

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Литейное производство - одно из старейших и в настоящее время 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 различных сплавов, практически любой конфигурации, с любой структурой, макро- и микро-геометрией поверхности, массой от нескольких граммов до сотен тонн, с любыми другими эксплуатационными свойствами. При необходимости и экономической оправданности требуемые показатели достигаются без использования других технологических процессов (механической обработки, сварки, термообработки 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 указанном смысле 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 лишь литье в песчано-глинистые формы, и все остальные – «специальные виды литья». С увеличением числа различных методов и вариантов получения отливок все острее ощущается необходимость в более четкой и детальной классификации методов по их основным общим признакам. Это позволит систематизировать изложение сущности разных методов, облегчить понимание заложенных в них принципов и создание новых более эффективных способов литья.

Главным признаком для обычного «традиционного» метода литья можно считать важнейшие характеристики основного инструмента технологического процесса – литейной формы. Это, прежде всего, *разовая, разъемная литейная форма* из дисперсных огнеупорных материалов, упрочняемых механическими, химическими, физическими или комбинированными способами при ее изготовлении.

Дополнительный, обязательный признак – заполнение формы расплавом 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 др., определяют лишь варианты этого технологического процесса, типы оборудования для выполнения конкретных операций.

Указанный технологический процесс и варианты его осуществления являются предметом рассмотрения первой части дисциплины - «Технология литейного производства».

Из многочисленных разнообразных «специальных видов литья», в первую очередь целесообразно выделить следующие группы – способы, обладающие характерными признаками, отличными от обычной «традиционной» технологии.

Сначала приведем способы с резко отличными признаками инструмента - литейной формы.

1. *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.

2. *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 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 быть, видимо, и другие материалы, многократно используемых элементов литейной формы.

Характерными признаками следующих трех групп методов являются дополнительные воздействия на расплав при заполнении формы и затвердевании отливки. Тип и конструкция литейной формы определяется в этих случаях требованиями к отливке и параметрами воздействия на расплав и кристаллизующуюся отливку.

3. Общим признаком методов этой группы являются *различные способы дополнительного воздействия на расплав при заполнении формы* с целью получения, главным образом, тонкостенных отливок, или отливок, сочетающих массивные и тонкие части:

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

*б) методы литья под регулируемым, относительно невысоким газовым давлением – литье под низким давлением, с противодавлением, вакуумным всасыванием и др.* Эти способы позволяют использовать разъемные и неразъемные литейные формы из любых материалов, обладающих достаточной огнеупорностью и прочностью;

*в) центробежное литье фасонных отливок* также предполагает возможность использования разнообразных известных конструкций литейных форм. Однако, при центробежном литье тел вращения (труб, втулок, гильз, и др.) обычно используются формы специальной конструкции – изложницы;

*г) способы, использующие другие принципы заполнения формы, такие, как литье выжиманием, литье погружением форм в расплав* и др.

Конечно, воздействия на заливаемый в форму расплав, отмеченные в пунктах *а), б), в) и г)*, продолжаются и после заполнения формы, что способствует определенному повышению плотности отливок и качеству их поверхности.

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

4. Литье под всесторонним газовым давлением (*автоклавное литье*) с использованием литейных форм из различных материалов; литье с кристаллизацией под давлением (*жидкая штамповка*), где чаще всего используют металлические формы.

5. Методы литья, использующие воздействие на расплав, оказывающее существенное воздействие на формирование микроструктуры отливок. К таким можно отнести методы с использованием электрического и электромагнитного воздействия на расплав, до, вовремя или после поступления расплава в форму, его ультразвуковой обработки и др.

6. 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*; *полунепрерывное литье*, используемые для получения отливок постоянного профиля по длине; *электрошлаковое литье*; *литье с последовательным заполнением*; *литье намораживанием* и др., для получения фасонных отливок.

7. Методы получения отливок с различными специальными свойствами, к которым можно отнести: *армированные отливки*; *изготовление отливок из композиционных материалов* и др.

В производстве литых заготовок «специальные виды литья» уже сейчас занимают значительное место. Хотя из общего объема производства отливок в тоннах 70...75% получают обычным методом литья в песчаную форму, и только 25...30% «специальными» методами, это далеко не точно характеризует значение объема производства «специальными видами литья». Этими методами обычно изготавливают некрупные отливки из черных сплавов и подавляющее количество, как

правило, более легких отливок из цветных сплавов. Поэтому по количеству 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 ряд из упомянутых выше методов находятся в стадии разработки или освоения. Описать все известные методы в рамках разумного объема одного учебника не возможно. Это задача справочной и другой специальной литературы.

Учебник составлен в соответствии с программой подготовки дипломированных специалистов в высших учебных заведениях, обучающихся по направлению 651400 «Машиностроительные технологии и оборудование», специальности 120300 «Машины и технология литейного производства» и рассматривает вторую часть дисциплины «Технология литейного производства» – «специальные виды литья». В нем представлены наиболее распространенные в промышленности методы из различных перечисленных групп с акцентом на физическое и физико-химическое существо процессов той или иной технологии, особенности формирования качества отливок, выбор материалов, конструкции оснастки, назначение технологических режимов, применяемое оборудование и средства автоматизации.

Материал изложен с учетом опыта чтения указанного курса и его усвоения студентами МГТУ им Н.Э. Баумана. Он развивает многолетние педагогические традиции, заложенные первым в стране учебным пособием профессора Н.Н. Рубцова «Специальные виды литья», 1955 г. издания и продолженные его учениками, профессорами Г.Ф. Баландиным и Ю.А. Степановым, другими преподавателями литейной кафедры МГТУ им. Н.Э. Баумана в учебниках по этой дисциплине 1970 и 1983 г.г. издания.

Главы 1,6 (кроме раздела 6.1) написаны - В. А. Рыбкиным; главы 2,4, раздел 6.1 - Э. Ч. Гини, глава 3 - А. М. Зарубиным, глава 5 - В. А. Рыбкиным и А.М. Зарубиным, предисловие совместно.

## ГЛАВА 1. ЛИТЬЕ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ

### 1.1. СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА. ОСНОВНЫЕ ОПЕРАЦИИ. ОБЛАСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ.

Сущность литья по выплавляемым моделям заключается в том, что 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 форма нагревается до высоких температур. Прокалка формы перед заливкой практически исключает ее газотворность и улучшает заполняемость расплавом.

Основные операции технологического процесса. 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, имеющих невысокую температуру плавления (воск, стеарин, парафин), 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. 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 пылевидного огнеупорного материала, например пылевидного кварца или электрокорунда, и связующего (рис. 1.1, б). В результате на поверхности модели образуется тонкий (менее 1 мм) слой 4 суспензии. Для упрочнения этого слоя, увеличения его 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).



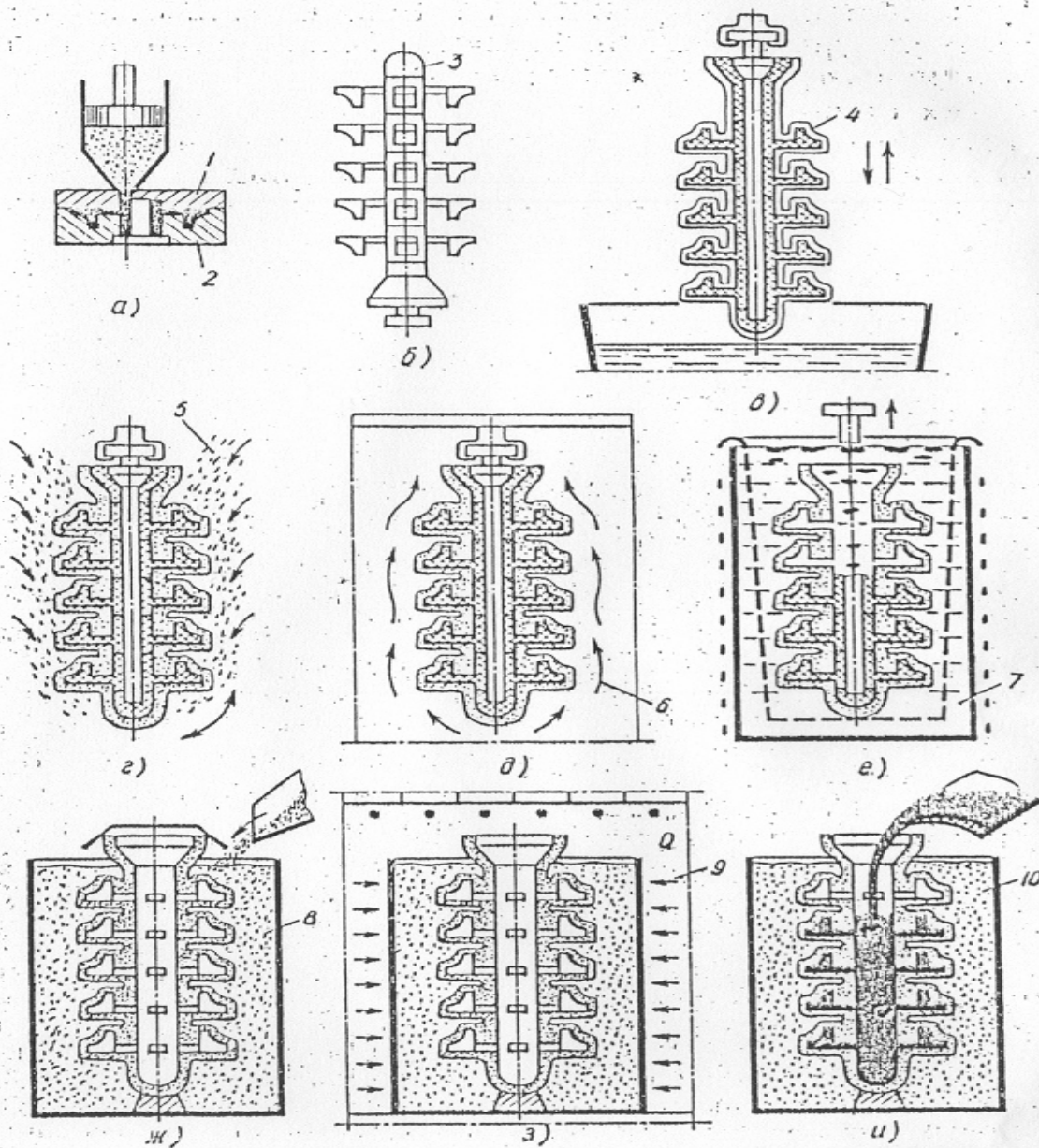


Рис. 1.1. Последовательность изготовления многослойной оболочковой формы по выплавляемым моделям: а - запрессовка модельного состава в пресс-форму; б - сборка блока; в - нанесение суспензии; г - обсыпка; д - сушка; е - удаление модели; ж - засыпка опорным материалом; з - прокатка; и - заливка формы расплавом.

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.

Каждый слой покрытия высушивают на воздухе или в парах аммиака б, что зависит от связующего (рис. 1.1, д). После сушки оболочковой формы модель удаляют из нее выплавленным, растворением, выжиганием или испарением. На рис. 1.1, е. показан процесс удале-

ния выплавляемой модели в горячей воде 7 ( $T_{\text{воды}} = 100^{\circ}\text{C}$ ). Так получают многослойную оболочковую форму по выплавляемой модели. Для упрочнения перед заливкой оболочковую 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). Форму прокаливают при температуре  $900 \dots 1100^{\circ}\text{C}$ . Прокаленную форму 10 извлекают из печи и заливают расплавом (рис. 1.1, м). 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 позволит сократить продолжительность прокаливания формы перед заливкой и сократить энергозатраты. Так, например, организуется технологический процесс на автоматических линиях для массового производства отливок (см. раздел 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 может быть от  $R_z = 20$  мкм до  $R_a = 1,25$  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 и др. улучшает заполняемость, дает возможность получать отливки сложнейшей конфигурации, максимально приближенной или соответствующей конфигурации готовой детали, практически из всех известных сплавов. Коэффициент точности отливок по массе (КТМ) может достигать  $0,85 \dots 0,95$ , что резко сокращает объемы обработки резанием и отходы металла в стружку. Точность отливок может соответствовать 2...5 классам точности по ГОСТ 26645-85, а припуски на обработку резанием для отливок размером до 50 мм обычно не превышают 1,0 мм, а размером до 500 мм составляют около 3,0 мм. *Поэтому литье по выплавляемым относится к прогрессивным материало- и трудосберегающим технологическим процессам обработки металлов.*

**Краткие исторические сведения.** Прообразом современного процесса литья по вы-

плавляемым моделям является литье в формы, полученным 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 Индии. Позже он получает распространение в Европе. Находки отливок, показывают поразительный расцвет 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 в статуарном литье, при литье колоколов, пушек, церковной и домашней утвари. Примерами высокого мастерства литейщиков прошлого являются статуи Персея и отрубленной головы Медузы скульптора Бенвенуто Челлини, скульптурная группа «Укротители коней», модели и отливки выполнил скульптор П.К. Клодт, который впервые в истории нашего искусства стал литейщиком (литейное дело изучал у известного мастера В.П. Екимова) и многие другие работы в разных странах мира.

Позже этот процесс был освоен 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 году К. Прангль и Р. Ердл впервые применили огнеупорную суспензию, в которой в качестве связующего они использовали спиртовой коллоидный раствор кремниевых ангидрида. Сначала этот процесс нашел применение в стоматологии США, а позже для массового производства мелких отливок из стали и тугоплавких сплавов.

