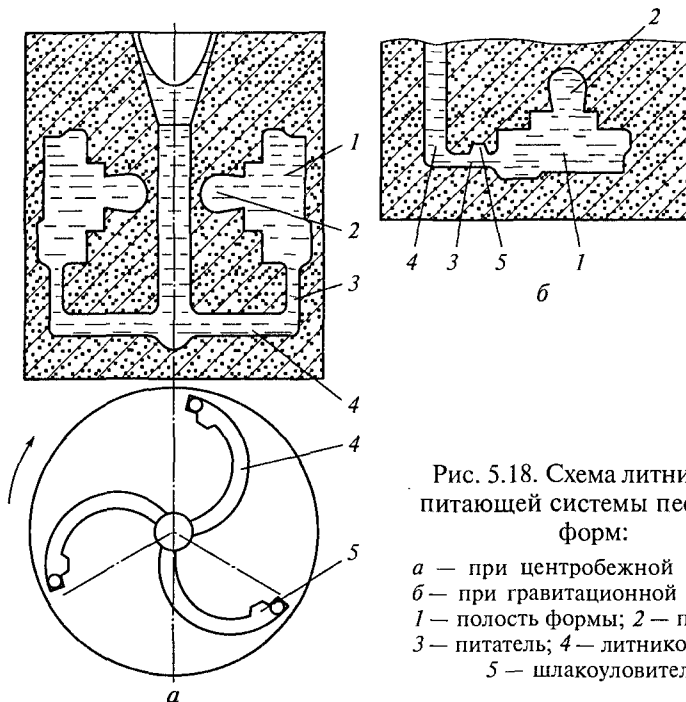


Рис. 5.18. Схема литниково-питающей системы песчаных форм:

- a* — при центробежной заливке;
б — при гравитационной заливке;
 1 — полость формы; 2 — прибыль;
 3 — питатель; 4 — литниковый ход;
 5 — шлакоуловитель

Отливки из медных сплавов, аустенитных и ферритных сталей, из сплавов на никелевой основе имеют припуски больше (сплавы указаны в порядке возрастания припуска).

При изготовлении центробежным способом фасонных отливок их точность и припуски на обработку зависят от вида формы (металлическая, песчаная, керамическая) и соответствуют значениям при обычной заливке.

Скорость заливки. Важным параметром технологического процесса, влияющим на качество отливки, является скорость заливки. При небольшой массовой скорости заливки в отливке возможно возникновение таких дефектов, как спайи и неслитины. Для получения качественных отливок со свободной поверхностью во всех случаях необходимо, чтобы в процессе заливки толщина затвердевшего слоя была и сохранялась меньшей по сравнению с толщиной слоя залитого металла. С целью исключить первое и обеспечить второе условие вначале ведут заливку формы с высокой скоростью, а затем ее снижают. Этим создаются условия для направленного затвердевания отливки, снижаются давление на затвердевающую оболочку и интенсивность ликвационных процессов.

ДРУГИЕ СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ЛИТЬЯ

6.1. Литье по газифицируемым моделям

Способ был предложен и запатентован в США в 1958 г., и уже в начале 1960-х гг. его стали применять в разных странах для получения отливок (так, в 1962 г. объем производства составлял 15 тыс. т). В настоящее время объем выпуска отливок в мире этим способом оценивается в сотни тысяч тонн.

Суть способа. Эту развивающуюся технологию можно отнести к группе способов получения отливок в неразъемных формах по разовой модели как литье по выплавляемым моделям (см. гл. 1). Но в отличие от данных сходных способов модель удаляется (газифицируется) не до заливки, а в процессе заливки формы металлом, который, вытесняя (замещая) «испаряющуюся модель» из формы, занимает освободившееся пространство полости формы.

Современные варианты технологического процесса заключаются в следующем.

Разовые пенополистироловые модели изготавливают либо засыпкой в специальные металлические пресс-формы (массовое и крупносерийное производство) суспензионного полистирола в виде подвспененных гранул, либо механической обработкой нормализованных пенополистироловых плит (мелкосерийное, единичное производство). Сложные модели делают по частям. Отдельные части и литниковую систему соединяют в единый блок склеиванием или сваркой.

Собранную модель (рис. 6.1, *а*) окрашивают слоем огнеупорной краски и сушат на воздухе. В итоге получается огнеупорная газопроницаемая оболочка, прочно связанная с пенополистироловой моделью.

Готовую модель устанавливают в специальную опоку-контейнер, засыпают зернистым огнеупорным наполнителем без связующего, уплотняют его вибрацией, закрывают металлической крышкой с отверстиями, нагружают и устанавливают литниковую чашу (рис. 6.1, *б*).

При изготовлении отливок, более сложных, чем показано на рис. 6.1, контейнер после подачи опорного материала закрывают сверху полиэтиленовой пленкой, как при вакуумной формовке. Чтобы уменьшить вероятность разрушения формы в ней создают

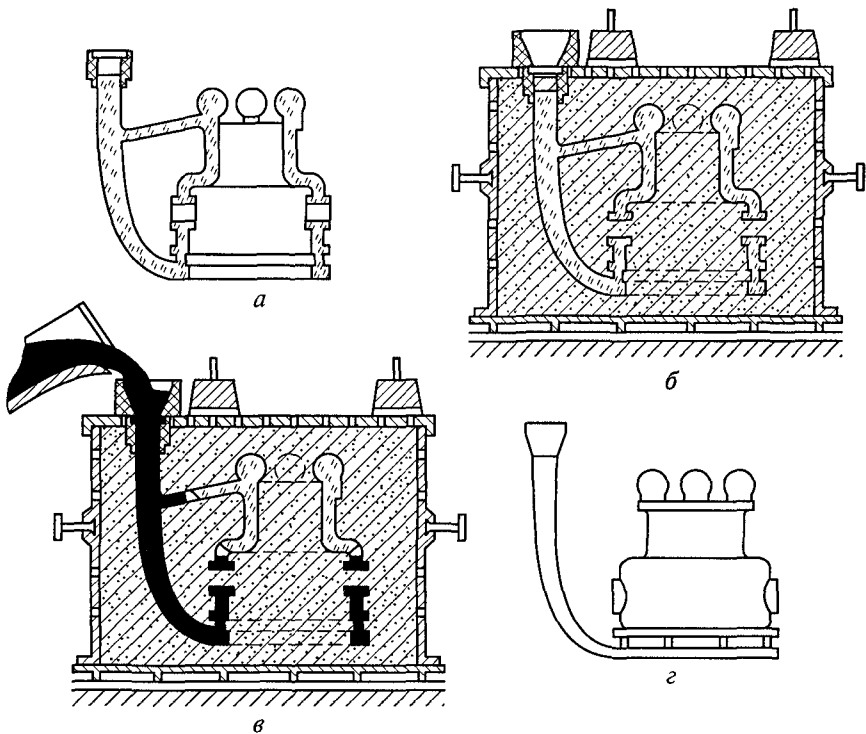


Рис. 6.1. Схема изготовления отливки по газифицируемой модели:

а — пенополистироловая модель отливки; *б* — форма, подготовленная к заливке; *в* — заливка формы, газификация модели; *г* — отливка с элементами литниковой системы

разрежение до 0,04...0,05 МПа. При изготовлении крупных массивных отливок используют обычные холоднотвердеющие жидкоподвижные или сыпучие формовочные смеси.

Приготовленную форму заливают жидким металлом (рис. 6.1, *в*). Из-за относительно низкой температуры газификации пенополистирола (около 560 °С) модель газифицируется под воздействием теплоты заливаемого металла и таким образом полость формы постепенно освобождается для жидкого металла.

После затвердевания и охлаждения отливки опоку-контейнер переворачивают, наполнитель высыпается, отделяясь от отливки, и она (отливка) (рис. 6.1, *г*) поступает на финишные операции. В случае использования обычных формовочных смесей форму выбивают на выбивных решетках.

Главная особенность способа (применение неразъемной формы) определяет его основное преимущество для качества готовых отливок — повышение точности отливок благодаря сокращению

числа частей формы, стержней, а следовательно, и возможных искажений конфигурации и размеров отливок, связанных с изготовлением и сборкой этих элементов формы. Точность отливок при литье по газифицируемым моделям в песчаные формы без связующего и с ним характеризуется ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989) идентично точности отливок, получаемых в кокиль или в облицованный кокиль со стержнями. Отливки с размерами до 500 мм могут иметь точность от 7-го до 12-го класса по ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989). Шероховатость поверхности $Rz = 25 \dots 10$ мкм.

Кроме того, способ позволяет существенно снизить затраты и сократить время процесса, особенно в мелкосерийном и единичном производстве средних и крупных отливок.

К настоящему времени областями применения литья по газифицируемым моделям являются следующие:

- изготовление средних и крупных массивных отливок в условиях опытного и мелкосерийного производства;
- изготовление сложных отливок массой до 50 кг с повышенной точностью размеров в условиях серийного и крупносерийного производства из черных и цветных сплавов. К таким отливкам можно отнести, например, отливку типа «блок цилиндров» для автомобильного двигателя.

Модельные материалы. В качестве материала для изготовления газифицируемых моделей служит вспенивающийся полистирол, который представляет собой синтетический полимерный продукт суспензионной полимеризации стирола в присутствии эмульгатора, стабилизатора и порообразователя. В качестве порообразователя чаще всего используют изопентан. Применяемые для моделей гранулы вспенивающегося полистирола представляют собой полупрозрачные или белые непрозрачные шарики диаметром до 3,2 мм с внешней твердой полистироловой оболочкой, внутри которой находится жидкая фаза — изопентан. Чем тоньше стенки модели, тем мельче должны быть гранулы вспенивающегося полистирола. При нагреве до 27,9 °С изопентан закипает и превращается в газ с увеличением объема, а при 80...90 °С полистирольная оболочка размягчается и под действием давления газа деформируется. Происходит рост объема гранул в 10—40 раз. Этот процесс называется «вспениванием гранул полистирола». При вспенивании гранул в замкнутом объеме они спекаются в монолитную пену — пенополистирол, точно воспроизводя конфигурацию ограничивающей его рост конструкции.

Для изготовления отливок по газифицируемым моделям пенополистирол должен обладать следующими свойствами:

- при плотности 20...30 кг/м³ иметь достаточную технологическую прочность ($\sigma_{изг} = 0,1 \dots 0,2$ МПа), чтобы сохранять размеры и конфигурацию моделей в процессе их изготовления, хранения, транспортировки и формовки;

- иметь минимальную и стабильную усадку (0,15...0,2%) на всех стадиях технологического процесса;
- обладать достаточной скоростью газификации, чтобы заливаемый металл успевал заполнить полость формы до его кристаллизации;
- при газификации разлагаться с минимальным содержанием коксообразующих продуктов во избежание появления засоров в отливках.

Изготовление газифицируемых моделей. Процесс получения моделей в массовом и крупносерийном производстве состоит из двух стадий: предварительное вспенивание в свободном состоянии исходных гранул вспенивающегося полистирола и окончательное вспенивание гранул в замкнутой полости пресс-формы — получение модели из пенополистирола.

Предварительное вспенивание гранул. Предварительная тепловая обработка вспенивающегося полистирола необходима для получения впоследствии газифицируемой модели с заданной объемной массой (плотностью), которая определяет прочность модели и качество поверхности. Вспенивающая способность гранул заданной дисперсности определяется температурой и временем тепловой обработки (рис. 6.2). С увеличением времени тепловой обработки объемная масса возрастает и, соответственно, полезно уменьшается насыпная масса подвспененных гранул. Хотя повышение температуры обработки приводит к сокращению времени, при котором гранулы достигают максимального объема, однако процесс становится нестабильным и передержка гранул выше температуры 95 °С приводит к потере их активности и усадке. Это связано с увеличением скорости деформации полистироловой оболочки гранул при повышении температуры, в результате чего стенки отдельных ячеек гранул разрушаются и происходит потеря пенообразователя. Поэтому гранулы полистирола предварительно

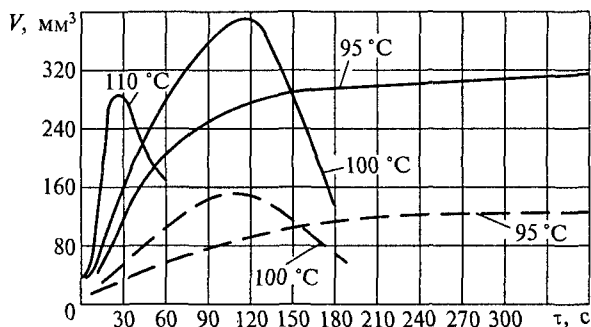


Рис. 6.2. Увеличение объема V гранул пенополистирола в зависимости от температуры (цифры у кривых) и времени τ подвспенивания: сплошные линии — начальный размер гранул 2,5 мм; штриховые — то же, 1,5 мм

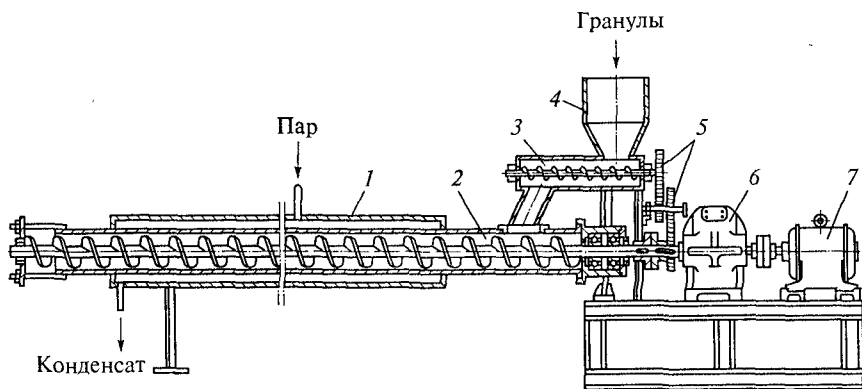


Рис. 6.3. Схема установки непрерывного действия для предварительного вспенивания гранул пенополистирола:

1 — паровая рубашка; 2 — камера вспенивания; 3 — питатель; 4 — бункер для гранул вспенивающегося полистирола; 5 — привод дозатора; 6 — редуктор; 7 — электродвигатель

вспенивают в ваннах с горячей ($95 \dots 100^\circ\text{C}$) водой в течение $1 \dots 10$ мин, применяют также для нагрева пар или токи высокой частоты.

В условиях крупносерийного и массового производства чаще всего используют перегретый пар. На рис. 6.3 показана установка непрерывного действия для предварительного вспенивания гранул полистирола. Гранулы полистирола загружают в бункер 4, из которого с помощью тарельчатого питателя они попадают в камеру вспенивания, обогреваемую паром. В процессе вспенивания гранулы продвигаются в ней с помощью шнека. Режим вспенивания регулируется подачей пара и скоростью прохождения гранул полистирола по камере. Температура вспенивания $96 \dots 98^\circ\text{C}$, продолжительность $1 \dots 2$ мин. Производительность установки можно менять в пределах $1 \dots 2,5 \text{ м}^3/\text{ч}$.

На предприятиях с небольшим объемом производства предварительное вспенивание целесообразно проводить в горячей воде. Для этого исходные гранулы полистирола помещают в воду с температурой $95 \dots 100^\circ\text{C}$ и выдерживают необходимое время при постоянном помешивании, чтобы обеспечить равномерность тепловой обработки и исключить слипание гранул. После выдержки, необходимой для подвспенивания гранул до заданной насыпной массы, их извлекают и засыпают на стеллажи с сетчатым дном для просушивания и выдержки на воздухе.

После предварительного вспенивания гранулы выдерживают на воздухе от 6 ч до 2 сут. В этот период оболочка гранул, охлаждаясь, вновь переходит в стеклообразное твердое состояние, а пары изопентана конденсируются, что приводит к возникновению ваку-

ума в гранулах. В процессе выдержки происходит диффузия воздуха внутрь гранул и давление выравнивается. Для сокращения времени выдерживания можно использовать их выдержку при повышенном до 0,2... 0,3 МПа давлении.

Изготовление моделей в пресс-формах. Процесс заключается в повторном нагреве подвспененных и активированных гранул полистирола, помещенных в пресс-форму, в результате которого они окончательно вспениваются и спекаются между собой, образуя пенополистироловую модель отливки.