Начало широкого освоения этого 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 году. В конце 40-х годов осваивается производство стальных деталей стрелкового оружия, швейных машин, бурового и металлорежущего инструмента.

Дальнейшее развитие этого процесса позволило его использование и в других отраслях машиностроения и в приборостроении. Таким способом стали получать отливки из различ-

ных сплавов, толщина стенки которых была менее 1 мм, а шероховатость поверхности и точность размеров, позволяющая отказаться или значительно сократить объем обработки резанием. 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 сложны и трудоемки, что осложняет автоматизацию процесса. Процесс состоит из ряда длительных операций, определяющих производительность - послойное формирование и сушка слоев оболочковой формы на модели, прокаливание формы.

Вследствие большого числа операций, технологических факторов, влияющих на размеры полости формы и соответственно отливки, может снижаться точность отливок.

Качество отливок, получаемых данным способом, существенно зависит от стабильности свойств исходных материалов для изготовления моделей, суспензии, формы, а также от стабильности режимов технологического процесса. Это осложняет автоматизацию управления технологическим процессом.

Указанные выше особенности технологического процесса изготовления отливок в керамических оболочковых формах определяют три важнейшие проблемы его развития: сокращение числа операций технологического процесса и их длительности, упрощение манипуляторных операций с целью их автоматизации; реализация резервов повышения точности моделей, форм и отливок, которыми обладает данный процесс; создание систем автоматизированного управления технологическим процессом.

**Особенности формирования и качество отливок.** Особенности формирования отливок в оболочковой форме обусловлены тем, что, как правило, перед заливкой форму нагревают до сравнительно высоких температур. Эти особенности заключаются в следующем.

1. Небольшие 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 отливок из стали с толщиной стенки 0,8...2,0 мм, со значительной площадью поверхности. Улучшению заполняемости формы способствует 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.

2. 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 рыхлот. Тонкие же стенки (1,5...3,0 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.

3. Повышенная температура формы при заливке способствует развитию на поверхности контакта отливка - форма физико-химических процессов, которые позволяют привести изменение структуры поверхностного слоя отливки в требуемом или нежелательном направлении, т.е. к появлению дефектов поверхности.

Например, на отливках из углеродистых сталей характерным дефектом является окисленный и обезуглерожженный поверхностный слой глубиной до 0,5 мм. Причина окисления и обезуглероживания отливок заключается во взаимодействии в основном кислорода воздуха с металлом отливки при ее затвердевании и охлаждении, Эти процессы достаточно подробно рассмотрены в работах [13, 16].

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 обезуглерожженного слоя отливки. Увеличение содержания углерода в стали повышает интенсивность обезуглероживания поверхностного слоя отливки. Для уменьшения глубины обезуглерожженного 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 (питтинг), приводящие к снижению коррозионной стойкости, жаростойкости и жаропрочности отливок и их браку.

Предупредить появление этого дефекта возможно созданием восстановительной газовой среды в форме, заливкой форм в вакууме, нейтральной или защитной среде; уменьшением или устранением взаимодействия окислов отливки и формы; заменой ее огнеупорного материала, например кремнезема, высокоинертными основными (магнезитовые, хромомагнезитовые).

4. Стремление получить отливки с чистой, гладкой поверхностью вызывает необходимость использования огнеупорных материалов с малыми размерами зерна основной фракции ( $< 0,05$ ). 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.** На основе производственного опыта можно указать следующие преимущества 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 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 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, 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:

1) изготовление отливок, максимально приближающихся по конфигурации к готовой детали с целью снижения трудоемкости обработки труднообрабатываемых металлов и сплавов резанием, сократить использование обработки давлением труднодеформируемых металлов и сплавов, замены трудоемких операций сварки или пайки для повышения жесткости, герметичности, надежности конструкций деталей и узлов;

2) изготовление тонкостенных крупногабаритных отливок повышенной точности с целью снижения массы 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 различных отраслях машиностроения и в приборостроении.

Использование литья в оболочковые формы для получения заготовок деталей машин взамен изготовления их из кованных заготовок или проката, позволяет в среднем уменьшить отход металла в стружку на 34...90%, снизить трудоемкость обработки резанием на 25...85%, 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 можно достичь высокой экономической эффективности производства.

## 1.2. ПРЕСС-ФОРМЫ.

**Требования к пресс-формам.** Пресс-форма - это инструмент для изготовления моде-

ли. 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 заданной 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 соответствующую литниковую систему, а для удаления воздуха из полости пресс-формы при заполнении ее модельным составом - вентиляционную систему.

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

Большинство модельных составов имеют низкую теплопроводность, а поэтому медленно охлаждаются в пресс-форме. Пресс-форма должна обеспечить достаточную скорость охлаждения. Это достигается устройством в ней системы охлаждения водой или другими теплоносителями. Такие пресс-формы часто используют в массовом производстве, где важно обеспечить высокую производительность оборудования. Для получения по одной пресс-форме достаточного количества 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 были не 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 в единичном производстве опытных отливок, при изготовлении мелких серий подготовка производства отливок должна занимать минимальное время. Поэтому экономически целесообразно быстро изготавливать отливку упро-



щенной 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, так как долговечность их невелика. Это связано с изнашиванием центрирующих элементов, отъемных частей и стержней, с изменением геометрии рабочих поверхностей пресс-форм.

Пресс-формы изготавливают с одной рабочей полостью (гнездом), то есть 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-эталону (мастер-модели). Эталон может состоять из двух частей, а иногда и более. Его часто 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 извлекают, 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 ее модельным составом 10 (рис. 1.2, в).

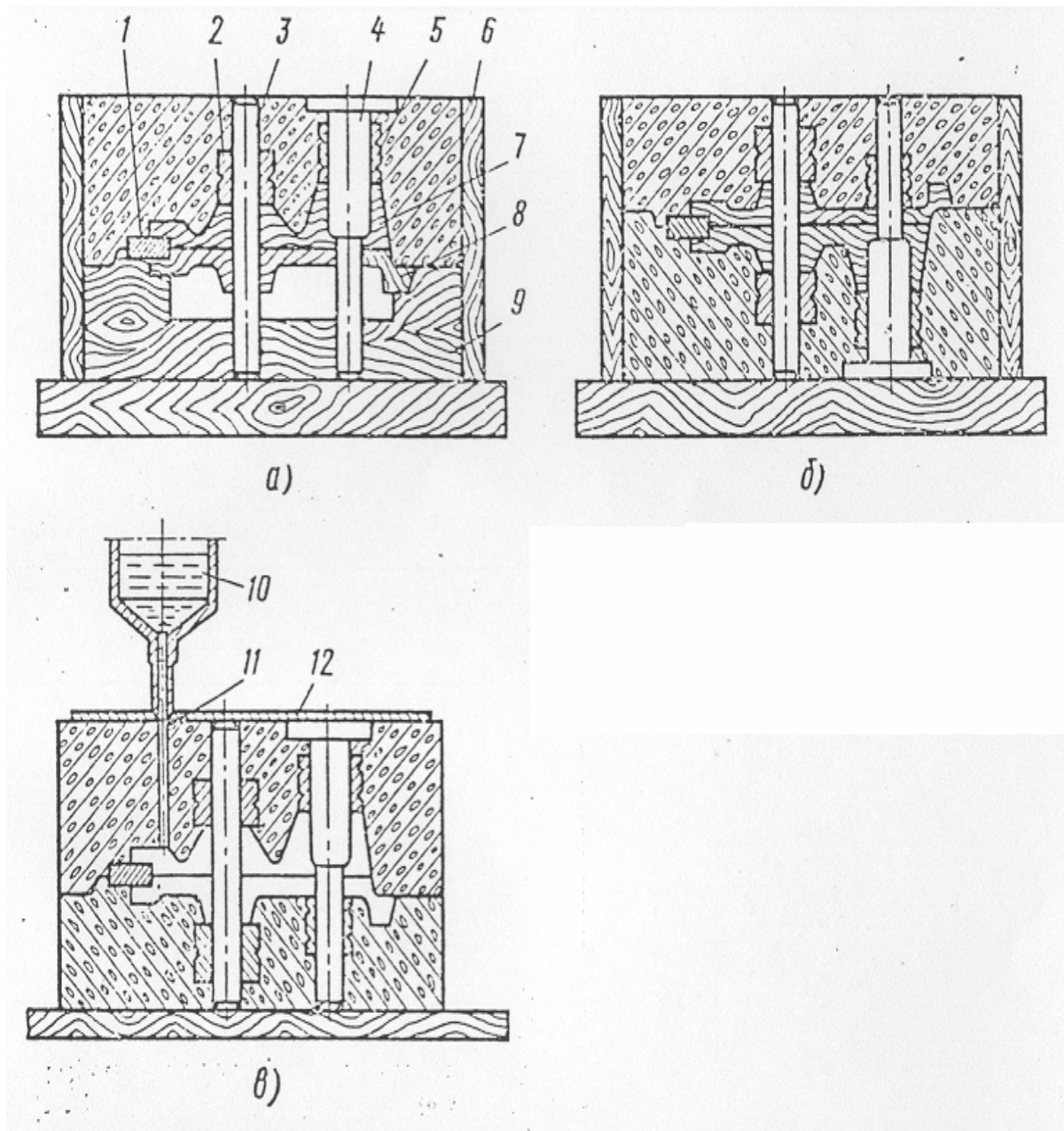


Рис. 1.2. Схема изготовления гипсовой пресс-формы: а, б – изготовление верхней (а) и нижней (б) полуформ; в – запрессовка модельного состава; 1 – вкладыш; 2,5 – втулки; 3,4 – стержни; 6 – рамка; 7,8 – половины моделей; 9 – модельная плита; 10 – модельный состав; 11 – литниковый канал; 12 – плита.

Если модель имеет на поверхности мелкий рельеф, а требования к точности размеров отливок невысокие, пресс-формы изготавливают из жидких холодно твердеющих компаундов

на основе синтетических смол. Синтетическую смолу смешивают с катализатором отверждения и заливают в рамку на модель-эталон. В результате полимеризации смола переходит в твердое состояние. Модель легко удаляется, даже если она имеет выступающие части, поднутрения и т. п. Аналогично изготавливают пресс-формы из эпоксидных и акриловых смол, которые после полимеризации переходят в твердое состояние; в смесь смолы и катализатора отверждения 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 [16].

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

### **Пресс-формы для серийного и массового производства.**

В серийном и массовом производстве применяют многогнездность 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, что обусловлено удобством литья моделей, так как сборку, разборку, извлечение и съем моделей выполняют вручную.

Пресс-форма (рис. 1.3, а) для двух моделей состоит из нижней матрицы 1 и верхней, съемной матрицы 2. 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.

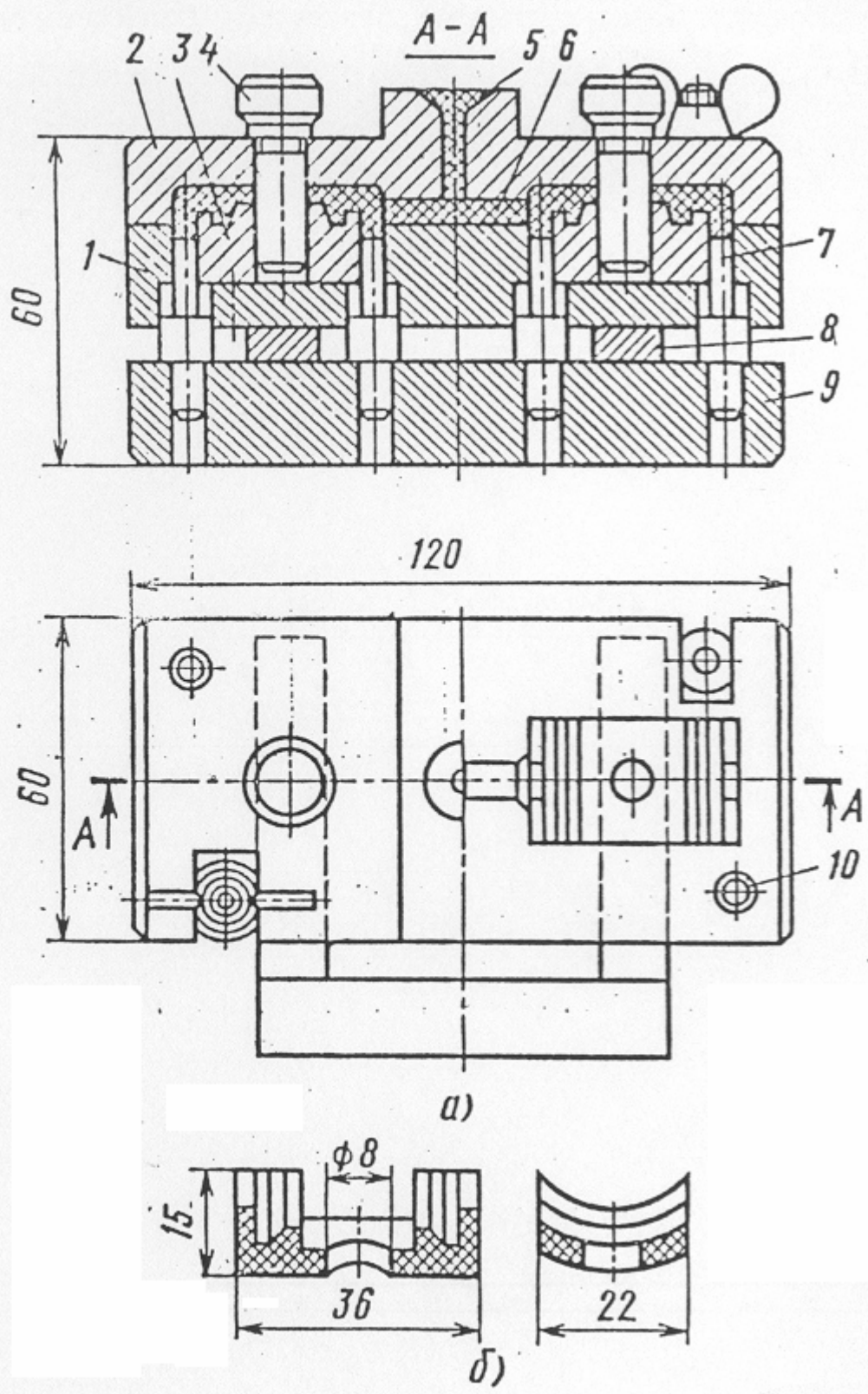


Рис. 1.3. Пресс-форма для изготовления моделей в серийном производстве (а) и модель (б): 1 – нижняя матрица; 2 – верхняя, съемная матрица; 3 – вставки; 4 – подвижный стержень; 5 – литниковый канал; 6 – питатели; 7 – толкатели; 8 – фиксатор; 9 – плита основания; 10 – направляющие штыри.

Модельный состав запрессовывают и заливают через литниковый канал 5 и питатели 6. После затвердевания моделей удаляют стержни и снимают верхнюю матрицу. Чтобы освободить модели, которые удерживаются толкателями 7, надо извлечь фиксатор 8 и опустить нижнюю матрицу 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 осуществляют 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 разьему или по стержням.

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

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

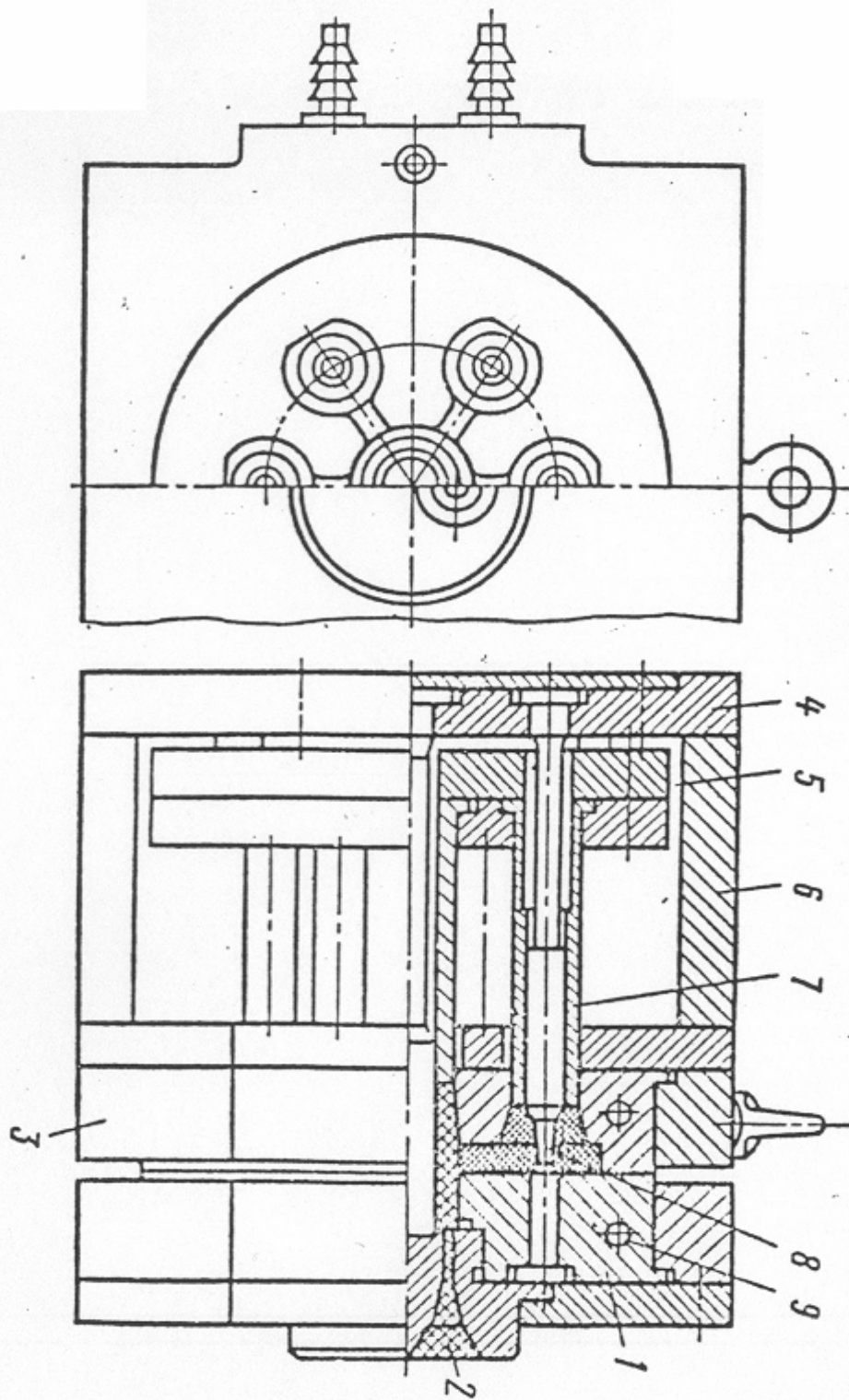


Рис. 1.4. Пресс-форма для изготовления моделей в массовом производстве: 1 – подвижная матрица; 2 – канал для подачи модельного состава; 3 – неподвижная матрица; 4 – плита выталкивателей; 5 – плита стержней; 6 – стойки; 7 – трубчатые толкатели; 8 – стержни; 9 – каналы системы термостатирования пресс-формы.

**Механизмы перемещения стержней.** Стержни, оформляющие отверстия, оси кото-

рых перпендикулярны к плоскости разъема пресс-формы, чаще всего делают неподвижными. Отверстия, оси которых расположены параллельно плоскости разъема, выполняют подвижными стержнями. Нежелательно располагать подвижные стержни под углом к плоскости разъема, 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, и усадки металла отливки.

Шероховатость поверхности рабочей полости пресс-формы должна быть в пределах  $R_a = 0,16 \dots 0,04$  мкм. Меньшая шероховатость поверхности удорожает стоимость изготовления пресс-формы, но 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, растворимые, 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 его должна быть невысокой ( $60 \dots 140$  °C), что облегчает изготовление моделей и их удаление из оболочковой формы. Температура размягчения модельного состава должна быть  $35 \dots 45$  °C, то есть превышать температуру помещений, где изготавливают, хранят, собирают модели в

блоки. Усадка состава при охлаждении и его расширении при нагреве должны быть минимальными и стабильными, чтобы точность моделей и соответственно 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 при прокаливании должна быть минимальной. Плотность состава также должна быть минимальной, что облегчит работу с моделями, блоками моделей, особенно при их больших размерах. Чтобы состав мог быть выплавлен в воде и без лишних затрат возвращен в производство моделей, его плотность должна быть  $<1000 \text{ кг/м}^3$ . Свойства модельного состава не должны изменяться перед повторным использованием, он должен быть пригодным для многократного использования.

Модельный состав должен быть безвредным для работающих и окружающей среды на всех этапах технологического процесса. Он не должен содержать дефицитных компонентов, а технология его приготовления и изготовления из него моделей должны быть просты.

В зависимости от требований к качеству отливок, 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 находят рассмотренные ниже исходные материалы.

*Парафин* - смесь углеводородов предельного ряда с общей формулой химического состава  $C_nH_{(2n+2)}$ , получают его при возгонке нефти, бурого угля, сланцев. Это белая масса с



кристаллической структурой. Он пластичен, недорог, недефицитен Температура размягчения  $\sim 30^{\circ}\text{C}$ .

*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  $\text{H}_2$  с последующей поликонденсацией. Это аморфный материал светложелтого цвета. Церезин маркируется в соответствии с температурой каплепадения в  $^{\circ}\text{C}$ : натуральный - марок 65 (температура каплепадения  $65 \dots 70^{\circ}\text{C}$ ), 70, 75, 80; синтетический - 90, 93, 100. Он обладает повышенной пластичностью и теплостойкостью, но имеет высокую линейную усадку (до 1,1%), невысокую 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 темнобурого цвета. Температура каплепадения  $\sim 90^{\circ}\text{C}$ . Он обладает высокой прочностью и твердостью, но хрупкий, высоковязкий в жидком состоянии.

*Канифоль* - твердая составная часть смолы хвойных деревьев, смесь смоляных кислот. Это хрупкое стекловидное вещество желтого или коричневого цвета. Плотность канифоли  $1000 \dots 1200 \text{ кг/м}^3$ , 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 ( $\sim 0,04\%$ ). Плотность полистирола  $1050 \text{ кг/м}^3$ , теплостойкость  $70 \dots 80^{\circ}\text{C}$ , а усадка  $0,2 \dots 0,8\%$ . Полистирол - водостойкий материал, не растворяется в кислотах и щелочах, спиртах и бензине, растворим в эфирах и ароматических углеводородах. Он обладает высокой прочностью.

*Полистирол вспенивающийся* представляет собой бесцветные гранулы, содержащие основу — полистирол и порообразователь - изопентановую фракцию с температурой кипения  $30 \dots 40^{\circ}\text{C}$ . При нагреве до температур  $80 \dots 100^{\circ}\text{C}$  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  $30 \text{ кг/м}^3$ . Этот материал используют для изготовления выжигаемых моделей.

*Полиэтилен* - термопластичный материал, получаемый полимеризацией этилена ( $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$ ). Высокомолекулярный полиэтилен (молекулярная масса  $M=35000$ ) имеет температуру размягчения  $108\dots115^\circ\text{C}$ , он твердый, прочный, эластичный; теплостойкость его составляет  $90^\circ\text{C}$ ; не взаимодействует с гидролизованным раствором этилсиликата.

*Полиэтиленовый воск* - низкомолекулярный полиэтилен ( $M=200\dots3000$ ); это гранулированный материал белого цвета с температурой плавления  $95\dots105^\circ\text{C}$ . Он хорошо растворяется в парафине, придает модельным составам прочность.

*Кубовый остаток термического крекинга парафина* — смесь предельных и непредельных углеводородов с температурой размягчения  $35^\circ\text{C}$ . Он обладает высокой пластичностью и низкой прочностью.

*Карбамид*  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  - полный амид угольной кислоты (техническая мочеви́на) - кристаллический, хорошо растворимый в воде материал. Он плавится при  $129\dots134^\circ\text{C}$  и обладает в расплавленном состоянии высокой жидкотекучестью; хорошо заполняет пресс-формы. После затвердевания образует прочную и точную модель. Усадка его  $<0,1\%$ . При нагреве карбамид не имеет стадии размягчения, а поэтому модели не деформируются вплоть до  $100^\circ\text{C}$ . Используют его для изготовления растворяемых моделей.

*Этилцеллюлоза* — продукт переработки древесины, белый порошок с температурой плавления  $160\dots180^\circ\text{C}$ , хорошо растворяется в стеарине и церезине. Прочность его до  $0,140$  МПа, линейная усадка до  $1,2\%$ .

### **Модельные составы и их свойства**

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.

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

Парафино-стеариновые модельные составы (ПС) готовят на основе парафина и стеарина. Эти модельные составы относятся к легкоплавким. Составы ПС хорошо смачиваются суспензией на связующих растворах этилсиликата. Они имеют невысокую температуру плавления 50...60 °С, низкую зольность, достаточную жидкотекучесть, однако имеют низкую температуру размягчения, невысокую прочность (1,6...2,0 МПа) и твердость, нестабильную и высокую усадку, пригодны для многократного использования (возврат после выплавления до 98%). Применяют состав ПС 50-50, реже ПС 70-30. Присутствие в модельном составе стеарина, омыляющегося при выплавлении в горячей воде, приводит к взаимодействию модели с гидролизированным раствором этилсиликата (связующего в суспензии), ухудшению качества форм.

Таблица 1.1. Некоторые употребляемые модельные составы.

Обозначение	Содержание компонентов (мас., %)									Свойства состава					Область применения
	Парафин	Церин	Стирол	Броуговый воск	Канифоль	Карбамид	Полистирол	Полиэтиленовый воск	Улучшающих добавок	Температура каплепадения, °С	Теплоустойчивость (не менее), °С	$\sigma_{изг}$ при 20 °С не менее МПа	Зольность, % не более	$y', y'',$ %	
ПС 50-50	50		50							47,5...53	30	2,4	0,03...0,1	1,3...1,5 (0,8...1,0)	Мелкие отливки, средней сложности
ПЦБКо 70-12-13-5 (Р-3)	68...70	12...14		11...13					4...6 кубового остатка	77...80	31	3,0	0,02	1,2...1,4 (0,6...0,9)	Та же
ПБТТэ 25-35-35-5 (ВИАМ 102)	25			35					Торф. воск - 35, триэтанолами на - 5	75...85	40	4,8	0,15	1,3...1,5 (0,8...0,9)	Та же
ПЦБПэв 40-45-10-5 (К-1)	40	45		10				5		75...85	35	5,0	0,15	1,1...1,3 (0,7...0,8)	Та же

														)	
ПЦБПЭВ Тэ 25- 35-30-5- 5 (М-1)	25	35		30				5	Три- этано лами н –5	80...90	43	5,0	0,1	1,3... 1,9 (0,7 ...0,9 )	Та же
ПЦПЭВ 67-25-8 (МВС- 3А)	67	25,5						7,5		75...80	40	5,0	0,02	1,3... 1,5 (0,9 ...1,1 )	Мел- кие, сред- ние, круп- ные отлив- ки
К50Пс3 0Ц20		20			50		30			140	40	7,5..8	0,03	1,4 (0,9)	Слож- ные, особо точные отлив- ки
КбПвсМ с 95,5-2- 2,5 (МПВС- 2)						94 ...9 6,5			По- ли- вин. спирт - 1,5... 3, MgS O <sub>4</sub> – 2...3	110	68...73	12..1 7	0,1... 0,15	0,2	Круп- ные, точные отлив- ки

у', % - усадка расплава; у'', % - усадка пасты.