Подготовленные гранулы засыпают или задувают сжатым воздухом в смазанную специальной смазкой (чтобы исключить прилипание к модели) рабочую полость пресс-формы так, чтобы они полностью заполнили ее объем. Смазками служат: раствор синтетического термостойкого каучука (СТК), силиконовая жидкость, глицерин. Смазка рабочей поверхности пресс-формы кремнийорганическими соединениями позволяет получать 10—15 моделей без ее возобновления.

Нагрев гранул в крупносерийном и массовом производстве целесообразно проводить способом так называемого «теплового удара»:

перегретый пар с температурой 125... 135 °С под давлением 0,2... 0,35 МПа подают непосредственно в пресс-форму (рис. 6.4), заполненную гранулами полистирола. Проходя между гранулами, турбулентный поток пара интенсивно вытесняет воздух, находящийся в порах засыпки, и равномерно по всему объему нагревает полимерный материал, который окончательно вспенивается; образующийся конденсат под действием расширяющихся гранул отжимается к стенкам пресс-формы и удаляется через специальные дренажные отверстия.

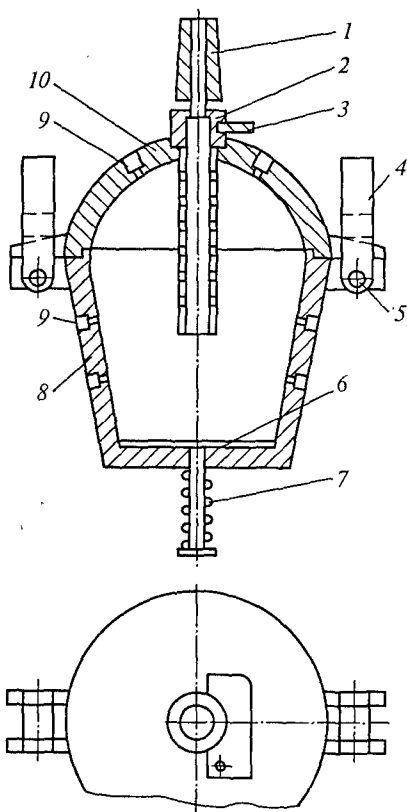


Рис. 6.4. Пресс-форма с инжектором для получения модели массивной прибыли с помощью теплового удара:

1 — шланг; 2 — инжектор; 3 — замок инжектора; 4 — зажим; 5 — ось зажима; 6 — толкатель; 7 — пружина толкателя; 8, 10 — нижняя и верхняя половины пресс-формы; 9 — отверстия в пресс-форме

По мере развития этого процесса уменьшаются проходные сечения между вспенивающимися гранулами и, когда гранулы полностью плотно перекрывают входные отверстия в пресс-форму, поступление пара в нее прекращается, т. е. процесс заканчивается автоматически. Глубина эффективного проникновения пара в засыпку гранул полистирола составляет в среднем 100 мм. Когда толщина модели превышает эту величину, в полости пресс-формы размещают перфорированные инжекторы 2 (см. рис. 6.4) для подачи пара. Модели, полученные способом теплового удара, имеют принятую для газификации плотность ($20 \dots 30 \text{ кг/м}^3$) и низкую шероховатость поверхности. Длительность тепловой обработки составляет в среднем 2...3 мин. Процесс легко контролируется и автоматизируется, но требует специальных конструкций пресс-форм и оборудования. При небольших объемах производства чаще используют более простые, но менее производительные способы:

в а н н ы й, когда пресс-форма с подвспененными гранулами помещается в ванну с водой, нагретую до кипения (по окончании процесса пресс-форму охлаждают в проточной воде);

а в т о к л а в н ы й, когда перфорированная пресс-форма, заполненная гранулами, помещается в автоклав, куда подается «острый» пар при давлении 0,13...0,145 МПа при температуре 105...115 °С. Перфорация пресс-формы в виде отверстий в стенках диаметром 0,5...1,5 мм, а лучше щелей шириной 0,25...0,5 мм служит для подачи пара внутрь пресс-формы, а также для удаления воздуха и конденсата во время расширения и спекания гранул.

Автоклавный метод позволяет получать модели с плотностью около 25 кг/м^3 и чистой поверхностью, что труднодостижимо при ванном способе. Существенным недостатком автоклавного способа является его большая длительность (10...40 мин) при толщине стенок модели 5...100 мм.

Пресс-формы для пенополистироловых моделей. Общими требованиями к материалам для изготовления пресс-форм являются высокие теплопроводность, стойкость против коррозии при контакте с теплоносителем (горячей водой, паром), достаточная механическая прочность и минимальная адгезия к пенополистиролу.

Чаще всего в качестве материала основных элементов пресс-форм используют алюминиевые сплавы, реже медные и сталь. Стальные пресс-формы для предупреждения коррозии хромируют. Иногда используют пластмассы с наполнителями, повышающими их теплопроводность. Температура размягчения пластмасс не должна быть ниже 150 °С.

Для быстрого нагрева гранул, снижения затрат на теплоноситель и равномерного протекания процесса формирования моделей на всех стадиях (нагрев, охлаждение) корпуса пресс-форм делают равностенными (8...10 мм). Тем не менее, пресс-форма должна быть

достаточно прочной и жесткой, так как в ее рабочей полости возникает давление от вспенивающегося полистирола до 0,6 МПа.

Стенки пресс-формы должны иметь перфорацию для отвода из нее воздуха, пара или воды. Отверстия или щели выполняются с шагом 30...100 мм в зависимости от габаритов пресс-формы и конфигурации модели. Соотношение суммарных площадей выходных и входных вент должно составлять 0,7...0,9, его подбирают для каждого конкретного случая. Отверстия, служащие для заполнения пресс-форм предварительно вспененными гранулами, должны иметь специальные затворы.

Конструктивное оформление пресс-форм должно обеспечивать возможность извлечения из нее модели, иметь системы центрирования и крепления отдельных частей, загрузки гранул, подачи теплоносителя, толкателей, охлаждения и крепления к машине при механизированном изготовлении и т.д. В целом пресс-форма тем сложнее и дороже, чем сложнее и крупнее изготавливаемая в ней модель, а также чем полнее степень механизации и автоматизации процесса изготовления модели.

Изготовление моделей из пенополистироловых плит. В качестве материала используют готовые пенополистироловые плиты марки ПС-Б и ПС-БС с габаритами до 1000×700×100 мм. Плотность плит 20...25 кг/м³, $\sigma_{изг} = 0,09...0,23$ МПа при 5%-ной деформации; остаток после испарения образца не более 2 мас. %; скорость плавления около 25 мм/с.

Пенополистирол легко обрабатывается на обычных деревообрабатывающих станках. Чистовую обработку, стругание, фугование, фрезерование и другие операции ведут на больших скоростях резания при малых подачах, используя инструмент с мелкой насечкой, тонкие наждачные круги и шлифовальную шкурку.

Одним из способов обработки пенополистирола является обработка горячей электронагреваемой нихромовой проволокой. Температура нагрева режущей проволоки обычно 300...450 °С. Преимущество данного способа заключается в том, что гранулы пенополистирола не выкрашиваются, а оплавляются по разрезаемой поверхности и закрывают поры.

Обычно сложные модели изготавливают из отдельных частей простой геометрической формы с последующим их склеиванием. Мелкие галтели выполняют клейкой лентой, при больших радиусах их также изготавливают из отдельных конструктивных элементов. Некоторые стандартизованные элементы модели (бобышки, запоры, прибыли и т.д.), применяемые на разных моделях, можно изготавливать вспениванием в пресс-форме и затем их приклеивать.

Для соединения составных частей модели, элементов литниковой системы, блоков моделей широко применяют полимерные клеи, нерастворимые в воде, которые обеспечивают быстрое склеивание, не содержат растворителей пенополистирола и не влия-

ют на характер его газификации. Примером являются поливинилацетатный лак, карбамидная смола МФ-17, клей БФ-2 и др. Можно применять водные клеи на основе казеина или декстрина, но они сохнут медленно. Соединение частей модели можно выполнять термической сваркой или сваркой растворением.

Термическая сварка осуществляется с помощью струи воздуха, нагретого до 105... 130 °С. В качестве присадочного материала используют прутки из пенополистирола. Наплывы в местах сварки устраняют заглаживанием нагретым инструментом.

Для сварки растворением пенополистирол растворяют в стироле, толуоле, дихлорэтано до достижения консистенции киселя. Полученный состав наносят тонким слоем на соединяемые поверхности, при этом материал модели несколько растворяется. После соединения поверхностей и выдержки в течение 8... 10 мин под небольшим давлением образуется прочный однородный с материалом модели соединительный шов.

Пенополистироловые модели значительно дешевле, чем деревянные, что особенно важно в единичном производстве. Время, затрачиваемое на их изготовление, в 2—3 раза меньше, при этом не расходуется древесина высокого качества.

Собранные модели и модельные блоки покрывают противопопригарной краской или суспензией толщиной 0,2... 2,0 мм. После сушки покрытие предохраняет отливку от пригара и повышает прочность модели. Важным показателем покрытия является его газопроницаемость, которая должна обеспечивать выход газов, образующихся при газификации, из зазора между моделью и расплавом. В состав красок, который зависит от типа сплава и массы отливки, материала формы, могут входить циркон, графит (для чугуна), пылевидный кварц, дистен-силлиманит (алюминиевые сплавы), каменноугольная или древесная пыль (медные сплавы) и т. д. В качестве связующего используют гидролизованный раствор этилсиликата, цемент, гипс, искусственные смолы. Для повышения газопроницаемости добавляют суспензию пористых материалов — асбест, пемзу и др. Противопопригарную краску на модель наносят разными способами — окунанием, кистью или распылением.

Изготовление литейных форм. В крупносерийном и массовом производстве отливок по газифицируемым моделям наиболее распространенными для изготовления форм являются сыпучие формовочные материалы без связующего: кварцевые, оливковые, цирконовые пески, шамот, магнезит, электрокорунд. Их использование позволяет получать отливки при наименьших затратах на изготовление и выбивку форм, регенерацию формовочного материала. Чаще всего используют кварцевый песок для отливок из алюминиевых сплавов массой до 100 кг и из черных сплавов до 500 кг.

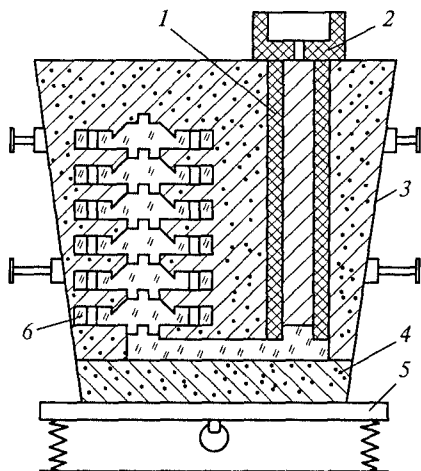


Рис. 6.5. Изготовление формы с пенополистироловой моделью с засыпкой песком без связующего:

1 — керамический стояк; 2 — чаша; 3 — опока-контейнер; 4 — предварительная засыпка песка; 5 — вибратор; 6 — блок моделей

Процесс формовки осуществляют следующим образом (рис. 6.5). На дно опоки-контейнера 3 насыпают слой сухого песка 4 толщиной 100... 150 мм и его уплотняют вибрацией. Затем в опоку устанавливают модель или блок моделей 6 и заполняют опоку песком при одновременной вибрации.

Опока-контейнер также имеет в стенках отверстия для выхода газа, закрытые металлической сеткой. Для обеспечения высокой газопроницаемости формы (несколько сотен единиц) предпочтительно, чтобы зерна песка имели угловатую форму. Особые требования предъявляются к литниковым системам. Они должны обеспечивать плавное и безударное движение металла во время заливки и определенную скорость его подъема в форме. Турбулентный режим течения металла является причиной разрушения песчаной стенки. Такой режим возникает в стояке, поэтому на модель стояка наносят прочное керамическое покрытие или выполняют его из керамических трубок. При литье по газифицируемым моделям не используют выпоры и открытые прибыли.

После получения отливки и выбивки форм песок просеивают и охлаждают, так как из-за низкой термостойкости моделей применять горячий песок нельзя. При необходимости проводят магнитную сепарацию песка, периодически его прокаливают при 300... 400 °С для выжигания продуктов конденсации, которые, накапливаясь, ухудшают газопроницаемость песка.

Формы для получения массивных и сложных отливок, а также крупных отливок в единичном и мелкосерийном производстве изготавливают из формовочных смесей. Формовочные смеси для получения отливок по газифицируемым моделям должны иметь повышенные газопроницаемость (не менее 180... 120 ед.) и пластичность. Из-за низкой прочности моделей такие методы уплотнения, как встряхивание и прессование, неприемлемы.

Наиболее предпочтительны самотвердеющие жидкоподвижные смеси (ЖСС), которые имеют необходимые прочность и газопроницаемость, позволяют уменьшить опасность деформации модели при формовке. Процесс изготовления из них форм легко меха-

низировать и автоматизировать. Основные компоненты этих смесей: кварцевый песок, жидкое стекло, феррохромовый шлак и поверхностно-активные вещества. Недостатком использования ЖСС является повышенная трудоемкость их выбивки.

Также широко используют сыпучие пластичные твердеющие смеси: песчано-цементные, смеси со смоляным связующим.

Заливка форм. Режимы этого этапа оказывают решающее влияние на качество получаемых отливок. Предпочтительным вариантом является плавное поступление металла в форму снизу с оптимальной скоростью и последовательная газификация модели снизу вверх.

На рис. 6.6 представлена схема заполнения металлом формы с газифицируемой моделью. Идеальный случай, когда скорость подъема металла при заданной температуре соответствует скорости плавления модели, т. е. когда происходит замещение материала модели жидким металлом. В постоянном зазоре между металлом и моделью возникает давление газа, достаточное для его интенсивной фильтрации в форму и предупреждения возможного обрушения формы в зазоре при использовании песка без связующего¹. Жидкая фаза полистирола успевает разложиться до газообразных и твердых составляющих. Причем твердые частички углерода фильтруются через стенки формы вместе с газовой составляющей.

При скоростях подъема металла меньше скорости деструкции модели зазор между ней и металлом увеличивается, давление в зазоре уменьшается (рис. 6.6, а). Твердые частички пироуглерода могут попадать на зеркало металла, образуя соответствующие дефекты. Увеличивается опасность обрушения стенок формы в зазоре.

При высоких скоростях заполнения, превышающих продвижение фронта деструкции модели (рис. 6.6, в), металл охватывает модель. Скапливающаяся на поверхности жидкого металла твердая фаза прижимается к верхней части формы, приводя к образованию газовых дефектов в отливке.

Подъем уровня металла в форме, подаваемого снизу с постоянной скоростью, можно обеспечить, применяя сифонную литниковую систему с незаполненным стояком.

Расчет литниковой системы. Расчет начинают с определения объемного расхода металла при заливке Q , см³/с:

$$Q = F_0 v_{\text{мет}},$$

где F_0 — минимальная площадь сечения отливки в плоскости, перпендикулярной направлению поступления металла в форму; $v_{\text{мет}}$ —

¹ Отмеченное выше вакуумирование формы создает дополнительное упрочнение ее материала и позволяет уменьшить вероятность обрушения формы в зазоре между моделью и расплавом. Такую же роль играет магнитное поле при заливке в случае использования ферромагнитных дисперсных материалов в качестве опорного наполнителя.

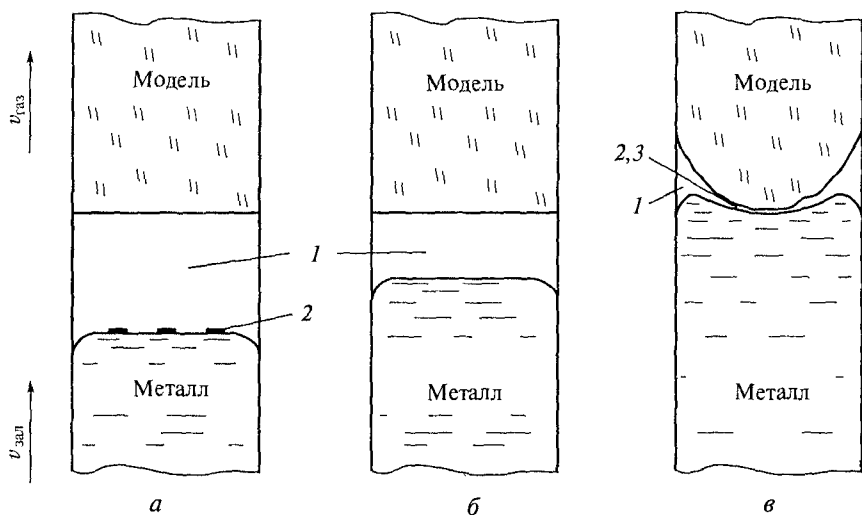


Рис. 6.6. Схема процесса заполнения формы при литье с газифицируемой моделью:

a — скорость заливки (подъема) металла $v_{\text{зал}}$ меньше скорости газификации модели $v_{\text{газ}}$; *б* — $v_{\text{зал}} \approx v_{\text{газ}}$; *в* — $v_{\text{зал}} > v_{\text{газ}}$; 1, 2 и 3 — соответственно газообразные, твердые и жидкие продукты разложения модели

скорость подъема уровня металла в форме. Рекомендации по оптимальной скорости подъема металла в форме приведены в табл. 6.1.

Для мелких отливок массой до 100 кг диаметр отверстия в литниковой чаше, определяющий расходную характеристику системы, равен, см:

$$D_{\text{ч}} = \sqrt{F_0 v_{\text{мет}} / (0,785 \mu_{\text{ч}} \sqrt{2gh_{\text{ч}}})},$$

где $\mu_{\text{ч}}$ — коэффициент расхода отверстия чаши, равен 0,8...0,9; g — ускорение свободного падения (9,81 м/с²); $h_{\text{ч}}$ — высота напора в чаше, см.

Таблица 6.1

Рекомендуемые скорости подъема уровня металла в форме

Толщина стенки отливки, δ , мм	Оптимальная скорость $v_{\text{мет}}^{\text{опт}}$, см/с		Максимально допустимая скорость $v_{\text{мет}}^{\text{max}}$, см/с	
	Чугун	Сталь	Чугун	Сталь
10	2,5	5,0	3,5	7,0
20	2,0	4,0	3,0	6,0
40	1,5	3,0	2,5	5,0

Площадь поперечного сечения стояка $F_{ст}$ из условий предотвращения выброса металла из формы под действием газов, выходящих из модели в начальный момент заливки, равна, см²:

$$F_{ст} = n G_0 / [\rho_0 (h_0 + h_{изб})],$$

где n — коэффициент, равный 1,3...0,5; G_0 — масса отливки, г; ρ_0 — плотность металла отливки, г/см³; h_0 — высота отливки, см; $h_{изб}$ — избыточный напор, принимаемый равным 810 см.

Площадь поперечного сечения питателей $F_{пит}$ для массивных отливок равна $0,5F_{ст}$, для тонкостенных отливок сложной конфигурации — $F_{ст}$, а в некоторых случаях $1,5F_{ст}$.

Для крупных отливок при заливке из стопорного ковша необходимо согласовывать диаметр стопорного отверстия с диаметром отверстия в чаше по известной методике П. Ф. Василевского. Другие элементы литниковой системы находят из соотношения

$$F_{ст} : F_{л.х} : F_{п.пит} : F_{с.пит} = 1,0 : 1,3 : 1,3 : 1,5,$$

где $F_{ст}$, $F_{л.х}$, $F_{п.пит}$, $F_{с.пит}$ — площади сечения соответственно стояка, литникового хода, прямого питателя и сифонного питателя.

Одним из специфических эффектов, присущих данному способу, является науглероживание поверхности стальных отливок, особенно заметное на малоуглеродистых сталях. Глубина науглероженного слоя, зависящая от состава стали, толщины стенки и высоты отливки, может достигать 10 мм. Для уменьшения этого явления в форму при заливке можно подавать CO₂ или инертный газ.

Механизация и автоматизация процесса. Технологический процесс изготовления форм по газифицируемым моделям при использовании песка без связующего позволяет автоматизировать многие операции цикла. На рис. 6.7 приведена автоматизированная линия для изготовления отливок из черных и цветных сплавов, разработанная итальянскими фирмами «ФАТА» и «Тексид».

Суспензионный полистирол рассеивается по фракциям на установке 1 и подается в предвспениватель 2, после чего пневмотранспортом перемещается на участок изготовления моделей, в бункер-накопитель 3 и далее к автоматам 4 для изготовления моделей. С целью упрощения конструкции пресс-форм модели делают по частям (чаще всего по половинкам). После изготовления частей моделей они передаются по конвейеру на стол 5 для комплектования, где раскладываются по ящикам, и далее поступают на полуавтоматы 7 для склеивания частей. Собранные модели по конвейеру 8 поступают на участок, где на специальных полуавтоматах 9 собираются в модельные блоки, которые на специальных подвесках по конвейеру 10 поступают в камеру 11 для окраски и далее в камеру сушки (сушило) 12. После выхода из сушила модельные блоки манипулятором 13 перевешиваются на конвейер 14, который подает

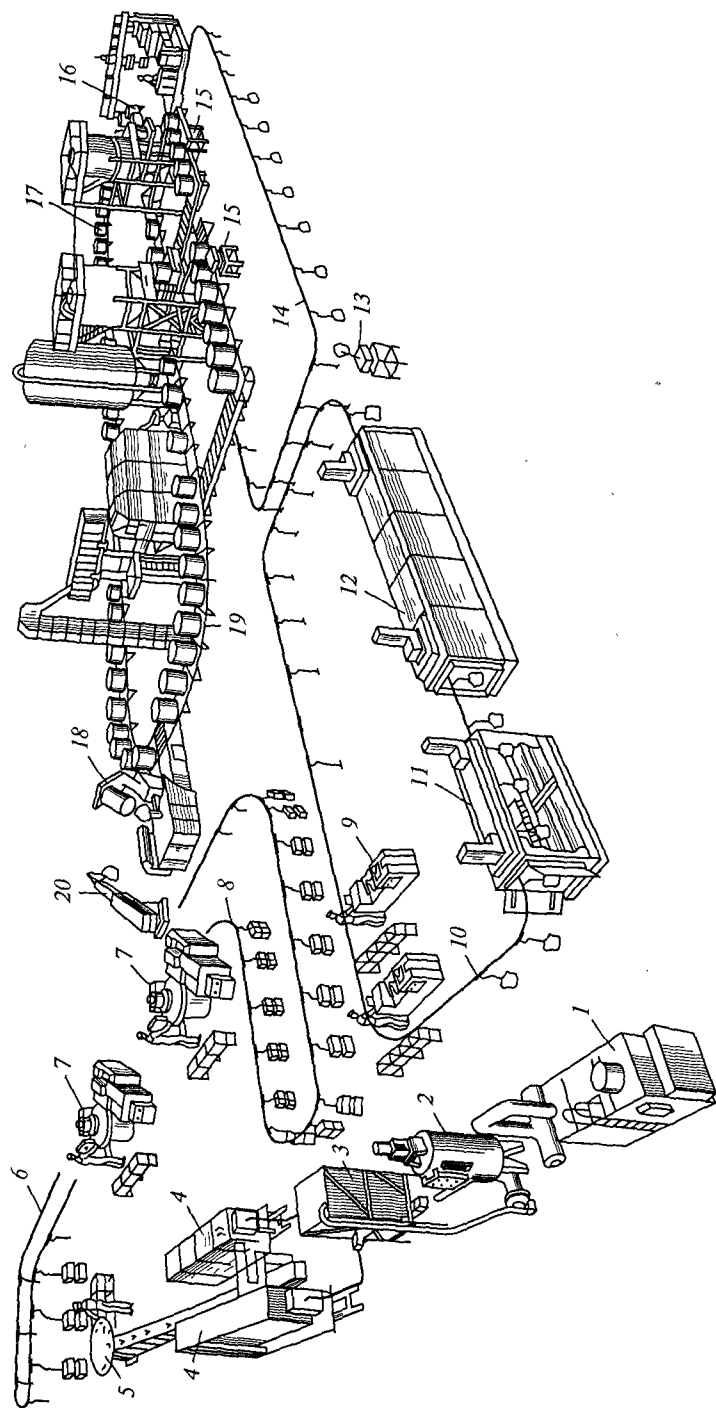


Рис. 6.7. Схема полуавтоматической линии изготовления отливок по газифицируемым моделям:

1 — установка-классификатор гранул полистирола; 2 — предвспениватель; 3 — бункер для выдержки и накопления; 4 — автомат-вспениватель; 5 — стол комплектации; 6, 8, 10, 14, 17, 19 — конвейеры; 7 — полуавтоматы для склеивания модельного блока; 9 — автомат для сборки моделей в блоки; 11 — камера окраски моделей; 12 — камера сушки; 13, 18, 20 — манипуляторы; 15 — формовочные столы; 16 — участок заливки

их на участок формовки 15. Здесь манипуляторы снимают блоки с конвейера и помещают их в опоки-контейнеры, удерживая блоки в вертикальном положении во время засыпки песком. Затем формы с блоками моделей подаются на участок 16, где заливаются с использованием робота-заливщика, который перемещается с ковшем расплавленного металла от плавильной печи к месту заливки. После заливки формы охлаждаются, перемещаясь по конвейеру 17 к месту выбивки, где с помощью манипулятора 18 опрокидываются на выбивную решетку. Затем пустые опоки по конвейеру 19 возвращаются на участок формовки, а отливки с помощью манипулятора 20 загружаются в транспорт для подачи на участок финишной обработки.

Следует отметить, что подобные автоматизированные линии могут быть многономенклатурными — производить различные отливки без переналадки самой линии, что является предпосылкой для создания гибких производственных систем.

В качестве недостатков способа литья по газифицируемыми моделям следует указать на безвозвратные потери материала разовой модели и на выделение токсичных продуктов термодеструкции модели, что требует проведения соответствующих защитных мероприятий. В варианте процесса с вакуумированием формы во время ее заливки продукты термодеструкции модели могут поступать непосредственно из формы в установку для каталитического их дожигания до диоксида углерода и паров воды.

6.2. Литье по моделям, полученным методом лазерной стереолитографии

Суть процесса. Этот процесс предназначен для изготовления опытных партий отливок деталей разного назначения в автомобилестроении, авиастроении, ракетной и космической технике, его используют для медицинских целей и получения художественных изделий.

Лазерная стереолитография (ЛС) основана на полимеризации, фотоинициированной лазерным излучением, а также излучением ртутных или люминесцентных ламп. В основе этой технологии — создание с помощью иницилирующего (например, лазерного) излучения в жидкой реакционноспособной среде активных центров (радикалов, ионов, активированных комплексов), которые, взаимодействуя с молекулами мономера, вызывают рост полимерных цепей, т. е. процесс полимеризации. Вследствие полимеризации происходит изменение фазового состояния среды — в обработанной области образуется твердый полимер.

Особенности технологического процесса. Технология предусматривает создание трехмерной электронной модели будущей отливки

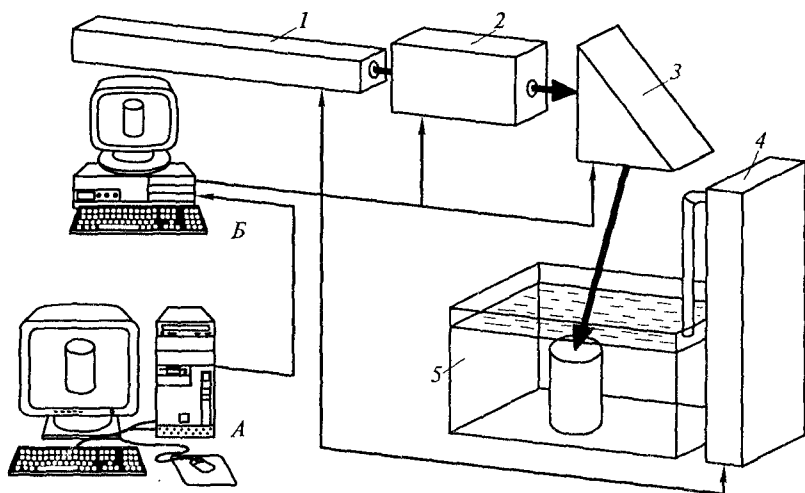


Рис. 6.8. Схема установки для изготовления моделей с использованием лазерной стереолитографии:

1 — HeCd-лазер; 2 — акустико-оптический затвор; 3 — двухкоординатный сканер; 4 — элеватор; 5 — емкость с жидким фотополимером; А — компьютерное моделирование и подготовка данных для системы управления установкой; Б — управляющий компьютер

ки системой САД, которая разбивается на тонкие слои. Затем на лазерной стереолитографической установке эти слои реально воссоздаются и соединяются воедино. В результате выстраивается физический объект в виде мастер-модели из фотополимера для литья по выжигаемым моделям.

Полученная модель с литниковой системой формируется в гипсодинасовой смеси. Форму прокаливают до полного удаления мастер-модели. Для обеспечения высокого качества отливок заливку форм можно производить на установке для центробежного литья. Затем форму разрушают, отделяя литниковую систему и зачищая детали.

Преимущества процесса — резкое (в 5—10 раз) сокращение времени на разработку и внедрение новых изделий; значительное сокращение времени и средств на технологическую подготовку производства, полное исключение ручного труда при изготовлении мастер-модели; изготовление сложных деталей (моделей) и оснастки, спроектированных в разных САПР; достижение высокой точности изготавливаемых отливок.

Схема установки приведена на рис. 6.8 (техническая характеристика: отклонения размеров моделей не более 0,1 мм; габаритные размеры до 250 × 250 × 250 мм; масса модели не более 5 кг). Отливки могут быть изготовлены из любого литейного материала.

6.3. Непрерывное и полунепрерывное литье

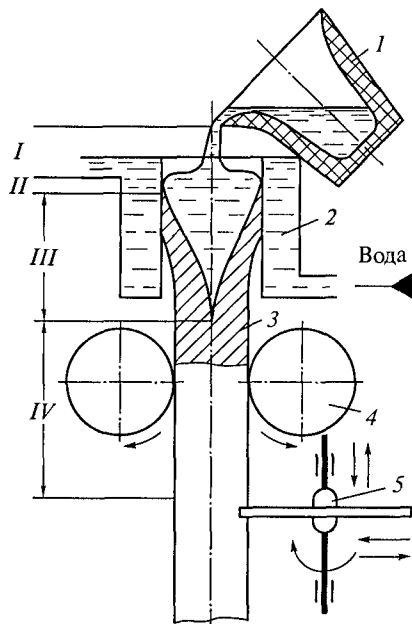
Суть способа. Непрерывное литье (непрерывная разливка металла) предполагает разливку расплава непосредственно из плавильной печи или ковша в водоохлаждаемый кристаллизатор, из которого затвердевшая отливка непрерывно вытягивается с помощью затравки и специального привода. Полунепрерывное литье является той разновидностью способа, в которой через определенные промежутки времени все механизмы возвращаются в исходное состояние, и процесс повторяется.

Процесс непрерывного литья осуществляется следующим образом (рис. 6.9). Расплав из ковша 1 равномерно и непрерывно поступает в водоохлаждаемую металлическую форму-кристаллизатор 2. Подача первых порций расплава начинается тогда, когда в выпускное отверстие кристаллизатора установлена соединенная с приводом затравка, поперечное сечение которой повторяет сечение отливки. Частично затвердевшая зона 3 отливки (слитка, прутка, заготовки прямоугольного, квадратного сечения, трубы, станины станка и др.) непрерывно извлекается валками 4 или иными устройствами. Если требуется, отливку разрезают на заготовки пилой 5.

Идея этого метода зародилась в металлургической промышленности в XIX в., в эпоху промышленного освоения производства стали. Цель, которую ставили металлурги при разработке этого процесса, заключалась в получении литой заготовки такого сечения, которое позволило бы уменьшить число проходов при ее прокатке и усилия прокатки, а также в повышении производительности. Однако эта проблема была решена только во второй половине XX в. В настоящее время непрерывное литье широко используется в металлургической промышленности для разливки стали, цветных металлов и сплавов в слитки, получения чугунных напорных труб, а также в машиностроении для получения трубных заготовок и заготовок сложного поперечного сечения.