Модельные составы ПС 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 дефек-

ты.

Для устранения усадочных дефектов в модельный состав при его приготовлении замешивают 7..10% (по объему) и более воздуха. Такой состав используют в пастообразном состоянии. Пасту под давлением запрессовывают в пресс-форму. После снятия давления воздух, содержащийся в пасте, стремится расшириться и компенсирует усадку модельного состава. Парафино-стеариновые пастообразные модельные составы с добавлением воздуха обладают хорошими технологическими свойствами, поэтому их широко используют в условиях массового автоматизированного производства, а также в серийном производстве.

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

Модельные составы с добавками до 1,5 мас. % этилцеллюлозы (ПСЭ, ПЦЭ) имеют повышенную температуру размягчения, в 1,5...2 раза более высокую прочность по сравнению с составами ПС. Составы с этилцеллюлозой склонны к утяжинам в массивных местах моделей. При изготовлении моделей их используют в жидком и пастообразном состоянии.

Парафино-церезиновые модельные составы (ПЦ) с добавками буроугольного или торфяного восков обладают высокой прочностью и теплостойкостью. Эти модельные составы используют обычно в пастообразном состоянии. Наиболее широко применяют составы Р-3, Р-3А, (ПЦБКу 60-22-12-6), имеющие прочность при изгибе 3...4 МПа, температуру каплепадения 81...84 °С, 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 МПа).

Модельные составы Р-3 и Р-3А также широко используют в массовом автоматизированном и серийном производстве отливок общего машиностроения.

Модельные составы на основе канифоли и полистирола также относятся к тугоплавким и высокопрочным. Их используют для изготовления особо точных сложных мо-

делей лопаток газовых турбин. Эти составы обладают усадкой до 1%, прочностью, в 2...4 раза превышающей прочность составов парафино-стеариновой группы ( $\sigma_{изг} = 7...8$  МПа), имеют достаточно высокую температуру плавления. Составы 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...1,0 МПа). 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  $CO(NH_2)_2$  - техническая мочевина. Карбамид плавится при температуре  $129^{\circ}C$ , хорошо растворяется в воде, имеет высокую жидкотекучесть, затвердевает и охлаждается практически без усадки. Плотность карбамида  $1,3$  г/см<sup>3</sup>. В качестве пластификатора в карбамид вводят борную кислоту в количестве 0,3...3 мас. %.

Распространенным растворимым модельным составом является КББк 98-2 (см. табл. 1.1).

Выжигаемые модельные составы. Наибольшее распространение получили полистирол ПСВ-ЛД и блочный полистирол с добавками. Полистирол ПСВ-ЛД - вспенивающаяся композиция, из которой изготавливают модели с использованием термопластавтоматов. Плотность моделей  $0,24...0,3$  г/см<sup>3</sup>,  $\sigma_{изг} = 10...14$  МПа, усадка этих составов 0,2...0,3%. Такие модельные составы используют для изготовления моделей мелких и средних отливок в массовом и крупносерийном производстве.

### **Приготовление модельных составов**

Легкоплавкие модельные составы готовят расплавлением составляющих в водяных или масляных банях с электрическим обогревом.

Исходные материалы перед загрузкой измельчают до кусков размером 30...50 мм для

ускорения плавления. Материалы загружают в порядке возрастания их температур плавления или растворимости. Расплавленный модельный состав перемешивают и фильтруют через металлическую сетку №02. Готовый модельный состав используют для изготовления моделей или разливают в изложницы для последующего употребления.

Парафино-стеариновые составы с добавками, составы с буроугольным воском (Р-3) перемешивают особенно тщательно. Если составы содержат этилцеллюлозу, то сначала расплавляют материалы в которых этилцеллюлоза хорошо растворяется (церезин, стеарин и др. доводят температуру состава до 120...140 °С, при непрерывном перемешивании вводят этилцеллюлозу, просеянную через сито № 02. После растворения этилцеллюлозы вводят остальные материалы. Модельный состав тщательно перемешивают и фильтруют.

Пастообразные модельные составы приготавливают охлаждением жидкого состава при непрерывном перемешивании в специальных смесителях. Воздух замешивается в модельный состав в количестве 8...12% по объему. Для этого 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 ~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 вторая 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 состояние. Эти смесители имеют большую производительность и на-

дежность, 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 КПсЦ сначала растворяют церезин, затем вводят канифоль, нагревают состав до  $140 \dots 157 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ; фильтруют расплав, нагревают его до  $220 \text{ }^{\circ}\text{C}$  и постепенно засыпают полистирол, перемешивая расплав. Затем модельный состав выдерживают  $30 \dots 40$  мин, охлаждают до  $180 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , 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  $100 \dots 110 \text{ }^{\circ}\text{C}$  для удаления влаги. Высушенную соль расплавляют совместно с пластификатором (борной кислотой) в металлических тиглях из коррозионно-стойкой стали при температуре  $120 \dots 130 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

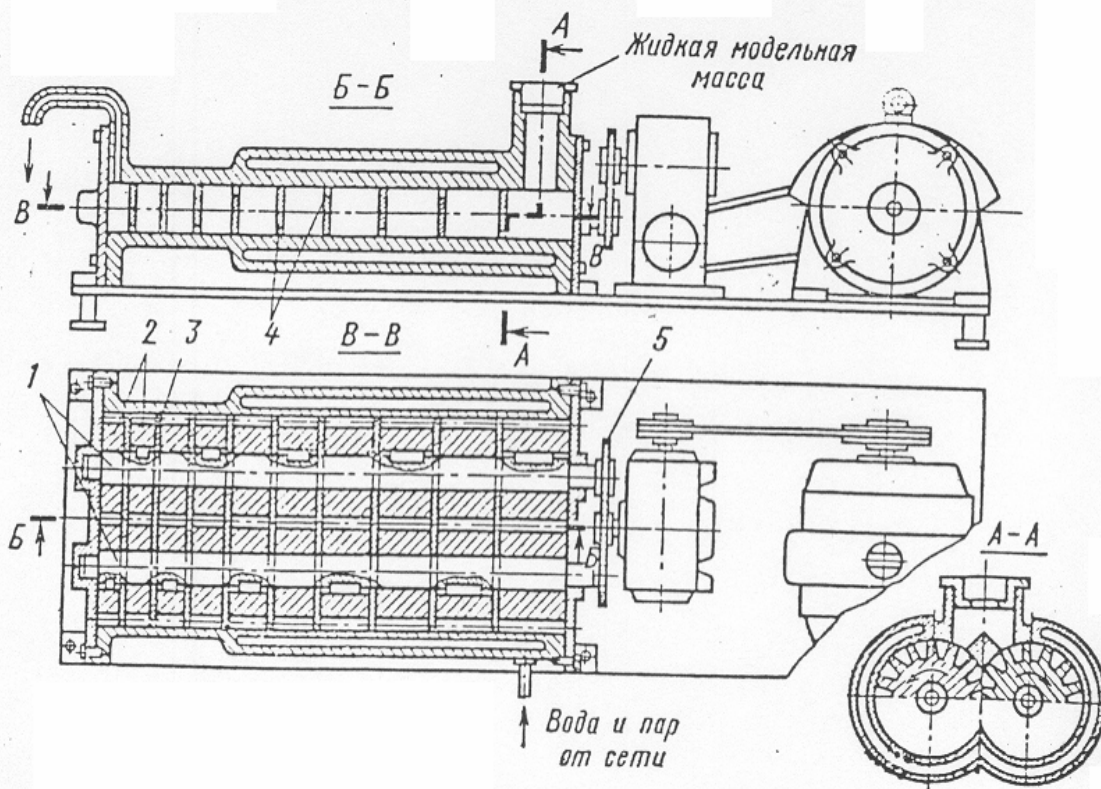


Рис. 1.5.

Схема шестеренного смесителя для приготовления пастообразного модельного состава



с воздухом: 1 – валы; 2 – шестерни; 3 – перегородки; 4 – выпускное отверстие; 5 – привод смесителя.

Расплав фильтруют и заливают в пресс-формы. Высокая по сравнению с легкоплавкими составами теплопроводность модельного состава способствует быстрому затвердеванию моделей в пресс-форме. Этот процесс менее длительный, малооперационный.

Карбамидные составы гигроскопичны, поэтому модели должны храниться в сухом воздухе.

Выжигаемые модельные составы готовят перемешиванием гранул вспенивающегося полистирола ПСВ со смачивателем и пластификатором. В начале в гранулы вводят 10%-ный спиртовой раствор бутилового эфира стеариновой кислоты (бутилстеарат) в количестве 0,03...0,05 мас.% полистирола, тщательно перемешивают и затем вводят 0,003...0,005% 1 %- ного раствора смачивателя НБ или 0,01...0,03% 10% - ного водного раствора полиэтиленоксида.

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

Важнейшими свойствами 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 па 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 соответственно в начале испытания и в конце.

Изменение длины образца обычно определяют по методике НИИТавтопрома с помощью специального измерительного стенда (рис. 1.6.).

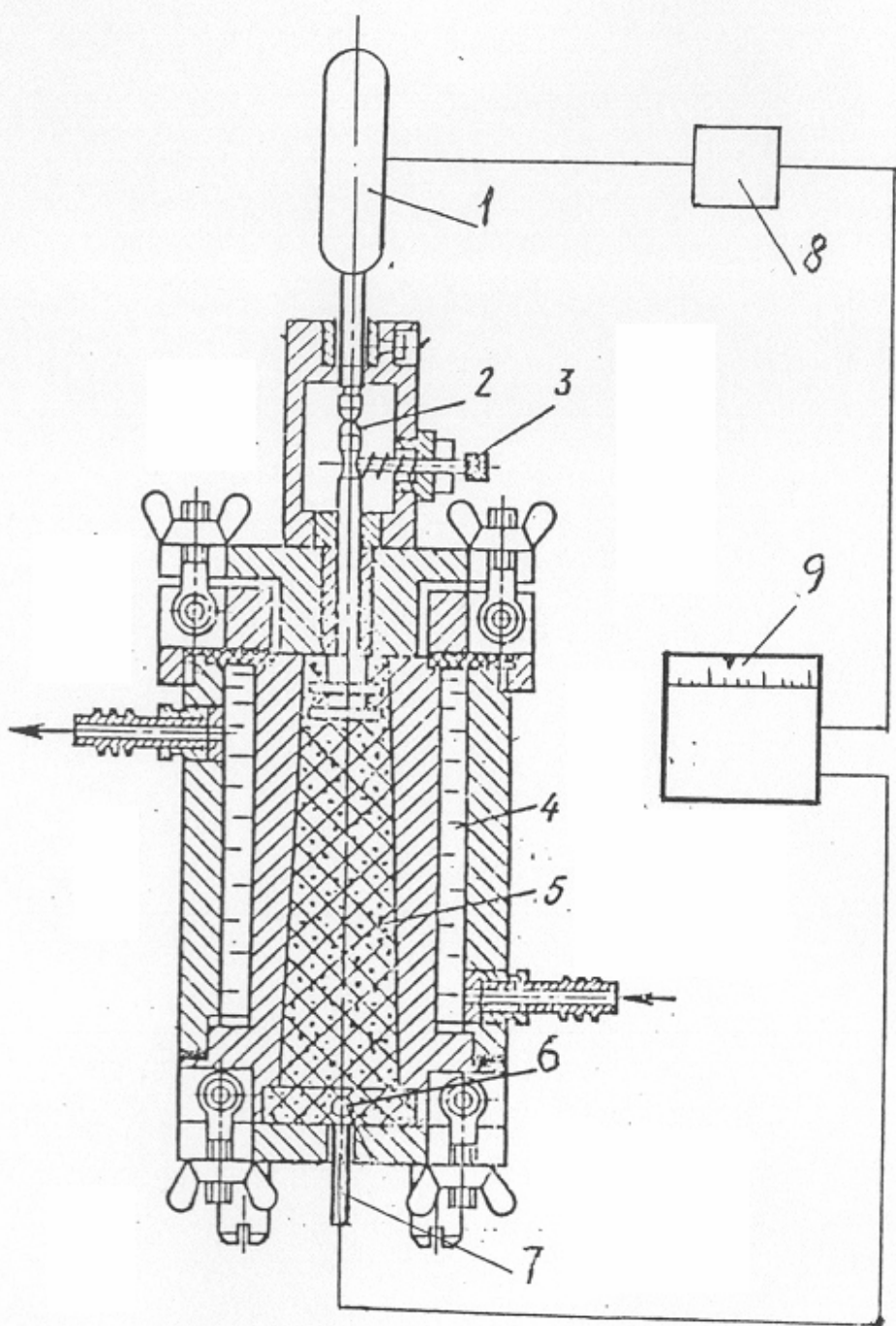


Рис. 1.6.