Особенности процесса формирования непрерывной отливки обусловлены тем, что в кристаллизаторе в разных его зонах по высоте или длине в каждый данный момент одновременно происходят все последовательные стадии охлаждения и затвердевания расплава (см. рис. 6.9): I — заполнение кристаллизатора расплавом; II — отвод теплоты перегрева; III — кристаллизация; IV — охлаждение отливки. Высокая интенсивность охлаждения расплава способствует направленной его кристаллизации, уменьшению ликвационной неоднородности, неметаллических и газовых включений, а непрерывная подача расплава в верхнюю часть кристаллизующей отливки — постоянному питанию фронта растущих кристаллов, устранению усадочных дефектов (раковин, рыхлот, пористости).

Рис. 6.9. Схема установки для непрерывного литья:



1 — ковш; 2 — форма-кристаллизатор; 3 — отливка; 4 — валки (стрелки — вращение валков); 5 — пила (стрелки — направление перемещений); I—IV — температурные зоны слитка

Таким образом, суть процесса непрерывного литья заключается в возможности создания условий направленной кристаллизации и питания отливки.

Как правило, заготовки, полученные способом непрерывного литья, имеют плотное, без усадочных дефектов строение, малую ликвационную неоднородность и низкое газосодержание, чистую поверхность, достаточно высокую точность раз-

меров. Однако высокая скорость охлаждения расплава во многих случаях приводит к образованию значительных внутренних напряжений в отливках, а иногда к трещинам.

Тем не менее, наряду с указанными особенностями формирования отливки, способствующими повышению качества металла, техническая реализация процесса в производстве показывает следующие преимущества этого способа литья: возможность получения отливки постоянного поперечного сечения и неограниченной длины; увеличение выхода годного путем уменьшения потерь металла с прибылью и донными частями слитков; уменьшение расходов на изготовление изложниц и литейных форм; повышение качества металла, точности и улучшения поверхности отливок; автоматизация процесса разлива расплава, возможность создания непрерывно действующих агрегатов для получения слитков и последующей их прокатки в профили или для получения литых заготовок деталей машин и последующей их обработки вплоть до готового изделия; полное исключение трудоемких операций изготовления литейных форм, выбивки, обрубки, очистки отливок; устранение из литейного цеха формовочных и стержневых смесей и связанное с этим существенное улучшение условий труда и уменьшение вредного воздействия литейного процесса на окружающую среду.

Таким образом, непрерывное литье — это прогрессивный материало- и трудосберегающий технологический процесс, обеспечиваю-

щий повышение качества отливок, производительности и улучшение условий труда при меньших энергетических затратах.

Однако непрерывное литье не позволяет получать отливки сложной конфигурации. Конфигурация изделия определяется возможностью его непрерывного извлечения из кристаллизатора. По-видимому, расширение области применения этого прогрессивного процесса литья для машиностроительных деталей связано с необходимостью пересмотра устоявшихся конструктивных решений тех или иных деталей и узлов машин, разработки таких конструкций деталей, которые могли бы быть изготовлены этим способом.

Важнейшим технологическим параметром процесса непрерывного литья является интенсивность охлаждения расплава, определяющая скорость кристаллизации отливки и соответственно ее качество, а также производительность процесса. Увеличение скорости кристаллизации способствует созданию условий направленной кристаллизации и повышению качества литого металла, производительности установок.

Интенсивность отвода теплоты от расплава в кристаллизаторе ограничена тем, что вследствие усадки отливки между кристаллизующейся корочкой металла и стенками кристаллизатора образуется зазор, снижающий скорость отвода теплоты. Для устранения этого явления на определенном участке (по высоте) кристаллизатор делают с обратной конусностью. Однако при недостаточно точном соблюдении температурных режимов литья и скорости вытягивания отливки обратная конусность повышает вероятность обрыва корочки металла, появления в ней подрывов и трещин. Для повышения интенсивности охлаждения отливки процесс осуществляют так, что в коротком кристаллизаторе 1 (рис. 6.10, а) формируется только корочка толщиной, достаточной для того, чтобы при ее извлечении из кристаллизатора не образовалось надрывов и трещин, а основное количество теплоты отводят погружением отливки в воду 2 в зоне вторичного охлаждения. Такую схему процесса используют для литья алюминиевых сплавов.

Благодаря высокой теплопроводности алюминиевых сплавов при погружении отливаемого слитка в воду скорость кристаллизации повышается, и направление кристаллизации приближается к осевому. Это способствует повышению качества металла.

Таким способом изготавливают слитки разных размеров с круглым, квадратным, прямоугольным поперечным сечением для последующей прокатки или других способов обработки давлением.

Однако поверхность слитков перед прокаткой механически обрабатывают для устранения неслитин, ликвационных наплывов, приводящих к образованию дефектов в прокате. Повысить качество слитков и снизить трудоемкость их подготовки к прокатке можно, используя способ литья в электромагнитный кристаллизатор (ЭМК). Суть такого процесса заключается в том, что фор-

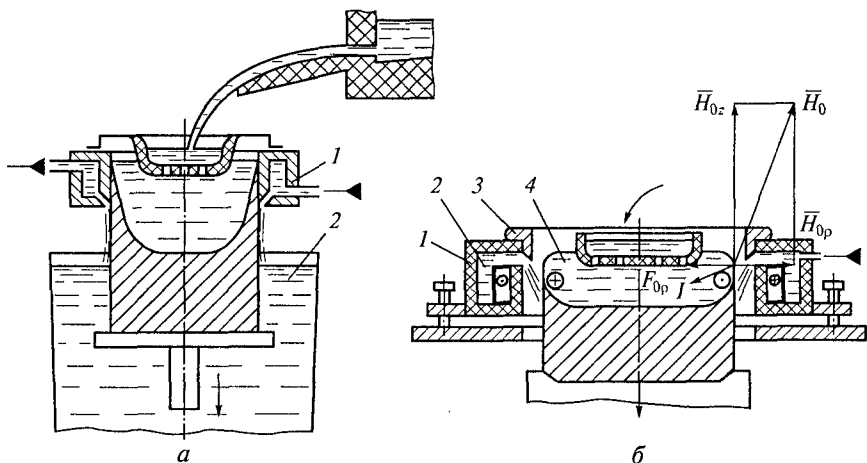


Рис. 6.10. Схемы литья алюминиевых слитков в кристаллизаторе: *a* — коротком; *б* — электромагнитном; 1 — кристаллизатор; 2 — вода; 3 — индуктор; 4 — расплав; F_{0p} , \vec{H}_{0z} , \vec{H}_0 , \vec{H}_{0p} — характеристики магнитного поля (приведены в тексте)

мообразование в ЭМК происходит под воздействием электромагнитных сил, возникающих при взаимодействии вихревых токов, наведенных в расплаве, с магнитным полем высокочастотного индуктора (см. рис. 6.10, б). Ток в кольцевом индукторе 3 создает магнитное поле напряженностью \vec{H}_0 . Вектор \vec{H}_0 на поверхности расплава 4 имеет две составляющие — аксиальную \vec{H}_{0z} и радиальную \vec{H}_{0p} . Составляющая \vec{H}_{0z} , взаимодействуя с током I в расплаве, создает радиально направленную силу F_{0p} . Электромагнитная сила F_{0p} способна удержать расплав от растекания и придать ему в поперечном сечении форму индуктора с размерами, зависящими от интенсивности магнитного поля. Таким образом, роль кристаллизатора выполняет магнитное поле, удерживающее жидкий металл. Охлаждающая вода из кристаллизатора 1 подается на поверхность расплава так, чтобы граница жидкой и твердой зон слитка находилась на уровне середины индуктора. Распределение магнитного поля индуктора по высоте жидкой зоны слитка влияет на форму и качество поверхности слитка. Для получения требуемой конфигурации магнитного поля используют экран из немагнитного металла, также охлаждаемый водой. Скорость извлечения слитка зависит от его размеров, свойств сплава и интенсивности охлаждения. Отсутствие контакта расплава со стенками кристаллизатора, высокая скорость охлаждения позволяют улучшить поверхность слитка, исключить его механическую обработку перед прокаткой, повысить эффективность производства.

При литье сталей короткий кристаллизатор использовать сложно, так как теплопроводность сталей в 2,5—3 раза меньше, чем алюминиевых сплавов; кроме того, в коротком (150...300 мм) кристаллизаторе не образуется корочка достаточной для вытягивания толщины. Поэтому при литье стали применяют длинные (1000...1500 мм) кристаллизаторы, а выходящую из последних корочку охлаждают интенсивным обрызгиванием водой.

При литье чугуна и медных сплавов используют стальные водоохлаждаемые, а также графитовые кристаллизаторы. Длину кристаллизатора и скорость вытягивания при литье чугуна согласуют так, чтобы не производить вторичного охлаждения отливки для предупреждения отбела. При высокой скорости охлаждения образование отбела чугуна возможно. Однако благодаря отводу значительного количества теплоты от внутренних слоев отливки через тонкую наружную отбеленную корочку при выходе отливки из кристаллизатора цементит в этой корочке разлагается — происходит самоотжиг отливки. Таким образом, скорость литья, длина кристаллизатора, температурные режимы литья зависят от свойств сплава, из которого изготавливается отливка.

Полунепрерывное литье труб и втулок из чугуна. При полунепрерывном литье труб (рис. 6.11) в кристаллизатор 3 устанавливают водоохлаждаемый стержень 1 (с конусностью 0,4%), выполняющий отверстие в трубе. Перед началом заливки стол 6, на котором располагается стержень 5 с выступом для захвата трубы, поднимают. Жидкий чугун из автоматического дозирующего ковша 4 по литниковой системе 2, состоящей из лотка и чаши, подается в кристаллизатор. Через питатели в дне чаши расплав попадает между стенкой кристаллизатора и водоохлаждаемым металлическим стержнем. Когда уровень расплава в кристаллизаторе поднимается настолько, что до верхнего его края остается 25...30 мм, начинается вытягивание трубы; при этом расплав продолжает непрерывно поступать в кристаллизатор. Стол 6 машины перемещается по двум колоннам 7 с помощью цепей 8 или тросов.

Для устранения схватывания расплава со стенками кристаллизатора последний совершает возвратно-поступательное движение вдоль оси трубы. Это движение выполняется по двухтактной схеме. Первый такт — опускание кристаллизатора со скоростью вытягивания трубы (относительного движения кристаллизатора и трубы не происходит); второй такт — подъем кристаллизатора в исходное положение со скоростью, превышающей в 2—3 раза скорость вытягивания трубы. Частота движения зависит от диаметра трубы. По окончании литья труба специальным устройством (манипулятором) снимается со стола машины, стол возвращается в исходное положение, и цикл повторяется. Скорость вытягивания трубы внутренним диаметром 300 мм и длиной 10 м из кристаллизатора высотой 0,5 м составляет около 2,4 м/мин.

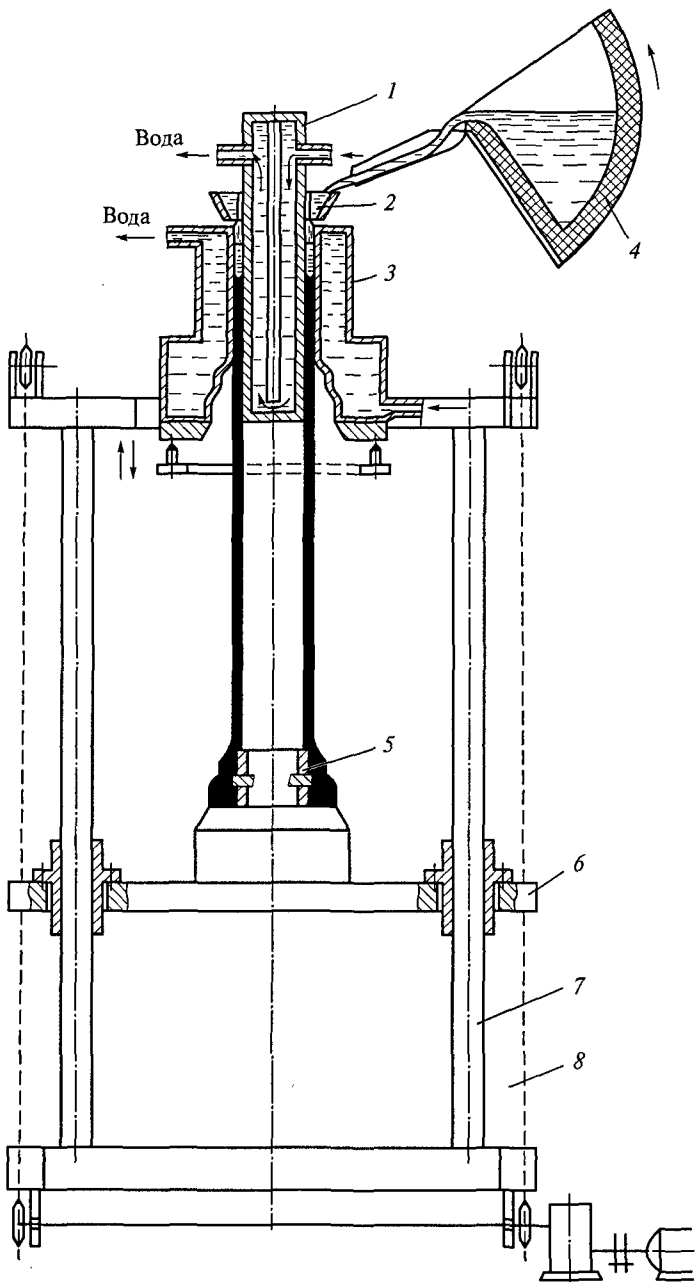


Рис. 6.11. Установка полунепрерывного литья труб:

1 — водоохлаждаемый стержень; 2 — литниковая система; 3 — кристаллизатор;
 4 — дозирующий ковш; 5 — разборный стержень с кольцевым выступом; 6 — стол; 7 — колонны; 8 — цепь привода стола

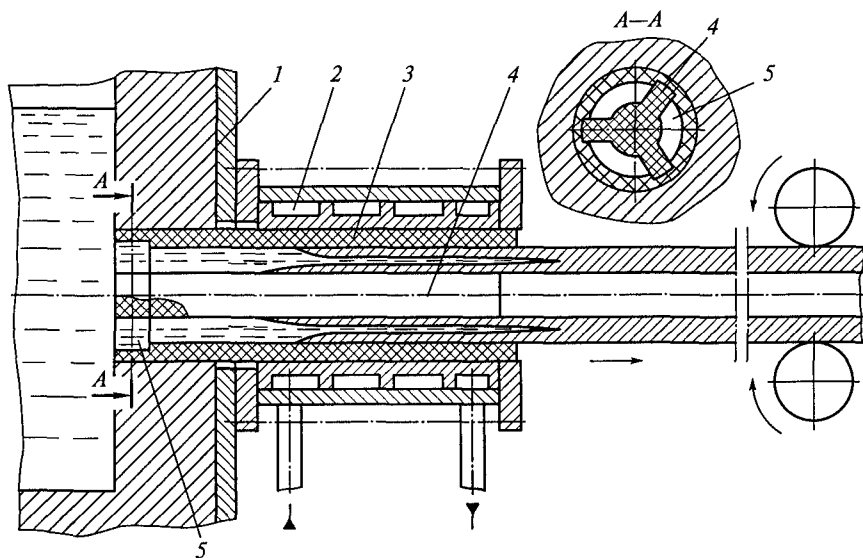


Рис. 6.12. Схема кристаллизатора для горизонтального непрерывного литья трубчатых заготовок и профилей:

1 — раздаточная печь; 2 — водоохлаждаемая рубашка; 3 — графитовый вкладыш; 4 — стержень; 5 — отверстия для подвода расплава

Трубы, полученные таким способом, имеют хорошую внутреннюю и наружную поверхности, мелкозернистую структуру тела трубы, высокую плотность металла. Полунепрерывным литьем можно изготовлять трубы диаметром до 1000 мм с толщиной стенки до 50 мм и длиной до 10 м. Подобным образом изготавливают втулки для гильз крупных дизелей.