Схема станда 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.

Этот стенд состоит из охлаждаемой пресс-формы 4 для конического образца и регист-

рирующей 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. Сигнал от датчика 1 через преобразователь 8 и от термопары поступают на регистрирующий прибор 9. Запись сигналов продолжается до тех пор, пока показания прибора будут оставаться неизменными (~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 6х6 мм и длиной 60 мм. Образцы изготавливают в специальной пресс-форме. Образцы могут испытываться только через 24 ч после их изготовления. Испытания проводят при температуре 18...22 °С в течение не более 2 ч. Испытывают не менее шести образцов без дефектов. Для испытания используют 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 по месту излома с точностью 0,01 мм и по известным зависимостям определяют величину изгибающих напряжений в образце.

Содержание воздуха в пасте определяют по разности объемов испытуемого образца до и после расплавления, то есть после удаления из него воздуха. Для этого в пресс-форме изготавливают цилиндрический образец. Погружением образца 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 объем образца. По разности объемов образца определяют содержание воздуха в пасте:

$$a_g = ((v_o - v) / v_o) 100, \%$$

где  $v_o$  и  $v$  — объемы образца соответственно с воздухом и без воздуха.

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

Воздухонаполненные составы.

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

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

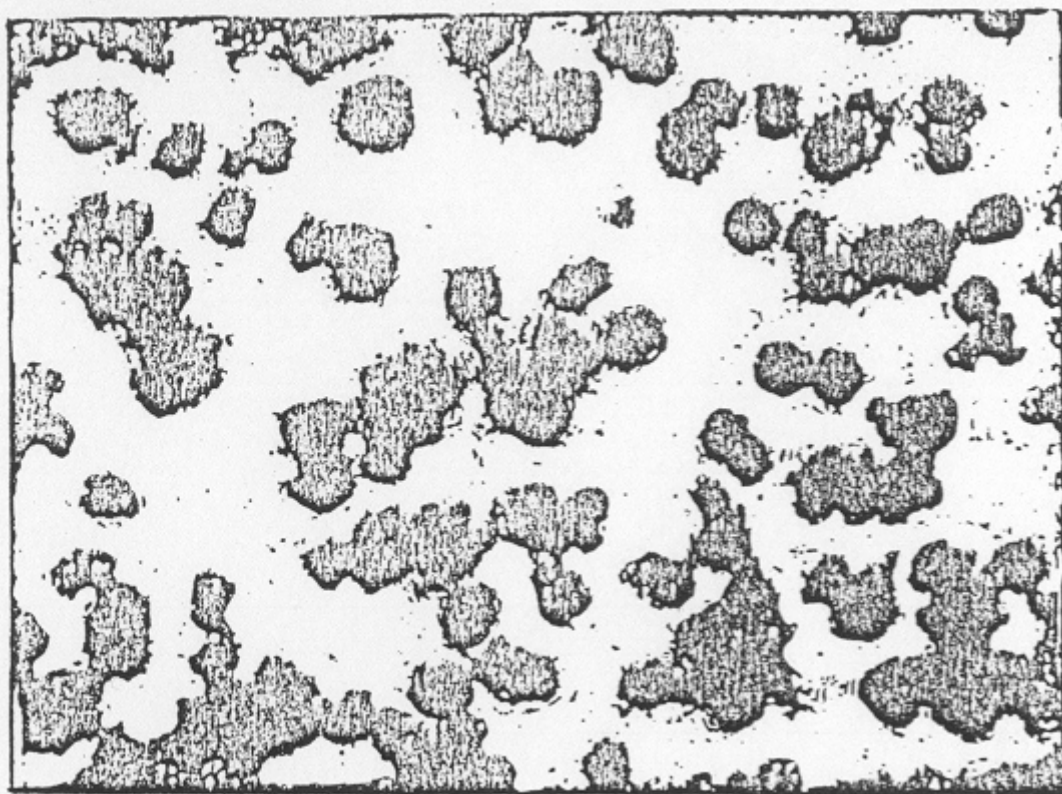


Рис. 1.7.

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

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

Необходимым условием для требуемой воздухонаполненности является поддержание модельного состава при определенной температуре во время его подготовки и запрессовки в

полость пресс-формы. Это ограничение обусловлено вязкостью, при которой возможно интенсивное замешивание воздуха в модельный состав и его диспергирование, устойчивость состава после завершения перемешивания. Для легкоплавких модельных составов Р-3 и МВС-3А температура подготовки должна соответствовать  $0,7 \dots 0,72 T_{\text{пл}}$  ( $T_{\text{пл}}$  – температура плавления модельного состава), т.к. 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 быстрого конусного агрегата, вращающегося с числом оборотов до 1500 об/мин. (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. Запрессовку подготовленного модельного состава осуществляется подачей сжатого воздуха в камеру смесителя или вручную.

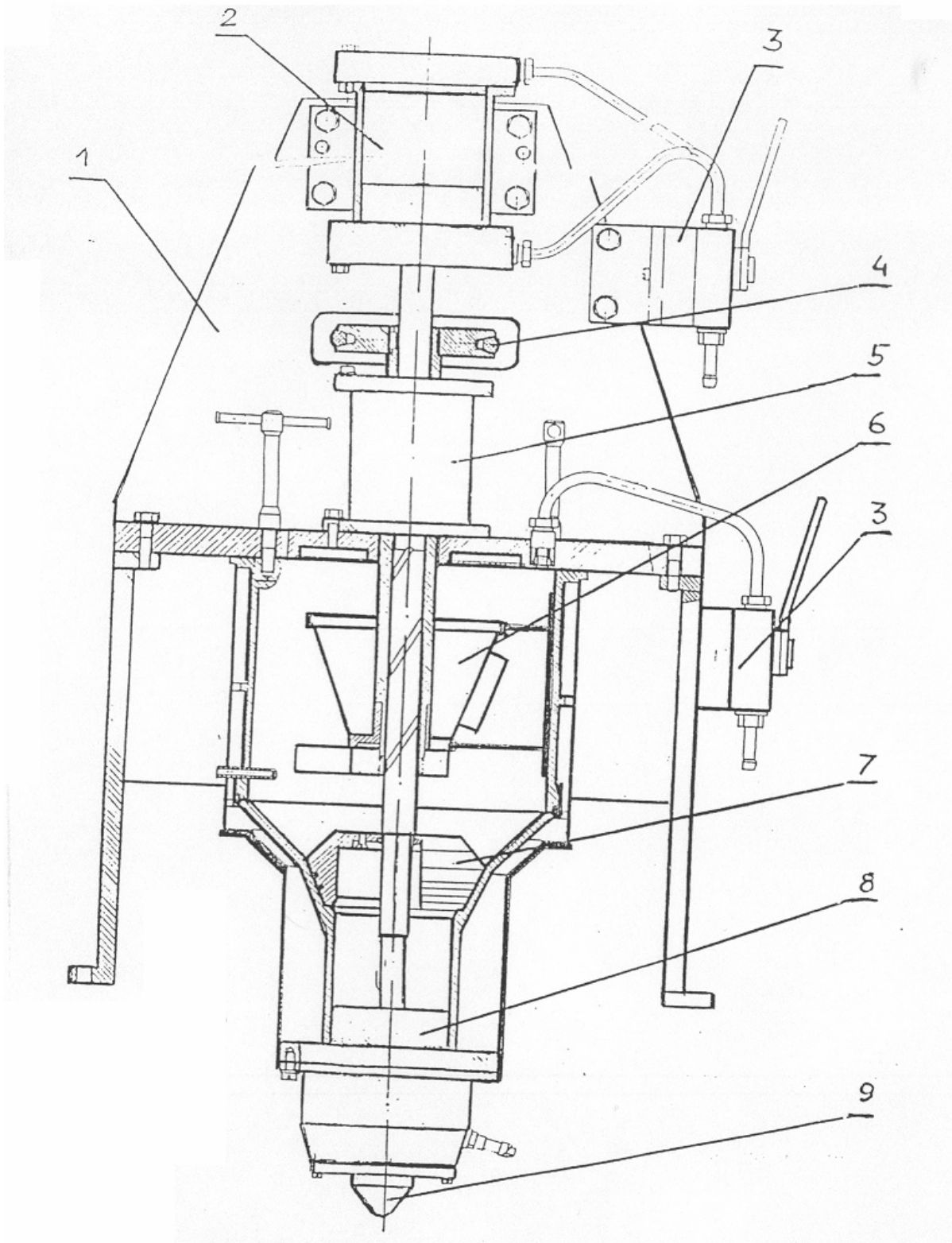


Рис. 1.8.

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.

Конструкция 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 формирует размер модели. Теория и практика этого процесса подсказывают (см. раздел 3), что 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) могут иметь место грубые включения воздушных пузырей, расположенных в объеме модели совершенно произвольным способом. Это свидетельствует 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 с размером 20...30 мкм при равномерном распределении по объему.

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.



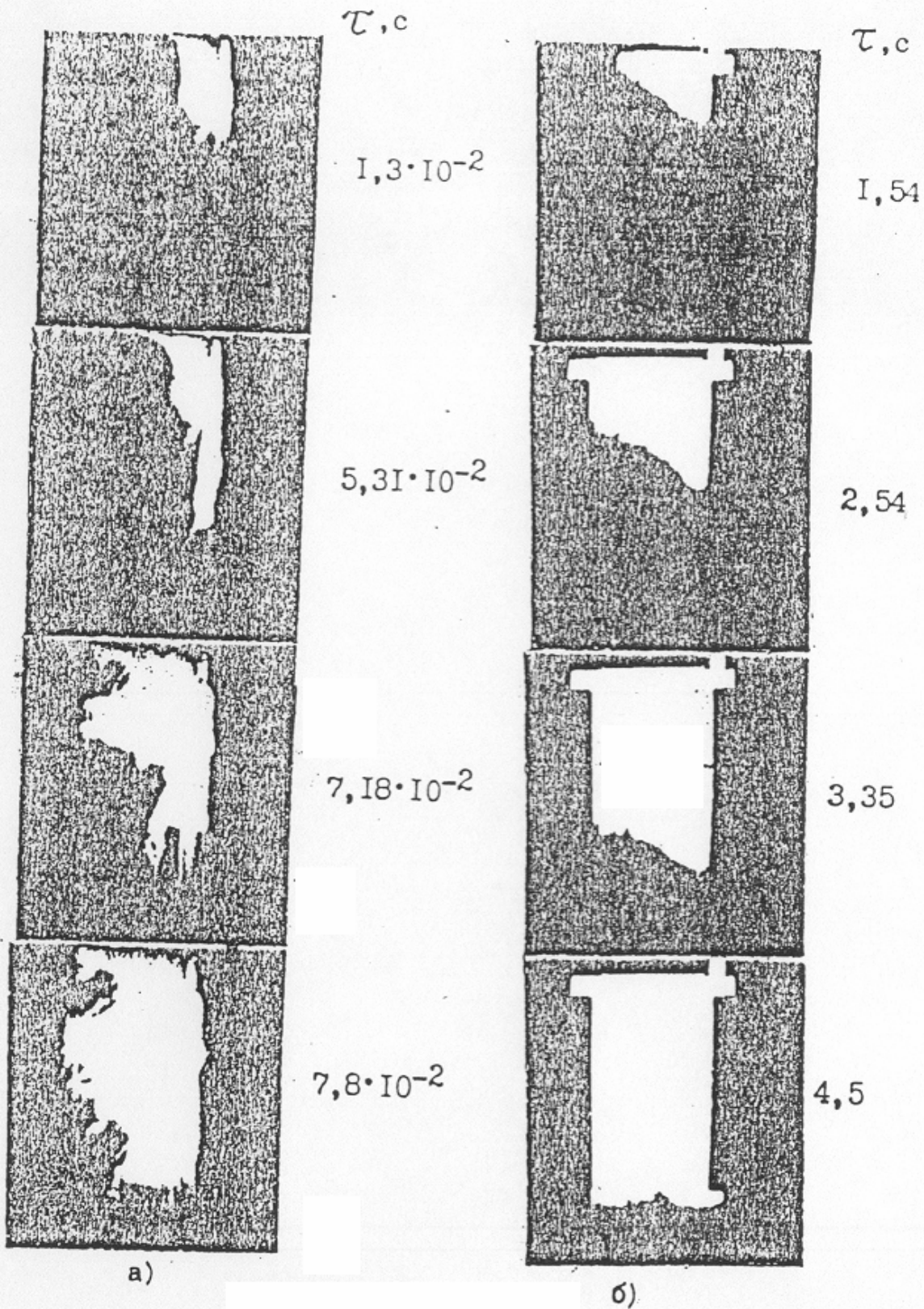


Рис 1.9.

Кинограммы заполнения полости пресс-формы модельным составом: а – 2000 кадр/с; б – 24 кадр/с.

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

Статистическая обработка результатов измерений показала, что средний размер пузырей составляет 25...30 мкм, однако размеры распределены по сечению образца неравномерно. На участке образца, прилегающем к пресс-форме, вероятно, вследствие намораживания модельного 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 НИИГАвтопрома, в качестве средства измерения прогиба образца применялся измерительный микроскоп с ценой деления 0,01 мм. Температура теплоустойчивости модельного состава МВС-3А с содержанием воздуха 35% объема составила 40,8 °С, что соответствует техническим условиям на данный модельный состав.