Непрерывное литье применяют также для получения фасонных профилей, квадратных, круглых, шестигранных, прямоугольных, с отверстиями, шестерен и т.д., которые изготавливают из чугуна, медных сплавов — бронз, латуней.

Для литья таких заготовок используют установки горизонтального типа с графитовым водоохлаждаемым кристаллизатором (рис. 6.12). В стенке раздаточной печи 1 установлены кристаллизаторы, состоящие из водоохлаждаемой рубашки 2 и графитовых вкладышей 3, а при необходимости получения отверстия в отливке устанавливается стержень 4 с отверстиями 5 для прохода расплава. В начале процесса внутрь кристаллизатора вводят затравку-захват. Расплав заливают в разогретую печь и выдерживают для формирования отливки в кристаллизаторе, а затем начинают извлекать ее из кристаллизатора за затравку-захват. Получаемую непрерывную отливку разрезают на мерные заготовки. Таким способом из чугуна получают заготовки для деталей гидроаппаратуры,

направляющих прессов и металлорежущих станков, а из медных сплавов — заготовки для втулок, гаек, корпусов гидро- и пневмоаппаратуры.

Непрерывное литье заготовок из чугуна и медных сплавов. С этой целью созданы и эксплуатируются комплексные автоматизированные линии. Особенно перспективно в машиностроении изготовление профилей или заготовок из сплавов, не поддающихся обработке давлением: чугуна, оловянных и оловянно-свинцовых бронз и т.д. Это позволяет достичь высокой экономической эффективности — получить заготовку с минимальными припусками на обработку резанием, повышенной точности при высокой производительности.

6.4. Литье с последовательным заполнением и кристаллизацией

Этот способ используют при изготовлении крупногабаритных фасонных отливок типа оболочек, корпусов с толщиной стенки до 3...4 мм из алюминиевых и магниевых сплавов. Многие магниевые и высокопрочные алюминиевые сплавы имеют широкий интервал кристаллизации, и вследствие этого при затвердевании, особенно в песчаных формах, в отливках из таких сплавов образуются усадочные дефекты — пористость, рыхлоты.

Для создания условий направленного затвердевания и улучшения питания сложных крупногабаритных отливок из таких сплавов В. Д. Храмов предложил способ литья с последовательным заполнением формы (рис. 6.13). Литейная форма 6 крупной отливки устанавливается на столе 7, имеющем гидравлический привод. Литниковая система состоит из вертикальных щелевых питателей 4 и вертикальных колодцев 5, рас-

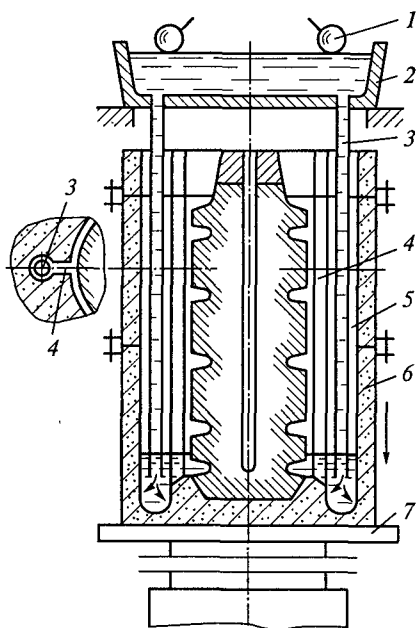


Рис. 6.13. Схема литья с последовательным заполнением формы:

1 — стопор; 2 — литниковая чаша; 3 — трубки для подвода расплава в форму; 4 — щелевые питатели; 5 — колодец; 6 — форма; 7 — стол

положенных по периметру отливки. Внутри колодцев расположены обогреваемые металлические трубки 3, закрепленные в обогреваемой литниковой чаше 2. Отверстия трубок в чаше закрыты шаровыми стопорами 1. Расплав заливают в чашу 2, затем поднимают шаровые стопоры 1 и после того, как концы трубок окажутся затопленными, стол опускают. Скорость опускания стола с формой, расход расплава через трубки из чаши и скорость отвода теплоты от расплава формой рассчитывают так, чтобы обеспечивалась последовательная кристаллизация отливки.

Такой способ позволяет получить плотные отливки без усадочных дефектов и пористости.

6.5. Литье выжиманием

Суть способа. Для улучшения заполнения формы и повышения качества отливки процесс литья осуществляют так, чтобы геометрические размеры полости формы изменялись по мере заполнения расплавом и затвердевания отливки. Это позволяет уменьшить потери теплоты расплавом и заполнять формы тонкостенных крупногабаритных отливок, а также осуществлять компенсацию усадки отливки путем уменьшения ее объема при кристаллизации.

Первая из указанных особенностей формирования и в значительной мере вторая реализуются при литье выжиманием тонкостенных крупногабаритных отливок, предложенном Е. С. Стебаковым. Процесс может быть осуществлен по двум схемам: поворотом подвижной полуформы вокруг неподвижной оси (рис. 6.14, а) и плоскопараллельным перемещением одной или двух подвижных полуформ (рис. 6.14, б).

После подготовки и сборки формы расплав заливают в нижнюю часть (металлоприемник) литейной установки (этап 1). Затем подвижную полуформу поворачивают (этап 2) и расплав поднимается в установке, заполняя полость между полуформами и боковыми стенками, закрывающими установку с торцов. В начальный момент сближения полуформ конфигурация объема расплава такова, что потери им теплоты в форме минимальны. В момент окончания сближения полуформ (этап 3) расстояние между ними соответствует толщине тела отливки, а движение излишка расплава, сливающегося из установки в приемный ковш, способствует уменьшению потерь теплоты и хорошему заполнению форм отливок с весьма малой (до 2 мм) толщиной стенки при их значительных (1000 × 3000 мм) габаритных размерах. После затвердевания отливки подвижная полуформа возвращается в исходное положение, а отливка извлекается из установки.

Машины с поворотом подвижной полуформы применяют для изготовления тонкостенных крупногабаритных отливок типа па-

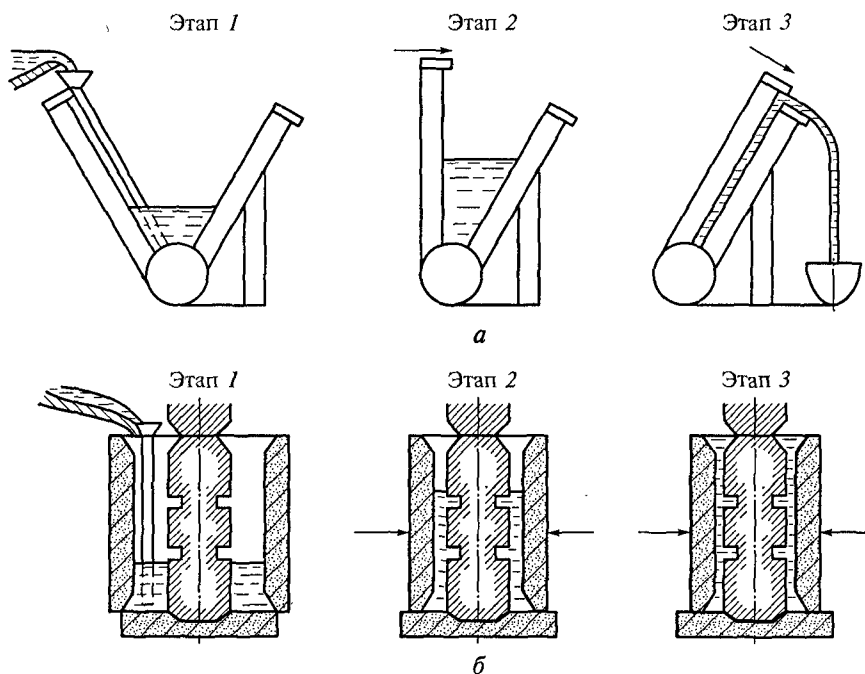


Рис. 6.14. Схемы технологических процессов литья выжиманием:

а — поворотом подвижной полуформы; *б* — плоскопараллельным перемещением полуформ (показано стрелками)

нелей из алюминиевых сплавов, на машинах с плоскопараллельным перемещением полуформ получают отливки типа оболочек. Отливки получают в песчаных формах, металлических формах со стержнями, в комбинированных формах.

Поскольку таким способом производят тонкостенные отливки, к точности технологической оснастки, ее жесткости, стойкости к короблению при эксплуатации предъявляются повышенные требования. Кроме того, в литейной установке предусматривают устройства для регулирования положения стержней и металлических форм при сборке, что необходимо для достижения требуемой точности отливок.

Основные параметры технологического процесса. Скорость перемещения подвижной полуформы и закон скоростей подъема уровня расплава в установке, температура заливки расплава в металлоприемник, а также температуры начала выжимания, нагрева металлоприемника и металлических полуформ, наконец, толщина и свойства теплоизоляционного покрытия на поверхностях металлических полуформ — все эти параметры характеризуют технологический процесс литья выжиманием.

Температуру заливки алюминиевых и магниевых сплавов в металлоприемник установки принимают в пределах $t_{\text{зал}} = t_{\text{лик}} + (80 \dots 100) \text{ }^\circ\text{C}$, а температуру начала выжимания $t_{\text{выж}} = t_{\text{лик}} + (20 \dots 40) \text{ }^\circ\text{C}$; для широкоинтервальных сплавов процесс выжимания начинают при температуре ликвидуса данного сплава.

Температура нагрева металлоприемника и металлических полужформ составляет обычно $200 \dots 320 \text{ }^\circ\text{C}$.

Закон изменения скоростей подъема уровня расплава в установке принимают таким, чтобы в рабочей полости формы расплав имел оптимальную скорость течения $0,5 \dots 0,7 \text{ м/с}$. Рабочая полость формы должна заполняться с оптимальной постоянной скоростью. В конце процесса необходимо снижение скорости для предотвращения выброса расплава из установки по инерции. С учетом этого настраивают привод литейной установки.

Отливки, полученные литьем выжиманием, имеют хорошие показатели структуры и механических свойств благодаря тому, что формирование отливки происходит одновременно с заполнением литейной формы и заканчивается в основном в момент завершения ее заполнения. Это обеспечивает питание затвердевающей отливки. Таким способом изготавливают отливки из алюминиевых сплавов АК7, АК9 и др.

Экономическая эффективность процесса литья выжиманием тонкостенных крупногабаритных отливок достигается благодаря исключению трудоемких операций штамповки, сварки, клепки, сборки многочисленных деталей в один узел, уменьшению массы конструкции таких узлов.

6.6. Кристаллизация под давлением и штамповка из расплава

Суть процессов. Процессы кристаллизации под давлением и штамповки из расплава позволяют в значительной мере компенсировать усадку расплава при кристаллизации благодаря уменьшению объема полости формы. Расплав заливают в неразъемную или разъемную металлическую форму, достаточно прочную, чтобы выдержать давление, передаваемое на отливку поршнем (рис. 6.15, а).

В процессах приложения высоких давлений (до 30 МПа и более) и перемещения поршня вследствие пластических деформаций кристаллизующейся корочки происходит уменьшение объема полости формы. В результате расплав поступает в образующиеся усадочные поры, рыхлоты и питает кристаллизующуюся отливку. Под действием внешнего давления растворенные в расплаве газы практически не выделяются из раствора. Высокие скорости кристаллизации расплава в металлической форме благодаря от-

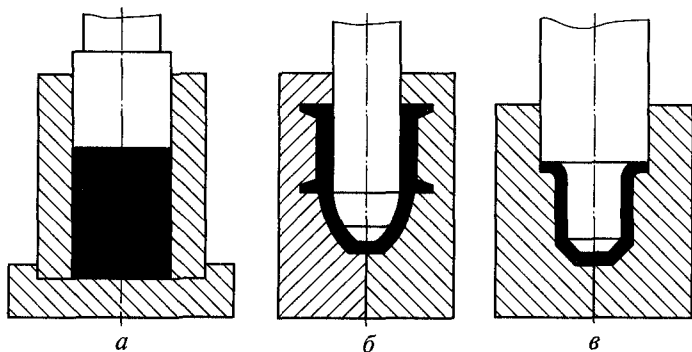


Рис. 6.15. Схема кристаллизации под давлением поршня (а), штамповка из расплава в закрытой (б) и открытой (в) формах

сутствию зазора между стенками отливки и формы способствуют измельчению структуры. Эти особенности формирования позволяют получать плотные, без усадочных дефектов литые заготовки, обладающие высокой прочностью, большим в 2—4 раза, чем отливки в песчаные формы, относительным удлинением, высокой ударной вязкостью. Отливки, полученные кристаллизацией под поршневым давлением, обладают механическими свойствами, одинаковыми с поковками.

Важным преимуществом этого процесса является также отсутствие расхода металла на литники и прибыли.

Кристаллизацию под давлением поршня применяют для изготовления слитков, фасонных отливок с толщиной стенок до 8 мм из медных, алюминиевых, цинковых сплавов, чугуна, стали.

В методе штамповки из расплава (рис. 6.15, б, в) совмещены, по существу, два метода — заполнение формы выжиманием и кристаллизация под давлением. Расплав заливают в разъемную металлическую форму до определенного уровня и затем погружают пуансон в расплав, который выжимает его в полость формы. Давление на пуансон используется для уплотнения кристаллизующейся отливки и заполнения формы.

Метод штамповки из расплава используют для получения отливок с открытой полостью или отверстием и сложными наружными очертаниями. В зависимости от конфигурации отливок штамповку из расплава выполняют в закрытой или открытой пресс-форме. Это, как и точность дозирования расплава, влияет на точность отливок. При штамповке в закрытой форме отливки имеют разную толщину дна; в открытой форме все внутренние продольные размеры могут быть неточными, вплоть до незаполнения формы.

Формы для кристаллизации под давлением и для штамповки из расплава должны быть прочными. Детали форм, соприкасаю-

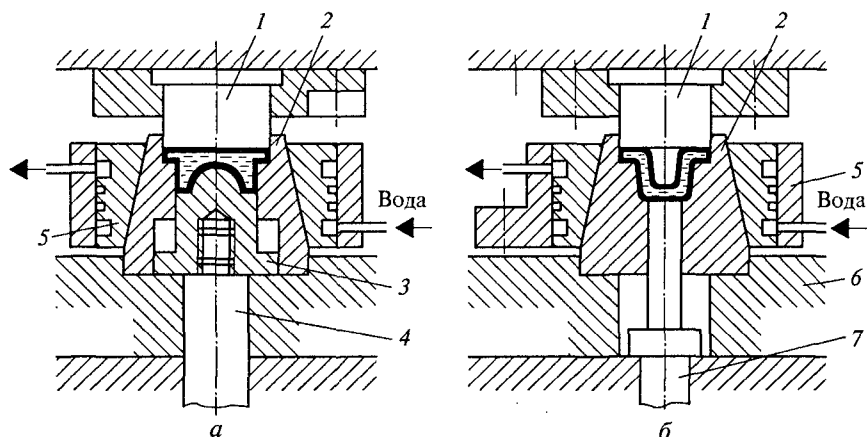


Рис. 6.16. Формоблоки:

a — для кристаллизации под давлением; *b* — штамповка из расплава; 1 — пуансон; 2 — матрица; 3, 7 — толкатели; 4 — шток привода толкателя; 5 — обойма; 6 — нижняя плита прессы

щиеся с расплавом, изготовляют из сталей 3Х2В8Ф, 4ХВ8, Х12М и подвергают термической обработке. Обычно применяют универсальные формоблоки (рис. 6.16) со сменными матрицами 2, пуансонами 1 и толкателями 3, 7. Матрицу 2 устанавливают в обойму 5, имеющую систему для подачи охлаждающей воды. Обойму 5 крепят на нижней плите 6 прессы. Толкатель 3 опирается на плиту 6 и поднимается штоком 4. Пуансон 1 монтируют на верхней плите прессы.

Основные параметры технологических процессов. Технологические режимы кристаллизации под давлением и штамповки из расплава зависят от свойств сплава, размеров и конфигурации отливки, а также от предъявляемых к ней требований.

Важнейшими параметрами процессов являются давление прессования, температурные режимы, скорость опускания пуансона. Давление прессования назначают с учетом интервала затвердевания сплава, прочности и пластичности его при затвердевании, конфигурации отливки, продолжительности пребывания сплава в форме до приложения давления. Для сплавов с широким интервалом затвердевания давление прессования обычно в 2 раза больше, чем для сплавов с узким интервалом затвердевания. Чем дольше расплав находится в форме до приложения нагрузки, тем большее давление требуется для прессования.

Температуры матрицы и пуансона должны находиться в пределах 180... 250 °С. При работе пресс-форма не должна нагреваться выше 400 °С, поэтому предусматривают охлаждение пресс-форм водой, протекающей по каналам ее обоймы. Температура заливки

расплава в форму должна быть на 50...100 °С выше температуры ликвидуса сплава. Превышение температуры перегрева приводит к образованию осевой усадочной пористости или раковин, а снижение — к быстрому затвердеванию и необходимости приложения значительных усилий прессования.

Скорость опускания пуансона при штамповке из расплава должна быть не более 0,5 м/с. Высокие скорости прессования приводят к замешиванию воздуха, находящегося между зеркалом расплава в матрице и пуансоном, в расплав и к образованию дефектов. Продолжительность выдержки под давлением зависит от длительности затвердевания отливки, которая может быть определена по зависимостям, известным из тепловой теории литья [1].

Процессы штамповки из расплава и кристаллизации под давлением обычно осуществляют на гидравлических прессах.

6.7. Электрошлаковое литье

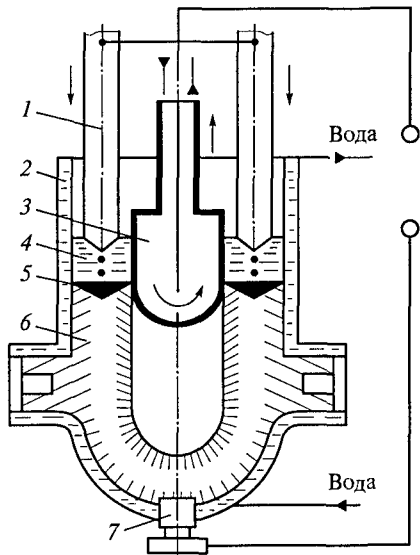
Получение заготовок деталей машин любым способом литья состоит в приготовлении металлического расплава и заливке его тем или иным способом в литейную форму. В процессе заливки и охлаждения в литейной форме расплав взаимодействует с газами воздуха и среды литейной формы, материалами, из которых она изготовлена. Наряду с этими факторами ухудшение свойств литого металла по сравнению с металлом, обработанным давлением, связано также с нескомпенсированной усадкой расплава при затвердевании. В то же время следует отметить, что заготовки, получаемые обработкой давлением, часто имеют значительно большие, чем отливки, припуски на обработку резанием. При использовании поковок для изготовления крупных деталей машин отходы металла в стружку велики.

В Институте электросварки им. Е. О. Патона АН Украины разработан способ обработки металлов, позволяющий получать литьем точные крупные заготовки со свойствами металла, не уступающими поковке. Этот способ получил название «электрошлаковое литье».

Суть процесса. Электрошлаковое литье (ЭШЛ) — это способ получения фасонных отливок в водоохлаждаемой металлической литейной форме-кристаллизаторе, основанный на применении электрошлакового переплава (ЭШП) расходного электрода. Отливку получают переплавом электродов из металла требуемого химического состава. Источником теплоты при ЭШЛ является шлаковая ванна, нагреваемая проходящим через нее электрическим током (рис. 6.17). В начале процесса в водоохлаждаемый медный кристаллизатор 2 заливают предварительно расплавленный шлак специального состава. Электрический ток подводится к пе-

Рис. 6.17. Схема получения отливки электрошлаковым литьем:

1 — электроды (стрелками показано направление их движения); 2 — кристаллизатор; 3 — стержень (наружной стрелкой показано направление его движения вверх; фигурной стрелкой — направление потока охлаждающей воды); 4 — шлаковая ванна; 5 — расплав; 6 — отливка; 7 — затравка



реплавляемым электродам 1 и затравке 7 в нижней части кристаллизатора 2. Шлаковая ванна обладает малой электропроводностью, поэтому при прохождении через нее электрического тока выделяется большое количество теплоты, Дж:

$$Q = I^2 R_{шт} \tau,$$

где I — сила тока, А; $R_{шт}$ — электрическое сопротивление шлаковой ванны, Ом; τ — время процесса, с.

Шлаковую ванну нагревают до 1700°C и выше, поэтому погруженные в нее концы электродов оплавляются. Капли расплавленного металла проходят через шлаковую ванну 4, собираются в зоне кристаллизации, образуя под слоем шлака металлическую ванну расплава 5. Металлическая ванна непрерывно пополняется в верхней части расплавом от плавящихся электродов и последовательно затвердевает в нижней части вследствие отвода теплоты через стенки кристаллизатора. При получении отливки 6 электроды 1 по мере их оплавления и затвердевания отливки постепенно поднимаются вверх. Для образования полости в отливке водоохлаждаемый металлический стержень 3 также перемещается вверх.

Таким образом, суть процесса электрошлакового литья заключается в том, что приготовление расплава (плавка) совмещено по месту и времени с заполнением литейной формы: отливка последовательно наплавляется в форме.

Литейная форма при ЭШЛ выполняет две функции: служит устройством и для приготовления расплава, и для формирования отливки. Это позволяет использовать преимущества процесса ЭШЛ для повышения качества металла отливок.

Качество отливок. При ЭШЛ качество отливок обусловлено особенностями формирования отливки. Перенос капель расплава с конца электрода через шлаковую ванну, интенсивное взаимодействие расплава со шлаком, последовательная и направленная

кристаллизация расплава при высокой интенсивности охлаждения способствуют удалению из расплава неметаллических включений и растворенных газов, получению плотного однородного металла отливки.

На кристаллическое строение отливки существенное влияние оказывает направление тепловых потоков: основное количество теплоты отводится в осевом направлении. Переносу теплоты в радиальном направлении препятствует тонкая корочка низкотеплопроводного шлака между отливкой и кристаллизатором. Основное количество теплоты подводится в верхнюю часть отливки расплавленным электродом, а высокий перегрев шлаковой ванны создает градиент температур в осевом направлении. В результате расплав кристаллизуется в осевом или радиально-осевом направлениях. Это способствует формированию в отливке столбчатых кристаллов и благодаря осевой или радиально-осевой их направленности — непрерывному питанию растущих кристаллов; в отливке исключаются усадочные дефекты, трещины, ликвационная неоднородность.

Химический состав металла в отливке по основным элементам практически не изменяется по сравнению с металлом электрода, но содержание кислорода и азота снижается в 1,5—2 раза, понижается концентрация серы и уменьшается в 2—3 раза загрязненность металла неметаллическими включениями. При этом неметаллические включения становятся мельче и равномерно распределяются в отливке. Особенности формирования отливки оказывают положительное влияние на механические свойства металла: улучшается микроструктура, резко возрастают пластические свойства. Поэтому механические свойства отливок ЭШЛ выше, чем у поковок и проката из металла одинакового химического состава.

Поскольку отливка выплавляется в металлической форме, покрытой изнутри тонким слоем шлака, качество поверхности отливки получается высоким, отливка не требует очистки, а во многих случаях и обработки резанием.

Таким образом, при ЭШЛ отпадает необходимость в плавильных печах, приготовлении формовочных и стержневых смесей, формовке, литниковых системах и прибылях. Отливки характеризуются высоким качеством металла и поверхности.

Вместе с тем для изготовления отливки требуется достаточно сложная и дорогостоящая литейная форма, специальные заготовки — электроды из проката или полученные предварительно литьем.

Накопленный производственный опыт показывает, что наиболее выгодно использовать этот процесс для получения отливок из специальных сталей и сплавов и отливок ответственного назначения, к которым предъявляются повышенные требования по качеству металла, механическим свойствам.

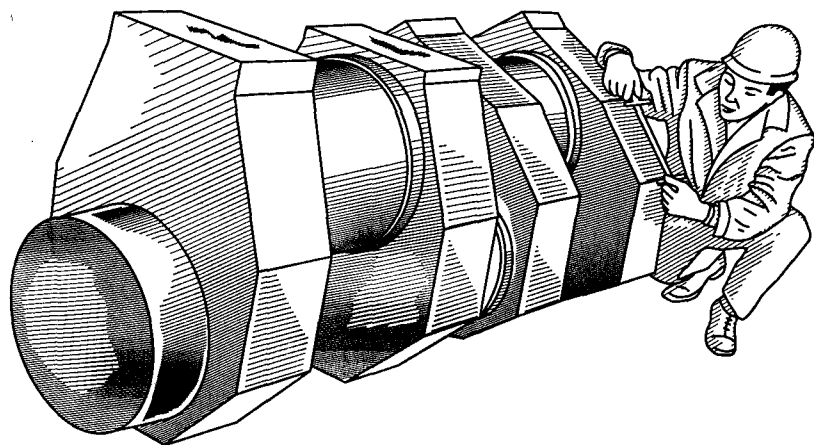


Рис. 6.18. Отливка, полученная по технологии электрошлакового литья

Способом ЭШЛ получают полые заготовки цилиндров, трубы круглого и овального сечений, корпуса задвижек запорной и регулирующей арматуры тепловых и атомных электростанций, сосуды сверхвысокого давления, коленчатые валы, шатуны и другие детали крупных судовых двигателей, прокатные валки, бандаж цементных печей, заготовки штамповочного и режущего инструмента и другие детали (рис. 6.18). Область применения ЭШЛ благодаря преимуществам этого метода постоянно расширяется.

Литейные формы. Кристаллизаторы для ЭШЛ обычно изготавливают из меди, их делают тонкостенными, водоохлаждаемыми. В зависимости от предназначения используют кристаллизаторы двух типов: для выплавления отливки целиком (см. рис. 6.17) и для выплавления только объединяющей части изделия, а остальные части, изготовленные заранее, устанавливают в соответствующие отверстия литейной формы и во время выплавки приплавляют их к объединяющей части изделия (рис. 6.19).

Для выплавки фасонных отливок сложной формы используют кристаллизаторы, имеющие вертикальный и горизонтальный разъемы. Разъемные литейные формы бывают двух типов: с разборкой после окончания процесса получения отливки и с подвижными частями для уменьшения напряжений в отливке, возникающих при ее усадке (см. рис. 6.19). Литейные формы с подвижными частями для ЭШЛ с переливом состоят из неподвижной (формообразующей) и подвижной (плавильной) частей. Формы рассмотренных типов позволяют использовать для ЭШЛ универсальные установки.

Материал отливок. Основными материалами для получения отливок являются расходуемые электроды, флюс, разные лигатуры и раскислители.

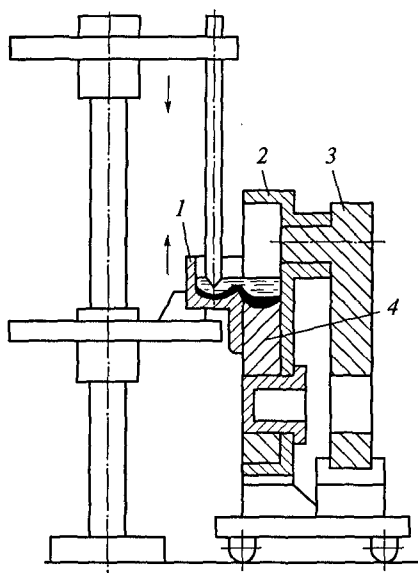


Рис. 6.19. Схемы выплавки кривошипа коленчатого вала судового дизеля способом электрошлакового литья:

1 — плавильный карман (стрелка вверх — направление его движения); 2 — кристаллизатор; 3 — ранее выплавляемая часть изделия; 4 — выплавляемая часть изделия; стрелка вниз — направление движения электрода

Расходуемые электроды изготовляют, в свою очередь, также разными способами: отливкой в изложницы, центробежным, непрерывным литьем; могут быть использованы электроды из металлургического проката. Электроды должны быть предварительно очищены от масла, загрязнений, окисины.

Флюсы в процессе ЭШЛ служат источником теплоты и основным средством для регулирования химического состава переплавляемого металла. Температура плавления флюса должна быть несколько ниже температуры плавления металла отливки. Флюс должен быть химически активным к вредным примесям в переплавляемом металле, например в стали — к сере, водороду, азоту. Флюс в расплавленном состоянии должен обладать низкой вязкостью для получения отливки с чистой поверхностью.

Для ЭШЛ используют разные флюсы, как правило, фтористокислородных систем. Например, самый простой флюс АНФ-III содержит 100 мас. % CaF_2 . Хорошими защитными свойствами, снижающими содержание водорода в металле отливки, обладает флюс АНФ-6, состоящий из 70 мас. % CaF_2 и 30 % Al_2O_3 . Перед началом процесса ЭШЛ флюс предварительно расплавляют в графитовом тигле графитовым электродом для очистки его от влаги, кремнезема, оксидов железа и других вредных примесей, а затем в жидком виде заливают в кристаллизатор.

Технологические режимы плавки. В зависимости от размеров изделия, свойств переплавляемого металла, состава шлака применяют разные технологические режимы ЭШЛ. Важнейшим параметром процесса является количество теплоты, выделяющейся при прохождении тока через шлаковую ванну. Оно зависит от электрических параметров процесса (силы тока) и электрического сопротивления шлаковой ванны.

При нормальном ходе процесса (режим сопротивления) оплавленный конец расходующего электрода имеет конфигурацию

конуса с диаметром основания, равным диаметру электрода. Если уменьшить скорость подачи электрода в ванну, то процесс плавления электрода перейдет в электродуговой режим. Это приведет к неустойчивому режиму плавнения, окислению и насыщению конца электрода газами, ухудшению качества металла отливки. Если расходуемый электрод будет слишком глубоко погружен в шлаковую ванну (большая скорость его опускания), то процесс перейдет в дуговой режим, когда возможно короткое замыкание вследствие «вмораживания» конца электрода в ванну. В этом случае длительность контакта металлических капель со шлаком уменьшается, и рафинирование металла ухудшается.

Технико-экономическая эффективность ЭШЛ. Преимущества процесса ЭШЛ — высокое качество литого металла, снижение трудоемкости процесса, высокий выход годного, возможность автоматизации технологических операций и управления качеством отливки — определяют его технико-экономическую эффективность. Следует отметить, что способ ЭШЛ позволяет не только изготавливать сложные отливки высокого качества, но и по-новому решать технологические процессы производства уникальных конструкций, создавать принципиально новые технологические процессы.

Экономическая эффективность ЭШЛ достигается за счет уменьшения расхода металла на изделие, объема обработки резанием и исключения трудоемких операцийковки, гибки и сварки. Например, расходный коэффициент металла при изготовлении валков холодной прокатки способом ЭШЛ составляет 1,5, а из поковок — 2,25. Особенно эффективно ЭШЛ при изготовлении изделий из дорогостоящих инструментальных сталей и использовании изношенных инструментов для расходуемых электродов. При изготовлении деталей судовых дизелей выход годного металла возрастает в 3—4 раза; трудоемкость изготовления сосудов высокого давления снижается в 1,5—2 раза благодаря устранению операцийковки, штамповки, сварки.

Таким образом, *способ ЭШЛ — малооперационный, трудо- и материалосберегающий, перспективный технологический процесс, обеспечивающий высокую культуру производства и улучшающий условия труда.*

6.8. Особенности изготовления отливок из титановых сплавов

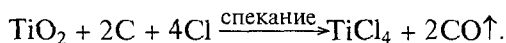
Титан — металл с плотностью $\rho = 4500 \text{ кг/м}^3$, температурой плавления $t_{\text{пл}} = 1668 \text{ }^\circ\text{C}$. Допустимые напряжения растяжения титана приблизительно в 6 раз больше, чем напряжения растяжения алюминия. Титан проявляет химическую стойкость во влажном воздухе, морской воде, в азотной HNO_3 и хлороводородной

НСI кислотах. Такая стойкость обусловлена образованием прочной оксидной пленки TiO_2 , защищающей металл от дальнейшего окисления и взаимодействия с активными веществами. Наиболее рациональная температурная область использования титановых сплавов — 250...550 °С. Это температуры, при которых алюминиевые и магниевые сплавы не используются по причине их низкой термочности, а стали уступают по удельной прочности.