Применение модельного состава МВС-3А с содержанием воздуха 35% объема было 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 пресс-форму с температурой меньше 15 °С. Готовые модели напавали 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 МПа усадка составляет 0,46±0,04%, а прочность при испытании по схеме трехточечного изгиба (образец 6 x 6 x 50 мм) 1,7 МПа.

### **Изготовление моделей**

Процесс изготовления моделей включает 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.

Подготовка пресс-формы. Рабочую полость и поверхность разъема пресс-формы очищают от остатков модельного состава, наносят на поверхность рабочей полости смазочный материал - трансформаторное масло - или распыляют сжатым воздухом эмульсию (касторовое масло+спирт в соотношении 1:1 по массе). Смазочный материал должен наноситься 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 составов типа ПС этот интервал  $22...27^{\circ}\text{C}$ .

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  $80...90^{\circ}\text{C}$  при изготовлении крупных моделей и моделей сложной конфигурации  $70...75^{\circ}\text{C}$  при изготовлении моделей средних размеров и сложности (температуры указаны для составов подготовленных по обычной технологии).

Способ свободной заливки моделей редко применяют для модельных составов с повышенной усадкой из-за образования усадочных дефектов в моделях, но широко используют для изготовления моделей из растворимых карбамидных и солевых составов, обладающих малой усадкой. Способ применяют в единичном и серийном производстве, так как он прост в исполнении.

Заливку под давлением жидкого модельного состава в пресс-форму применяют при изготовлении сплошных и пустотелых 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 КПсЦ, КПсП, в условиях серийного и массового производства.

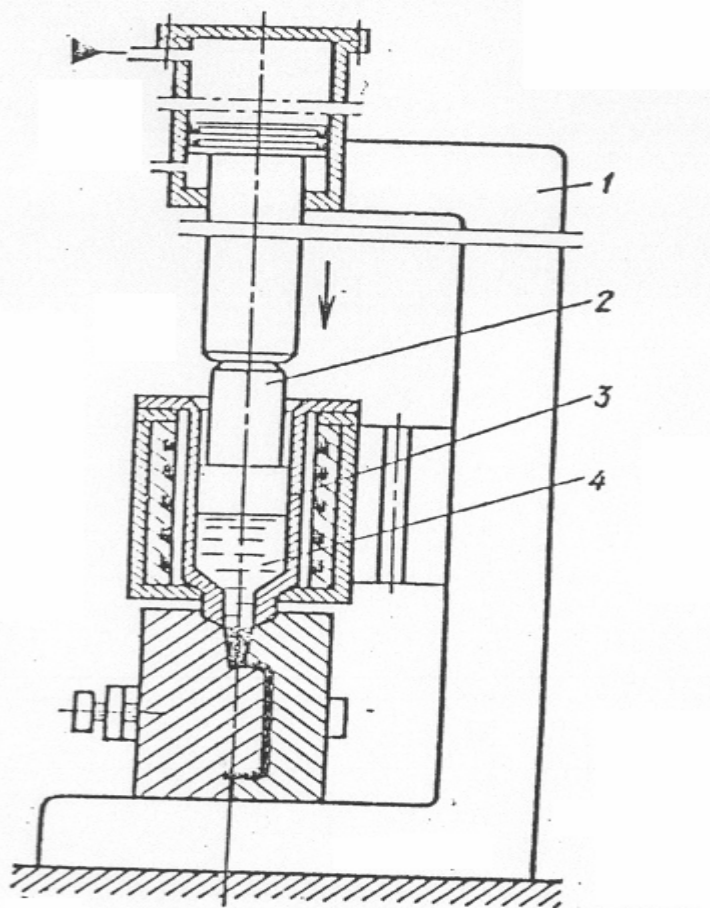


Рис 1.10. Схема устройства для запрессовки жидкого модельного состава: 1 – пресс; 2 – поршень; 3 – запрессовочное устройство; 4 – жидкий модельный состав.

Модели из вспенивающегося полистирола изготавливают на термопластоавтоматах (рис. 1.11). В обогреваемый цилиндр 1 машины загружают предварительно подготовленный модельный состав в виде гранул 2. Гранулы расплавляются и образуют пену, состоящую из расплавленного полистирола и паров изопентана. Пена впрыскивается прессующим поршнем 3 под давлением 80...100 МПа в полость пресс-формы 4. При заполнении пресс-формы расплавленный полистирол образует на ее стенках тонкую (0,2...0,3 мм) плотную глянцевую корочку, а внутренняя часть модели заполняется пеной. При затвердевании пены плавление паров изопентана компенсирует усадку моделей. После затвердевания пресс-форму раскры-

вают и извлекают модели. 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. Это позволяет сократить число единиц оборудования для изготовления моделей, сэкономить производственные площади. Высокая термоустойчивость ( $80 \text{ }^\circ\text{C}$ ) моделей, небольшая плотность, малая усадка, дают возможность получить точные отливки. Этот способ является одним из перспективных для получения моделей средней сложности и небольших размеров в массовом и крупносерийном производстве.

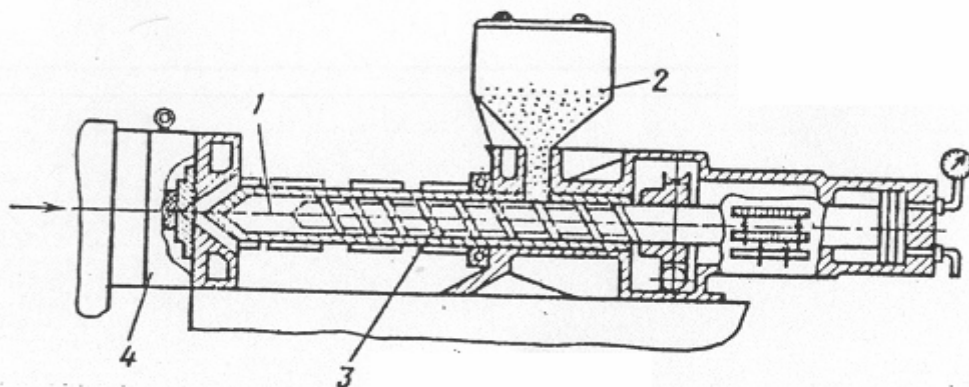


Рис 1.11. Схема установки для изготовления пенополистироловых моделей под давлением: 1 – рабочий цилиндр; 2 – гранулы полистирола; 3 – прессующий поршень; 4 – пресс-форма.

Изготовление моделей запрессовкой 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 запрессованного устройства от пресс формы. При обратном ходе поршня 7 запрессовочное устройство поджимается к пресс-форме пружиной 10, затем крышка 8 перекрывает каналы 6 и поршень 7 выдавливает модельный состав через отверстия 4 в пресс-форму. После заполнения пресс-формы излишки модельного состава поступают в ле-

вую часть полости 2 через обратный клапан 5 и отверстие в штоке поршня. Автоматические шприцы обычно устанавливают на карусельных автоматах для изготовления моделей.

Этот способ широко используется для изготовления моделей средней сложности и размеров из легкоплавких модельных составов в массовом и серийном производстве.

Охлаждение моделей. При охлаждении моделей, даже после их извлечения из пресс-формы, их размеры изменяются из-за продолжающейся усадки модельного состава. Если на такую модель нанести суспензию, то вследствие усадки модели может произойти растрескивание оболочки и её отслаивание от модели. Поэтому для изготовления форм можно использовать только те модели, усадка которых закончилась полностью. Для ускорения процесса усадки мелкие, несложные модели охлаждают в проточной воде или сжатым воздухом. Вода охлаждает модели и одновременно транспортирует их к месту сборки в блоки. Крупные модели так охлаждать нельзя, так как из-за неравномерности температур в них могут возникнуть внутренние напряжения приводящие к короблению. Поэтому их охлаждают на воздухе не менее 3 ч.

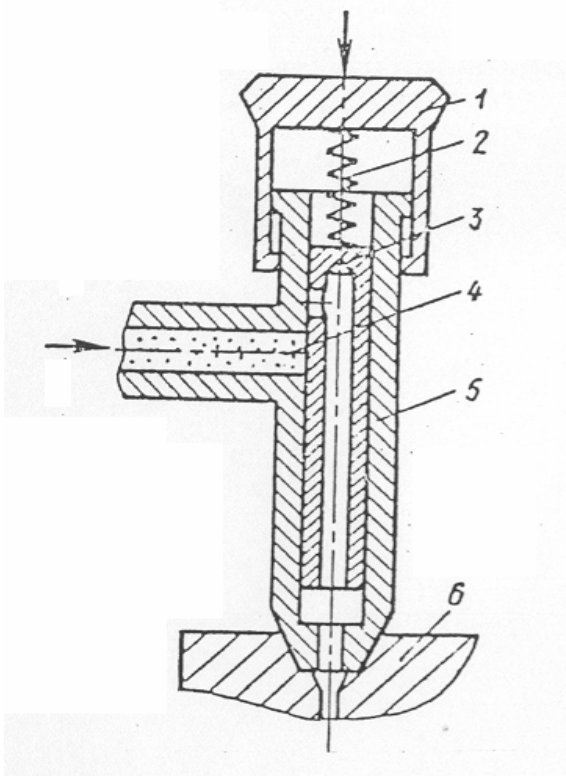


Рис. 1.12. Схема устройства ручного шприца для запрессовки пастообразных модельных составов: 1 – рукоятка; 2 – пружина; 3 – золотник; 4 – модельный состав; 5 – корпус; 6 – пресс-форма.

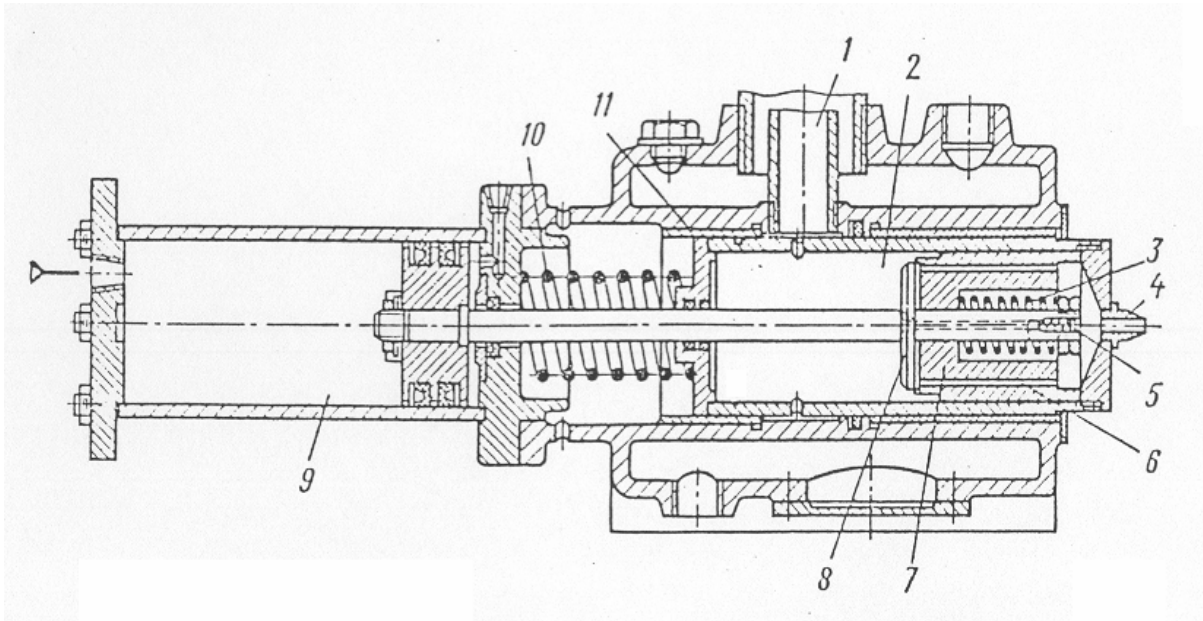


Рис.

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 – подводящие каналы; 7 – поршень; 8 – крышка; 9 – пневмоцилиндр; 10 – прижимная пружина; 11 – рабочий цилиндр.

Особые способы изготовления моделей. Для изготовления сложных моделей с полостями, отверстиями с криволинейной осью, выступающими тонкими частями часто используют разделение модели на части, получаемые по отдельным пресс-формам с последующей сборкой модели в единое целое; растворимые карбамидные стержни; керамические стержни; гибкие резиновые пресс-формы.

Растворимые 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 КББк. Модель со стержнем погружают в воду, стержень растворяется, а в модели образуется полость требуемой конфигурации.