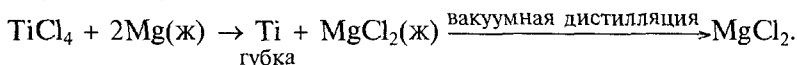
Титан обладает теплопроводностью в 5 раз, а электропроводностью в 15 раз ниже, чем у стали, характеризуется повышенной теплостойкостью. Содержание титана в земной коре около 0,6%.

Структура титана до 882 °С — гексагональная (α -Ti), выше 882 °С — объемноцентрированная кубическая (β -Ti).

Производство титана. Исходным сырьем для получения титана являются титано-магнетитовые руды. На первых этапах процесса получают титановый шлак, содержащий 80...90% TiO_2 , который затем подвергают хлорированию в специальных печах:



Титан из четыреххлористого титана восстанавливают в реакторах при температуре 950...1000 °С:



В связи с возрастающей технической потребностью в титане промышленное производство его постоянно растет. Если в 1947 г. было произведено около 2 т титана, то в настоящее время на изготовление только одного корпуса авиалайнера расходуется несколько тонн сплавов этого металла.

Область использования отливок из титановых сплавов. Благодаря высоким прочностным характеристикам титановых сплавов (например, сплав ВТ14Л имеет $\sigma_b = 900$ МПа, а сплав ВТ1Л $\delta = 10\%$) и высокой плотности (высокой удельной прочности) они нашли широкое применение прежде всего в авиации, судостроении и ракетостроении. Высокая химическая стойкость титановых сплавов способствовала их применению в атомной технике, химическом машиностроении, производстве медицинского оборудования. Отливки из титановых сплавов являются заготовками деталей авиационных и ракетных двигателей, лопаток и компрессорных колес, деталей насосов для перекачки агрессивных жидкостей и других, в том числе сложных, корпусных отливок. К недостаткам титановых сплавов можно отнести их затрудненную обрабатываемость резанием и высокую стоимость, которая значительно выше стоимости алюминиевых, магниевых и медных сплавов.

Особенности технологического процесса. Возможность изготовления сложных, с высокими эксплуатационными свойствами отливок из титановых сплавов обеспечивается их высокими литей-

ными свойствами. Так, жидкотекучесть у них выше, чем у многих сталей; из-за меньшей теплопроводности они имеют невысокую склонность к образованию горячих трещин, так как характеризуются небольшим интервалом кристаллизации.

Вместе с тем титановые сплавы обладают высокой химической активностью в расплавленном состоянии. Этим обусловлены высокие требования к химической стойкости форм, необходимость вакуумной плавки и заливки форм. При получении отливок со сложным микрорельефом поверхности для преодоления сил поверхностного натяжения используют центробежную заливку форм.

Применяют формы из графита, кокили, формы из высокоогнеупорных материалов, полученные по технологии литья по выплавляемым моделям с использованием графита.

Стойкость форм характеризуется следующими данными: блочные графитовые 2—15 заливок, сборные графитовые 40—50, кокили до 100 заливок. Заливку их проводят, как правило, в специальных вакуумных установках с тем, чтобы плавка металла и заливка сложных форм были выполнены в поле центробежных сил.

При изготовлении форм для отливок из титана по технологии литья по выплавляемым моделям в качестве огнеупорной основы форм применяют тугоплавкие и обладающие высокой термохимической стойкостью оксиды ZrO_2 , Al_2O_3 . Связующим служит этилсиликат ЭТС-40 или оксинитрат алюминия $Al_3(OH)_8NO_3$. Однако применение этих материалов не исключает образования на поверхности отливок очень твердого слоя, содержащего α -фазу титана, затрудняющую обработку резанием. Для предотвращения образования этого слоя оболочковую форму, изготовленную по обычной технологии выплавляемых моделей из материалов, указанных выше, покрывают пленкой пироуглерода по способу, разработанному проф. В. М. Александровым. Для этого форму помещают в реактор и нагревают до температуры 900...1000 °С. В реактор подают углеводородные газы, чаще всего пропан. При высоких температурах пропан диссоциирует с образованием углерода, который в виде прочной пленки пироуглерода осаждается на поверхности формы и в ее порах. Присутствие пироуглерода на поверхности формы предотвращает образование альфированного слоя (т. е. слоя α -фазы титана) на поверхности отливок из титана и его сплавов.

В России освоена технология литья под давлением отливок из титановых сплавов.

6.9. Технология изготовления лопаток газотурбинных двигателей

Для улучшения летно-технических характеристик современных авиалайнеров и вертолетов требуется увеличение мощности дви-

гателей. Повышение температуры газа перед турбиной приводит к существенному повышению экономичности, резкому росту удельной мощности, сокращению удельного веса и габаритных размеров газотурбинных двигателей (ГТД), к значительному увеличению тяги.

Температура газа перед турбиной может быть повышена, но при условии применения новых жаропрочных материалов; создания монокристаллической структуры материала отливки; внедрения улучшенных систем охлаждения турбинных лопаток.

Начиная с 1958 г. по мере использования все более жаропрочных сплавов удалось поднять температуру газа до 1000... 1100 °С.

Изготовление турбинных лопаток с направленной и монокристаллической структурой повысило жаропрочность их материала в 2—4 раза по сравнению с материалом лопаток, имеющих равноосную структуру. В сочетании с использованием современных систем охлаждения лопаток это позволило поднять температуру газа перед турбиной уже до 1300 °С.

Охлаждаемые лопатки газотурбинных двигателей, работающих при высоких температурах и нагрузках в условиях интенсивного коррозионного и эрозионного износа, могут быть изготовлены не только литьем, но и штамповкой в сочетании со сваркой. Однако преимущество во всем мире пока имеет процесс литья по выплавляемым моделям. Литые лопатки дешевле штампованных приблизительно на 30%. В то же время литейная технология позволяет сократить расход металла на 18... 20%; снизить трудоемкость операций приблизительно на 40%; снизить себестоимость на 20... 35%; повысить механические свойства на 30... 40%.

Припуск на обработку практически не назначают, так как обработка резанием жаропрочных сплавов не только повышает себестоимость лопаток, но и ухудшает их эксплуатационные свойства. При механической обработке на поверхности лопаток появляются субмикротрещины, приводящие к их преждевременному разрушению.

Толщина стенок пера сложных пустотелых лопаток от 0,8 до 3,5 мм. Внутренние полости, оформляемые стержнем, имеют весьма сложную конфигурацию. Толщина такого стержня может быть менее 1 мм.

Материалы и технология изготовления отливок. Модельными составами являются МВС-3А, ПС, ВИАМ-102, МПВС-2 и др. (см. табл. 1.1).

Форма. Главная часть литейной формы — оболочка, служащая непосредственно для формообразования наружного профиля лопатки (отливки).

Точность и стабильность размеров отливки лопаток во многом зависит от качества исходных материалов. При деформации оболочки (например, при обжиге) будет деформироваться и стер-

жень. Для пустотелых лопаток в качестве наполнителя форм используют огнеупорные материалы: электрокорунд, плавленный кварц, циркон, диоксид титана.

Технология изготовления форм и стержней. При изготовлении оболочковой формы для приготовления огнеупорной суспензии в качестве огнеупорного материала применяют корундо-силлиманит и гидролизированный раствор ЭТС-40. В качестве обсыпочногo материала для первого слоя применяют электрокорунд со средним размером зерен 0,16 мм, а крупность электрокорунда для последующих слоев — свыше 0,28 мм. Число слоев — до 9—12.

Для изготовления стержней возможно использование нескольких технологических процессов, например, шоу-процесса; спекания; процесса «горячие ящики» (связующее — кремнийорганическая смола К101); спекания в сочетании с использованием аминных катализаторов. Температура спекания стержней обычно составляет 1100...1200 °С.

Истинно оболочковая форма. Для обеспечения возможности использования истинно оболочковой формы (см. гл. 1) она должна обладать достаточной прочностью. С этой целью после нанесения последнего слоя оболочку закрепляют окунанием в суспензию без присыпки электрокорундом. Для предотвращения образования трещин после шестого слоя обычно наносят растворяющиеся или выгорающие добавки (два слоя). Прокаленные оболочки заливают при температуре 1000...1520 °С. Суммарное время прокаливания формы может составлять от 3 до 25...30 ч.

Основными этапами разработки и организации технологического процесса изготовления лопаток газотурбинного двигателя с полостями являются следующие:

- разработка структуры процесса;
- конструирование оснастки (пресс-формы для стержня, пресс-формы для модели отливки, пресс-формы для драйверов стержней);
- изготовление стержня;
- изготовление выплавляемой модели;
- пайка блока;
- изготовление оболочки (в том числе с легирующими добавками);
- выплавление;
- прокаливание и заливка формы;
- гидроочистка, выщелачивание стержня;
- отрезка литников (абразивная, анодно-механическая, плазменная);
- контроль (внешний, с помощью микроскопа, цветная дефектоскопия, проверка геометрии, размеров, в том числе по сечениям пера лопатки);
- обработка — шлифование пера, механическая обработка замка.

6.10. Особенности технологии литья по выплавляемым моделям отливок художественного назначения

Кроме традиционного разработан и применяется при изготовлении отливок художественного назначения способ литья по выплавляемым моделям, в котором вместо многослойной керамической формы изготавливается форма в виде цельного блока.

Следует заметить, что основными требованиями к отливкам художественного назначения являются высокая чистота поверхности отливки, отсутствие пористости, точность воспроизведения рельефа поверхности. Данный вариант технологии в сочетании с принудительным заполнением форм металлом наиболее полно удовлетворяет перечисленным требованиям к качеству отливок. Рассмотрим подробнее эту технологию.

Суть процесса. Начальным этапом является изготовление оригинала изделия. Это задача скульптора, автора такого изделия. Оригинал имеет техническое название «мастер-модель», иногда «про-модель» или «прима». Мастер-модель может изготавливаться из пластилина, гипса, твердых восков, легкообрабатываемых металлов. Для изготовления пресс-формы применяют синтетические материалы — виксинты или силоксановые герметики. Виксинт в исходном состоянии жидкий, в него для отверждения вводят до 1 % кислотного катализатора, перемешивают. Готовую смесь наносят на поверхность мастер-модели. Через 2...3 ч смесь твердеет, оставаясь при этом эластичной. Для снятия виксинтовой пресс-формы, например, с небольшой скульптуры последнюю помещают в металлическую рамку и заливают герметик. Готовую пресс-форму сложной детали разрезают на части, освобождают мастер-модель. Устанавливают в нужном порядке части пресс-формы обратно в рамку.

Основные этапы технологического процесса. По металлическим мастер-моделям можно изготавливать пресс-формы из сырой резины с последующей тепловой вулканизацией.

В качестве материала пресс-форм используют различные марки синтетического каучука. Для предотвращения коррозии оригинала на него наносят гальваническим способом никелевое покрытие. При изготовлении резиновых пресс-форм используют металлические вулканизационные рамы (обоймы), круглые или прямоугольные, из алюминиевых сплавов. Заготовки сырой резины в виде нарезанных кусочков помещают в обойму, на этот слой укладывают мастер-модель, заполняют резиной обойму поверх модели. Собранный обойму помещают в вулканизационный пресс и нагревают при 150...160 °С в течение 30...45 мин. Готовую резиновую пресс-форму разрезают зигзагообразно (для взаимной фиксации частей), освобождают мастер-модель и собирают пресс-форму.

Выплавляемые модели изготавливают свободной заливкой расплавленного модельного состава, чаще — запрессовкой модель-

ного состава в пастообразном состоянии. Для этого применяют установки — инжекторы, в которых осуществляют расплавление модельного состава, охлаждение до пастообразного состояния, запрессовку модельного состава сжатым воздухом. После охлаждения модели пресс-форму разбирают. При необходимости модель очищают от облоя.

В модельные составы входят обычно следующие компоненты: парафин, щелачный воск, синтетический церезин, сополимеры этилена с винилацетатом. Температура плавления состава в пределах 55...75 °С.

Малые модели собирают пайкой в блок совместно с элементами литниковой системы. К средним и крупным моделям, которые будут заливаться индивидуально, припаивают восковые элементы литниково-питающих систем. Число литников должно обеспечивать качественное заполнение формы металлом.

Для изготовления художественных отливок из сплавов меди с принудительной заливкой применяют формы в виде блоков. После перемешивания формовочной смеси с водой смесь подвергают вакуумированию, для чего смесь заливают в опоку, куда заранее установлен блок моделей. Опоку устанавливают в вибровакuumную установку и подвергают обработке в течение 5...10 мин для наиболее полного удаления из смеси пузырей воздуха.

После формовки и затвердевания смеси форму выдерживают на воздухе в течение 1...3 ч.

В состав формовочных смесей входят гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$), который твердеет и придает прочность смеси при замешивании с водой, а также различные огнеупоры на кварцевой основе. Наиболее распространена гипсодинасовая формовочная смесь, в которой огнеупорным компонентом служит динас (до 96% SiO_2), измельченный до крупности зерен 0,08 мм.

Для выплавления из формы модельного состава применяют электрические печи с температурой нагрева до 150 °С. Форму помещают в нагретую печь литниковой воронкой вниз. Расплавленный модельный состав вытекает в расположенную внизу емкость, полость формы при этом освобождается. Часть модельного состава впитывается в форму. При прокаливании формы нагревом до температуры 700 °С модельный состав должен полностью выгореть. Нагрев форм при прокаливании проводят по специальному режиму под управлением программного устройства «ПРОТЕРМ».

Плавку сплавов проводят преимущественно в печах с электрическим нагревом с использованием графитовых, керамических или кварцевых тиглей. Формы заливаются с помощью прогретых ковшей или в установках с центробежной заливкой форм. При такой заливке создается внешнее давление на металл, что позволяет изготовить тонкостенные отливки за счет увеличения скорости течения металла по каналам формы.

Охлажденные формы помещают для разупрочнения в воду. После этого блок отливок поступает на участок отрезки литников и контроля качества отливок. Конечными операциями изготовления отливок являются отделка поверхности с помощью шлифовки, термической обработки, травления, нанесения защитных или декоративных покрытий.

6.11. Литье в оболочковые формы

Такое название получил в нашей стране способ, запатентованный в 1940-х гг. в Германии И. Кронингом (отсюда распространенное за рубежом название «кронинг-процесс»).

Традиционно способ относили у нас к специальным видам литья, так как он требует использования для изготовления форм нагреваемой модельной оснастки. Но, по существу, данный способ входит в группу методов литья в разовые разъемные формы из дисперсных материалов (см. Предисловие).

Оболочковые разъемные формы обычно изготавливают из сыпучих терморезистивных песчаных смесей с органическими связующими. В качестве связующего чаще всего используют фенолформальдегидные смолы (СФ-12, СФ-15 и др.) с добавкой 8...12 % уротропина от содержания смолы. Расход смолы в смеси составляет 4...5 % массы огнеупорной основы — кварцевого песка или другого огнеупорного зернистого материала.

Приготовление песчано-смоляных смесей. Чаще всего смесь представляет собой песок горячего плакирования. При горячем плакировании сухой песок марок 1К₁О₁01 или 1К₁О₁016 предварительно нагревают до 127...147 °С, а затем смешивают со смолой, которая при этом, нагреваясь, плавится и обволакивает зерна песка. Далее в смесь вводят уротропин в виде 30...35 %-ного водного раствора, гидроксид бора и стеарат кальция. Вода, в которой растворен уротропин, охлаждает смесь и предотвращает возможность разложения уротропина при нагреве во время плакирования. После завершения перемешивания смесь охлаждают и просеивают. Начальная температура песка при вводе в смеситель должна быть на 25...30 °С выше температуры каплепадения используемой смолы, а температура смеси в момент ввода раствора уротропина не должна превышать 105...110 °С. Нарушение этих режимов приводит к получению некачественных смесей.

Основные операции изготовления форм. Оболочковая форма состоит из двух полуформ с горизонтальной или вертикальной плоскостью разъема.

Процесс изготовления оболочек из песчано-смоляной терморезистивной смеси включает в себя следующие последовательные операции: нагрев модельной оснастки; нанесение на поверхность

оснастки разделительного покрытия; нанесение на модельную оснастку песчано-смоляной смеси; формирование и затвердевание оболочки; съем готовой полуформы с модельной оснастки.

Способы изготовления оболочек различаются в основном по приемам нанесения песчано-смоляной смеси на модельную оснастку. Наиболее распространен способ свободной засыпки модельной оснастки смесью с помощью поворотного бункера (рис. 6.20).

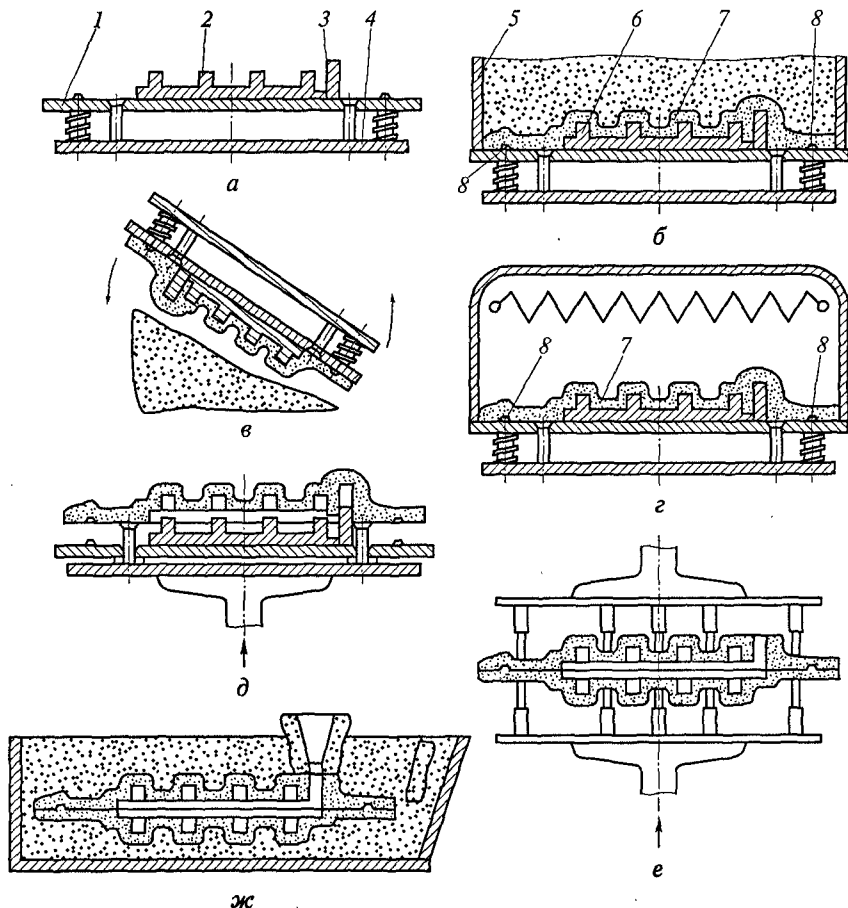


Рис. 6.20. Схема технологического процесса изготовления оболочковой формы:

a — подготовка модельной оснастки; *б* — засыпка модельной плиты смесью; *в* — удаление излишков смеси; *г* — окончательное затвердевание оболочки в печи; *д* — съем оболочковой полуформы с модельной плиты; *е* — склеивание оболочковых полуформ; *ж* — подготовка формы к заливке; 1 — модельная плита; 2 — модель отливки; 3 — литниковая система; 4 — плита толкателей; 5 — бункер со смесью; 6 — смесь; 7 — формирующаяся оболочка; 8 — элементы центрирования оболочковой полуформы при будущей сборке

При изготовлении верхней оболочковой полуформы металлическую модельную плиту 1 (рис. 6.20, а) с моделью отливки (отливка) 2 и литниковой системой 3 нагревают до 200...300 °С электронагревателями или газовыми горелками и наносят на нее тонкий слой разделительного покрытия. В качестве покрытия используют раствор синтетического термостойкого каучука в бензине-растворителе. Этот состав обладает наиболее высокой стойкостью (до 50 съемов), реже применяют мазут.

Формовочную смесь 6 из бункера 5 насыпают на модельную плиту (рис. 6.20, б) и выдерживают. Время выдержки обуславливает толщину прогретого слоя смеси до температуры плавления и частичной полимеризации (последний процесс развивается в более горячих зонах, расположенных непосредственно у плиты) и, соответственно, толщину формирующейся оболочки. За 30 с толщина оболочки 7 достигает 20 мм (обычно используют оболочки толщиной 6...20 мм).

Плиту вместе с бункером переворачивают на 180° для удаления лишней непрогретой части смеси. После того, как смесь ссыпалась в бункер (рис. 6.20, в), плиту с оболочкой снимают с бункера и помещают в печь (рис. 6.20, г), где при 300...400 °С ее выдерживают 1...4 мин для окончательного затвердевания оболочки. При этом смола полимеризуется и переходит в необратимое твердое состояние.

После извлечения оснастки из печи твердую прочную оболочковую полуформу снимают с модельной плиты толкателями, приводимыми в движение через плиту толкателей 4 механизмом съема (рис. 6.20, д). Таким же образом изготавливают нижнюю полуформу.

Перед сборкой обеих полуформ с верха стояка срезают закрывающую его часть оболочки, в нижнюю полуформу устанавливают, если необходимо, стержни и, наконец, оболочки склеивают по разьему на специальных многоштыревых прессах (рис. 6.20, е). Для склеивания оболочковых полуформ используют жидкие или порошкообразные клеи на основе термореактивных смол. Центрируются полуформы за счет выступов и впадин на разьеме δ , оформленных при изготовлении оболочек соответствующими элементами модельной оснастки.

К форме с горизонтальной плоскостью разьема приклеивают оболочку с полостью литниковой чаши. При вертикальной плоскости разьема формы в этом нет необходимости, так как все элементы литниковой системы располагаются в плоскости разьема основных оболочек.

Заливают оболочковые формы в контейнерах с засыпкой чугунной дробью (рис. 6.20, ж). Засыпка увеличивает прочность формы, препятствуя ее деформации и распариванию при заливке. Кроме того, чугунная дробь быстрее отводит теплоту от формы,

предотвращая тем самым ее быстрый перегрев до температур деформации (разложения) связующего, сопровождающийся потерей прочности оболочки. Последнее наиболее важно при производстве массивных отливок.

Формы для мелких отливок (менее 8 кг) заливают в ряде случаев без засыпки их дробью. Оболочковые формы с горизонтальным разъемом без опорного слоя устанавливают на поддон с песчаной постелью толщиной 100...200 мм.

Существуют варианты нанесения песчано-смоляной смеси на модельную плиту свободной засыпкой с вибрацией, пескодувным способом и др., что улучшает качество поверхности форм для особо сложных по конфигурации отливок [21].

В оболочковых формах можно получать отливки массой до 50 кг практически из любых сплавов — чугуна, углеродистой и легированной стали, легких и тяжелых цветных сплавов. Большая прочность оболочек (1...1,5 МПа на растяжение в горячем состоянии и 3...4 МПа в холодном) обеспечивает выполнение всех необходимых манипуляторных операций при изготовлении форм. Точность отливок и шероховатость поверхности в этом способе сопоставимы или несколько выше (на 1—2 класса), чем при литье в песчано-глинистые формы из современных формовочных смесей с прочностью сырых форм более 160 кПа и качественных способах уплотнения форм (ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989)).

Необходимость выдержки оболочки на машинах для ее затвердевания предопределила создание двух-, четырехпозиционной схемы установок. При этом, например, производительность четырехпозиционных установок для оболочек размером в плане 500×400; 800×600 и толщиной 10 мм составляет 75—100 полуформ в час.

Основные преимущества литья в оболочковые формы по сравнению с литьем в обычные песчаные формы состоят в следующем: сокращается в несколько раз расход и объем переработки формовочных материалов; уменьшается трудоемкость ряда операций технологического процесса, таких как приготовление формовочной смеси, изготовление форм, очистка отливок; уменьшается металлоемкость формовочного оборудования; снижаются первоначальные капитальные затраты и др.

Недостатками способа в современных условиях являются: необходимость изготовления форм в горячей оснастке; трудоемкость изготовления модельной оснастки, работающей при температурах до 300 °С; недостаточная термостойкость связующего (смолы) для изготовления крупных или массивных отливок из чугуна и стали; повышенное выделение вредных веществ вследствие термического разложения смоляного связующего.

Однако благодаря заметным преимуществам в точности отливок рассмотренный метод изготовления оболочковых форм интенсивно развивался в крупносерийном и массовом производстве

с 1950-х до начала 1970-х гг. С повышением точности отливок, изготавливаемых на автоматических линиях в песчано-глинистых формах, интерес к способу снизился, но его использование продолжало расширяться применительно к изготовлению точных мелких сплошных и средних оболочковых стержней (Технология литейного производства: Литье в песчаные формы / Под ред. А. П. Трухова (Авторы: А. П. Трухов, Ю. А. Сорокин, М. Ю. Ершов, Б. П. Благонравов, А. А. Минаев, Э. Ч. Гини). — М.: Изд. центр «Академия», 2005). Однако в последние десятилетия с появлением класса холоднотвердеющих смесей изготовление стержней в горячей оснастке вытесняется более современными методами, в которых нагрев оснастки не требуется.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Баландин Г. Ф.* Основы теории формирования отливок. Затвердевание и охлаждение отливок: Учеб. для вузов. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1998. — 360 с.
2. *Баландин Г. Ф.* Литье намораживанием. — М.: Машгиз, 1962. — 261 с.
3. *Бедель В. К., Тимофеев Г. И.* Литье под низким давлением. — 2-е изд. — М.: Машиностроение, 1968. — 259 с.
4. *Белов В. М., Рожнов С. П.* Установки литья под низким давлением // Литейное производство. — 1997. — № 10. — С. 26.
5. *Белопухов А. К.* Технологические режимы литья под давлением. — М.: Машиностроение, 1985. — 267 с.
6. *Борисов Г. П.* Давление в управлении литейными процессами. — Киев: Наукова Думка, 1988. — 272 с.
7. *Галдин Н. М., Чистяков В. В., Шатуновский А. А.* Литниковые системы и приборы для фасонных отливок. — М.: Машиностроение, 1992. — 256 с.
8. *Гуляев Б. Б.* Теория литейных процессов. — М.; Л.: Машиностроение, 1976. — 213 с.
9. *Зеленов В. Н., Киселенко Л. Е.* Смазка пресс-форм литья под давлением. — М.: Машиностроение, 1983. — 144 с.
10. *Иванов В. Н., Зарецкая Г. М.* Литье в керамические формы по постоянным моделям. — М.: Машиностроение, 1975. — 134 с.
11. *Куманин И. Б.* Вопросы теории литейных процессов. — М.: Машиностроение, 1976. — 215 с.
12. Литье в кокиль / Под ред. А. И. Вейника. — М.: Машиностроение, 1980. — 415 с.
13. Литье по выплавляемым моделям / Под общ. ред. В. А. Озерова. — М.: Машиностроение, 1994. — 448 с.
14. Литье под давлением / М. Б. Беккер, М. А. Заславский, Ю. Ф. Игнатенко и др. — 3-е изд. — М.: Машиностроение, 1990. — 400 с.
15. Литье тонкостенных конструкций / Ю. А. Степанов, Э. Ч. Гини, Е. А. Соколов, Ю. П. Матвейко. — М.: Машиностроение, 1966. — 254 с.
16. Машины литья под давлением / Под ред. Б. Е. Розенберга. — М.: Машиностроение, 1973. — 285 с.
17. *Моисеев Н. Н.* Математика ставит эксперимент. — М.: Наука, 1979. — 222 с.
18. *Норенков И. П.* Введение в автоматическое проектирование технических устройств и систем. — М.: Высш. шк., 1980. — 308 с.
19. *Рыжков Н. Ф., Гини Э. Ч.* Литье методом вакуумного всасывания. — М.: Машиностроение, 1982. — 96 с.
20. *Рубцов Н. Н.* История литейного производства в СССР. — М.: Машгиз, 1962. — 287 с.
21. Специальные способы литья: Справочник / Под общ. ред. В. А. Ефимова. — М.: Машиностроение, 1991. — 736 с.

22. *Стебаков Е. С., Тарутин В. Я.* Литье выжиманием. — М.: Машгиз, 1962. — 252 с.

23. *Степанов Ю. А., Баландин Г. Ф., Рыбкин В. А.* Технология литейного производства: Специальные виды литья. — М.: Машиностроение, 1983. — 287 с.

24. Цветное литье: Справочник / Под общ. ред. Н. М. Галдина. — М.: Машиностроение, 1989. — 528 с.

25. Штамповка жидкого металла (литье с кристаллизацией под давлением) / Под ред. А. И. Батышева. — М.: Машиностроение, 1979. — 199 с.

26. *Юдин С. Б., Левин М. М., Розенфельд С. Е.* Центробежное литье. — 2-е изд. — М.: Машиностроение, 1972. — 279 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава 1. Литье по выплавляемым моделям	8
1.1. Суть процесса. Основные операции. Область использования	8
1.2. Пресс-формы	15
1.3. Технология изготовления моделей	21
1.4. Изготовление оболочковых форм	42
1.5. Заливка форм, выбивка и очистка отливок	68
1.6. Изготовление керамических форм по постоянным моделям и керамических стержней	74
1.7. Автоматизация технологического процесса	78
1.8. Проектирование технологического процесса	84
Глава 2. Литье в кокиль	96
2.1. Суть процесса. Основные операции. Область использования	96
2.2. Кокили	103
2.3. Технология литья в кокиль	118
2.4. Кокильные машины и автоматизация литья в кокиль	144
2.5. Проектирование технологического процесса	157
Глава 3. Литье под давлением	170
3.1. Суть процесса. Основные операции. Область использования	170
3.2. Технология литья под давлением	176
3.3. Пресс-формы	197
3.4. Машины для литья и автоматизация литья под давлением	209
3.5. Проектирование технологического процесса	224
Глава 4. Литье под регулируемым давлением	243
4.1. Общие сведения	243
4.2. Литье под низким давлением	247
4.3. Литье с противодавлением	261
4.4. Литье вакуумным всасыванием	264
4.5. Вакуумно-компрессионное литье	267
Глава 5. Центробежное литье	270
5.1. Суть способа. Основные операции. Область использования	270

5.2. Технология изготовления отливок	279
5.3. Машины и автоматизация центробежного литья	291
5.4. Проектирование технологического процесса	296
Глава 6. Другие специальные виды литья	301
6.1. Литье по газифицируемым моделям	301
6.2. Литье по моделям, полученным методом лазерной стереолитографии	315
6.3. Непрерывное и полунепрерывное литье	317
6.4. Литье с последовательным заполнением и кристаллизацией	324
6.5. Литье выжиманием	325
6.6. Кристаллизация под давлением и штамповка из расплава	327
6.7. Электрошлаковое литье	330
6.8. Особенности изготовления отливок из титановых сплавов	335
6.9. Технология изготовления лопаток газотурбинных двигателей	337
6.10. Особенности технологии литья по выплавляемым моделям отливок художественного назначения	340
6.11. Литье в оболочковые формы	342
Список литературы	347

Учебное издание

**Гини Энрико Чельсович,
Зарубин Александр Михайлович,
Рыбкин Валерий Аверьянович**

**Технология литейного производства:
Специальные виды литья**

Учебник

Редактор *Л. А. Левченкова*
Технический редактор *Е. Ф. Коржуева*
Компьютерная верстка: *Н. В. Протасова*
Корректоры *С. Ю. Свиридова, Е. В. Соловьева*

Диaposитивы предоставлены издательством

Изд. № А-1135-1. Подписано в печать 30.11.2004. Формат 60 × 90/16.
Гарнитура «Таймс». Печать офсетная. Бумага тип. № 2. Усл. печ. л. 22,0.
Тираж 3000 экз. Заказ № 14369.

Лицензия ИД № 02025 от 13.06.2000. Издательский центр «Академия».
Санитарно-эпидемиологическое заключение № 77.99.02.953.Д.004796.07.04 от 20.07.2004.
117342, Москва, ул. Бутлерова, 17-Б, к. 360. Тел./факс: (095)334-8337, 330-1092.

Отпечатано на Саратовском полиграфическом комбинате.
410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, 59.