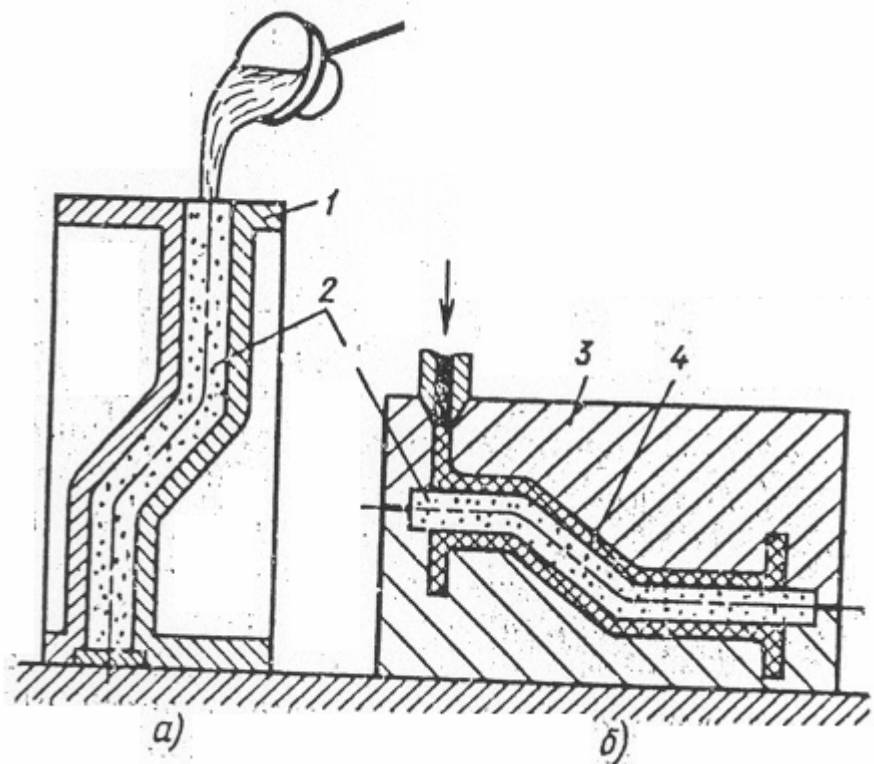


Рис. 1.14. Изготовление модели с растворимым стержнем: а – заливка стержневого ящика 1; б – запрессовка модельного состава в пресс-форму 3; 2 – стержень; 4 – модель.

Сборка моделей в блоки. Блоком моделей называют модель отливки, соединенную в одно целое с моделью литниковой системы. Сборку осуществляют пайкой в кондукторах, механическим скреплением, склеиванием.

Пайку применяют в единичном и серийном производстве. 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 КПСЦ. Сборку моделей механическим скреплением широко применяют в условиях крупносерийного и массового производства.

Звенья моделей изготавливают в многоместных (двух, трех, четырех и более) пресс-



формах. Звено состоит из моделей отливок, питателей и центрального кольца (секции модели стояка). Перед сборкой (рис. 1.15) на стояк-каркас 5 нанизывают модель 7 чаши и звенья моделей 6. Затем нажимают на каркас, при этом сжимается пружина 4 и стержень с поперечной шпилькой 2 выходит из трубы. На стержень надевают колпачок 7, покрытый модельным составом. Колпачок поворачивают на  $90^\circ$ , шпилька 2 заходит в паз 3 колпачка. Затем снимают давление со стояка-каркаса, пружина разжимается и колпачок стягивает звенья моделей.

Сборку склеиванием применяют редко, в основном моделей из пенополистирола в единичном производстве отливок.

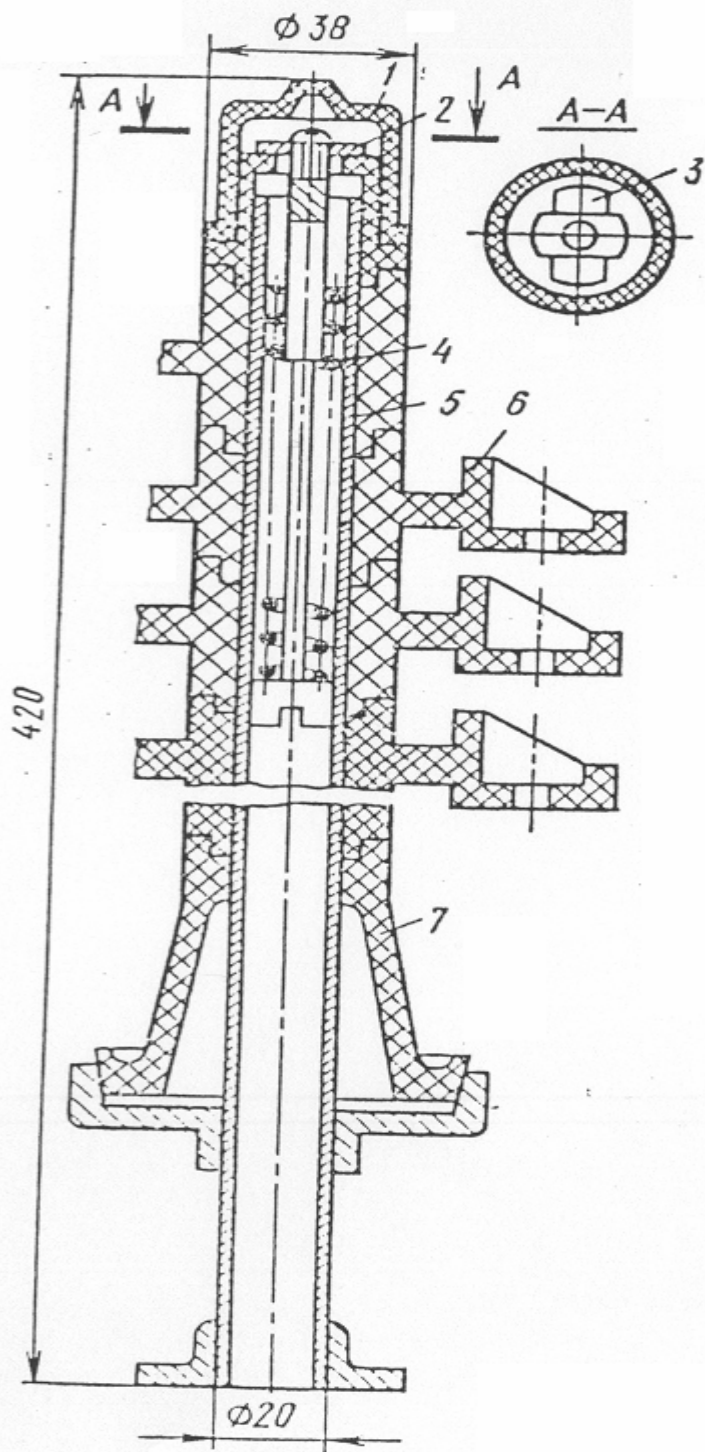


Рис. 1.15. Сборка моделей в блок на стояке-каркасе: 1 – колпачок; 2 – шпилька; 3 – паз; 4 – пружина; 5 – стояк-каркас; 6 – звенья моделей; 7 – модель литниковой чаши.

## 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 возникало противодействия 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 точностью размеров, массы и конфигурации.

Стенки керамической оболочковой формы состоят из огнеупорной основы (двух фракций — пылевидной и «грубой» 01...03) и связующего.

По химическому составу огнеупорных материалов керамические оболочковые формы разделяют на окисные и углеродные. Окисные, в свою очередь, по химическому составу разделяют на кислые, основные, амфотерные.

Кислые окисные 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, низколегированных сталей.

Основные окислы—  $MgO$ ,  $CaO$  применяют редко, только в производстве отливок из сплавов химически высокоактивных к окислам в жидком состоянии.

Амфотерные материалы на основе окислов 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 заключают-

ся в следующем. Они не предъявляют высоких требований по прочности и термостойкости к собственно оболочковой форме, предотвращают резкое охлаждение формы перед ее заливкой. Оболочковую форму после удаления модели прокаливают, а затем помещают в нагретый сыпучий огнеупорный материал, что позволяет снизить длительность этой операции 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 ЖСС (в этой смеси связующим является жидкое стекло). Модель удаляют до или после упрочнения. Иногда добавляют борную кислоту или буру, которые при прокаливании форм упрочняют опорный материал, уменьшают давление на оболочку. Такой способ применяют в серийном производстве отливок, к которым предъявляются повышенные требования по точности размеров и геометрической точности. Процесс изготовления отливок длительный и энергоемкий, поэтому такой способ используют редко.

Истинно оболочковую форму (рис. 1.16, в) прокаливают и заливают без опорных материалов, при этом сокращается продолжительность прокаливания форм, упрощается выбивка форм. Такой способ наиболее скоростной и наименее энергоемкий. В направлении совершенствования и расширения использования этого способа ведутся исследовательские работы.

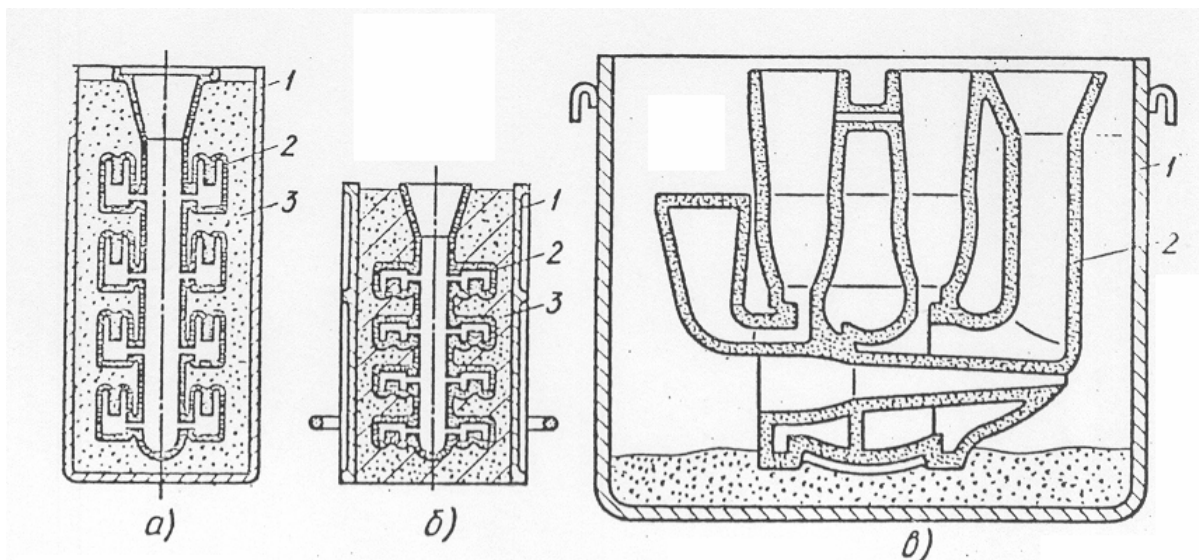


Рис.

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.

### Материалы для изготовления форм

Огнеупорные материалы. Для изготовления оболочковой формы используют огнеупорные материалы — мелкодисперсную основу суспензии, обсыпку и опорный материал.

Общие требования к огнеупорным материалам для оболочковых форм следующие: высокая огнеупорность (как правило, не ниже  $1500^{\circ}\text{C}$ ); низкий коэффициент термического расширения (КТР); 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 этого, брака отливок.

Огнеупорные материалы различаются по размерам зерен. Обычно в суспензию вводят мелкозернистые огнеупоры с размером фракции 005, 0063. Для обсыпки применяют зернистые огнеупоры фракций 02...0315 для первого и второго слоев покрытия, 063 для последующих слоев. В качестве опорного материала применяю огнеупоры более крупных фракций, крошку размером зерен 1...3 мм. Материалы, используемые для изготовления оболоч-

ковых форм, и их свойства приведены в табл. 1.2.

*Кварц*  $\text{SiO}_2$  — минерал с кристаллической структурой, плотностью  $2650 \text{ кг/м}^3$ . Температура плавления  $1713^\circ\text{C}$ . Для изготовления оболочковых форм применяют пылевидный кварц природный и искусственный, кварцевые пески 1К<sub>1</sub> или 1К<sub>2</sub> (ГОСТ 29234.3-91), содержащие не менее 98 %  $\text{SiO}_2$ . При нагреве в кварц происходят полиморфные превращения:  $573^\circ\text{C}$  ( $\beta_{\text{кв}} \leftrightarrow \alpha_{\text{кв}}$ );  $1470^\circ\text{C}$  ( $\alpha$ —тридимит  $\leftrightarrow$   $\alpha$ —кристобаллит). Средний КТР в интервале температур  $20^\circ \dots 1200^\circ\text{C}$  составляет  $(10 \dots 12) \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ . При нагреве до  $573^\circ\text{C}$  кварц расширяется так, что его линейные размеры увеличиваются на 1,4%.

Таблица 1.2

**Физико-химические свойства материалов основы оболочки**

Материал	Химические Свойства	Температура Плав-ния, $^\circ\text{C}$	Плотность, $\text{кг/м}^3$	Коэффициент линейного расширения, $\alpha \cdot 10^6, \text{ 1/}^\circ\text{C}$	Условная стойкость в вакууме (баллы)	Удельная поверхность пылевидного (50 мкм) мат риала, $\text{см}^2/\text{г}$
Кварц	К	1713	2650		2	4000...6000
Дистен-силли- Манит	КС	1575	3250	—	2	5000...6000
Циркон	КС	-	4500	5,1	3	7000...8000
Высокоглино- земистый ша мот (муллит)	А	1810	3000	5,3	4	6000...7000
Электрокорунд (белый)	А	2050	4000	8,6	4	6000...7000
Двуокись циркония стабилизированная	А	2690	5730	7,2	5	8000...9000
Окись магния (магнезит)	О	2800	3570	13,5	1	5000...6000
Шпинель	ОС	2135	3560	7,6	4	5000...6000
Окись кальция (спеченая)	О	2600	3320	13	5	5000

П р и м е ч а н и я. 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  $0,1 \dots 0,2 \text{ мм}$ , в следующих—  $0,315 \dots 0,63 \text{ мм}$ .

В интервале температур  $1470 \dots 1600^\circ\text{C}$  происходит интенсивное расширение кварца на  $\sim 2,8\%$ . Высокий и неравномерный КТР кварца служит причиной низкой термической

стойкости оболочковых форм, в которых этот минерал использован и в суспензии и как обсыпный материал.

Пылевидный кварц — огнеупорная основа суспензии. Используют его в виде природного материала (маршаллита) и искусственного. Маршаллит содержит 96...98%  $SiO_2$ . Этот полифракционный материал, имеющий нестабильный химический состав, содержит органические примеси. Искусственный пылевидный кварц 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 добавок.  $H_2SO_4$  при гидролизе этилсиликата для предупреждений огеливания раствора. Однако 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 (одного, двух) слоев оболочки можно применять песок марок  $1K_1O_1016$  и  $1K_1O_102$ , а для последующих слоев — более грубозернистые  $1K_1O_303$ ,  $2K_2O_303$  (ГОСТ 29234.3-91). При этом оболочка получается более прочной и термостойкой.

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

Плавленый кварц не испытывает полиморфных превращений и имеет КТР почти в 20 раз меньше, чем у кристаллического кварца, т. е.  $0,5 \cdot 10^{-6}$  1/К. Плавленый 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, 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 обычно двух фракций — 0315 и 063. Применение шамота позволяет снизить брак, повысить точность размеров отливок.

*Электрокорунд* ( $\alpha Al_2O_3$ ) — высокоогнеупорный, химически и термически стойкий материал. Температура его плавления  $2120^\circ C$ , он амфотерен. Суммарное расширение при на-

греве от 20 до 2000 °С составляет 2%. Различают нормальный и белый электрокорунды, содержащие до 6 и до 1,5 % примесей, соответственно. Для первых слоев формы используют белый электрокорунд, для последующих нормальный. Применение электрокорунда позволяет 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 °С на воздухе, при 1540 °С в вакууме. Этот дорогой и дефицитный материал имеет ограниченное применение.

*Окись магния*  $MgO$  целесообразно использовать при производстве отливок из высокомарганцовистых сталей.

*Окись кальция*  $CaO$  обладает высокой химической стойкостью к расплавам титана, платины, урана. Окислы 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.

Эта проблема может быть решена путем изменения структуры материала формы. 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 обсыпочного материала форм, что позволило получать оболочковые керамические формы, обладающие высокой термостойкостью (рис. 1.17).



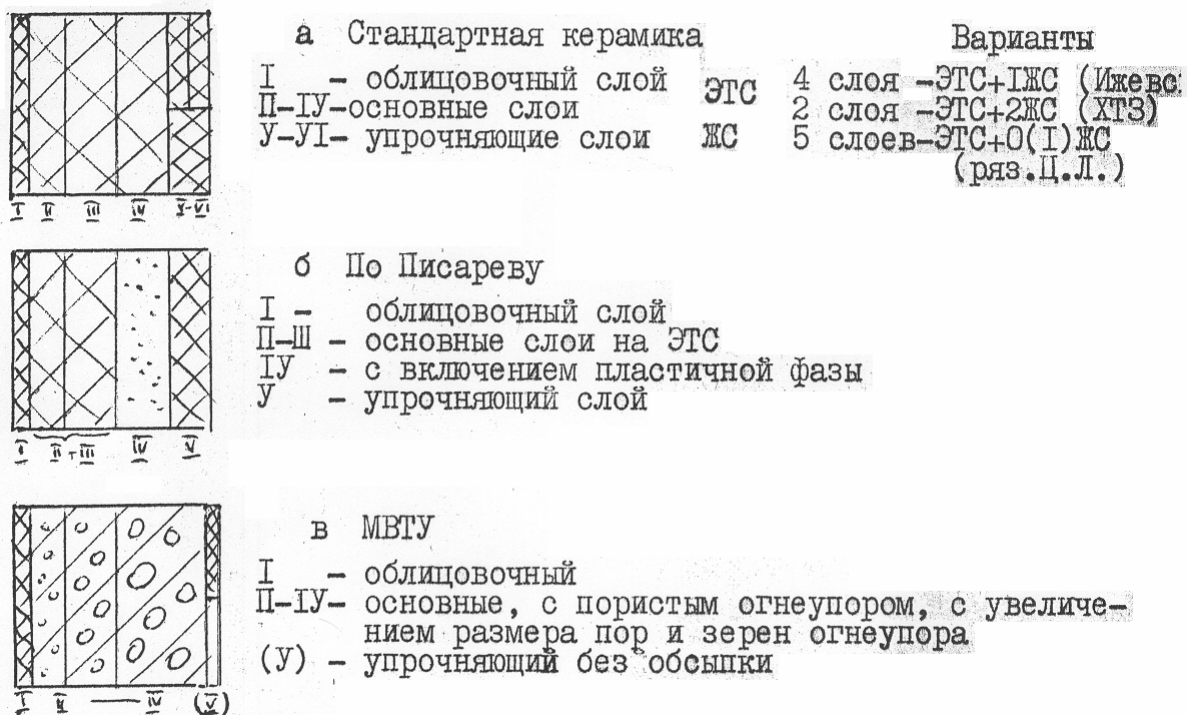


Рис. 1.17. Конструкции керамических, многослойных оболочек: а – стандартная оболочка (I – облицовочный слой и II...IV основные слои на ЭТС; V... VI – упрочняющий слой на основе жидкого стекла); б – конструкция Писарева (I – облицовочный слой и II...III основные слои на ЭТС; IV – слой с включениями пластичной массы; V – упрочняющий слой); в – конструкция МВТУ (I – облицовочный слой и II...IV основные слои с пористым огнеупором на ЭТС; V – упрочняющий слой без обсыпки).

В качестве пористых обсыпочных материалов предложены пенношамот (отходы производства огнеупоров), керамзит, алгопорит, зольный гравий. Последние материалы получают из золы уноса ТЭЦ. В России ежегодный выход золы составляет более 50 млн. т. и утилизация их представляет техническую, экономическую и экологическую проблемы. Возможно также использование отходов ваграночного и доменного производства, например шлаковые 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, тем самым в один прием наращивать большую, 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  $2,0 \dots 2,5$  раза.

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

Возможными областями эффективного применения дешевых и недефицитных пористых огнеупоров являются:

- 1) применение в качестве обсыпочно-го материала при многослойном формообразовании, т.е. при традиционной структуре процесса ЛВМ;
- 2) использование в качестве огнеупорного наполнителя блочных керамических форм и стержней;
- 3) как опорный материал при заливке оболочковых форм в опоках стационарным способом или центробежным;
- 4) 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 окисел ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и др.), образующийся из элементоорганических соединений или неорганических солей металлов.

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 окисным огнеупорам в суспензии и обсыпчным материалам. Кроме того, окислы связующего и обсыпчных материалов не должны создавать легкоплавких эвтектик, снижающих термохимическую устойчивость формы, и должны быть инертны к заливаемым сплавам и их окислам.

Свойства некоторых, наиболее широко используемых материалов для приготовления связующих приведены в таблице 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:  $\text{SiO}_2$  из связующего этилсиликата и  $\text{SiO}_2$  или  $\text{Al}_2\text{O}_3$  из материалов зерговой основы. По причине различного КТР связующего  $\text{SiO}_2$  и огнеупорной основы  $\text{Al}_2\text{O}_3$  прочность формы в момент заливки ниже, чем при использовании кварцевого песка.

Таблица 1.3.  
Материалы для приготовления связующих

Материал	Исходный материал				Связующий окисел			
	Состояние	Содержание связующего окисла, мас. %	Химические свойства	Растворимость	Химическая формула	Химические свойства	Температура плавления, °C	Стойкость в вакууме
Этилсиликат ЭТС 32, ЭТС 40, ЭТС 50	Жидкость, смесь кремний органических полимеров	30...32	К	В спирте, ацетоне	$\text{SiO}_2$	К	1693	Низкая
Оксинитрат	Гранулы, спир-	30...35	К	В воде,	$\text{Al}_2\text{O}_3$	А	2050	Высо-

алюминия $Al_3(OH)_8NO_3$	товой раствор	9...12		Спирте				кая
Оксихлорид хрома $Cr(OH)_2Cl$	Жидкость	-	К	В спирте, воде	$Cr_2O_3$	А	2035	Средняя
Кальций азот- но-кислый $Ca(NO_3)_2 + 9H_2O$	Кристалличе- ская соль	-	К	В метило- вом спирте	$CaO$	О	2800	Очень высокая

Примечание. К – кислый, А – амфотерный, О – основной.

**Растворители.** При приготовлении связующих из этилсиликата, азотнокислых и алюмофосфатных солей применяют органические растворители. Наиболее широко применяют ацетон, спирт этиловый (ректификат, сырец, гидролизный), эфираальдегидную 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 (в цехе, лаборатории) приготовления связующего должна быть организована приточно-вытяжная вентиляция.

**Добавки** вводят в связующие растворы и суспензии для регулирования их свойств. Соляная кислота  $HCl$  (плотность  $1,19 \text{ г/см}^3$ ) — катализатор гидролиза — повышает надежность протекания процесса гидролиза этилсиликата (ЭТС), способствует повышению прочности формы. Серная кислота  $H_2SO_4$  (плотность  $1,84 \text{ г/см}^3$ ) вводится в раствор при гидролизе ЭТС для нейтрализации органических примесей (в песках, маршалите).

Поверхностно-активные вещества (ПАВ) ДС-РАС, сульфанол вводят в растворы при

гидролизе ЭТС без органических растворителей (0,05...0,1 мас.%), с целью понижения междофазной энергии (ЭТС и воды), 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 — жидкость с температурой кипения  $165^{\circ}\text{C}$ , плотностью  $980\text{...}1050\text{ кг/м}^3$ . В состоянии поставки ЭТС представляет собой смесь эфиров с различной молекулярной массой, например смесь моноэфира  $(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})_4\text{Si}$ , содержащего 28,8%  $\text{SiO}_2$ , диэфира  $(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})_6\text{Si}_2\text{O}$ , содержащего 35,1%  $\text{SiO}_2$ , триэфира  $(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})_8\text{Si}_3\text{O}_2$ , содержащего 39,7%  $\text{SiO}_2$ , и так далее (тетра-, пентаэфиры).

Химический состав ЭТС в разных партиях может отличаться, поэтому каждая партия должна иметь сертификат, в котором указывается общее содержание этоксильных групп,  $\text{SiO}_2$ , примесей и т. д.

*Цель гидролиза* состоит в придании ЭТС связующих свойств.

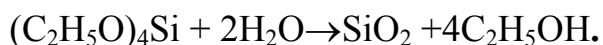
Сущность реакции гидролиза заключается в том, что в процессе химической реакции этоксильные группы  $(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})$  замещаются гидроксильными группами  $\text{OH}$ . В результате реакции гидролиза получают коллоидные растворы кремнекислот (золи), из которых при сушке и прокаливании форм выделяется собственно связующее  $\text{SiO}_2$ , соединяющее зерна огнеупорной основы суспензии.

Гидролиз — реакция между ЭТС и водой. Трудность ее проведения 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 сушке и прокаливании форм.

Реакция гидролиза может осуществляться любым количеством воды. При гидролизе этоксильные группы  $(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})$  замещаются - (частично или полностью) гидроксильными ( $\text{OH}$ ). Например, при гидролизе моноэфира небольшим количеством воды:



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

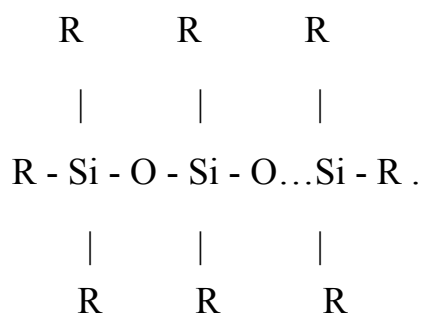


Это количество воды принято считать стехиометрической нормой. Одновременно с гидролизом в растворе протекает реакция поликонденсации.



где R - этоксильная группа  $C_2H_5O$ .

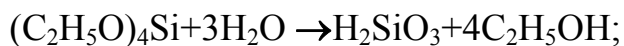
В результате образуются соединения характеризующиеся продольными связями в цепи:



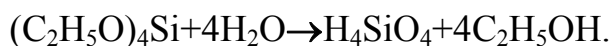
В присутствии катализаторов, например HCl, могут образовываться и поперечные связи, соединяющие ионы через кислород в сетчатые структуры.

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. Гидролизированный раствор содержит более 18 %  $SiO_2$ , его вязкость не изменяется при хранении; пленка раствора сохнет на воздухе медленно и обратимо.

При гидролизе эфиров большим количеством воды образуются различные кремниевые кислоты:



метакремниевая  
кислота



Ортокремниевая  
кислота

Кремниевые кислоты неустойчивы и образуют золи, однако одновременно в растворах протекают реакции поликонденсаций. Поэтому такие растворы представляют собой смесь коллоидных и истинных растворов. Гидролизированный раствор содержит 14...18 % SiO<sub>2</sub>. 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. Гидролизированный раствор содержит 10...12 % SiO<sub>2</sub>. 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 различные по составу, физико-химическим и технологическим 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 показана на рис. 1.19, а.

Типы связующих растворов этилсиликата. При приготовлении суспензии используют 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 различных типов: при малом количестве воды — истинный (гомогенный), при среднем - смешанный, при большом — коллоидный раствор кремнекислот (табл. 1.4).

Таблица 1.4.  
Типы связующих растворов этилсиликата

Тип раствора	Количество воды для гидролиза на одну этоксильную группу, моль	Растворитель	Стойкость до желатинизации (коагуляции), сут.	Вязкость	Сушка	$\sigma_{изг.}$ оболочковой формы, МПа
Раствор I типа (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
Раствор II типа (смеси гомогенных растворов полимеров и коллоидных растворов кремниевой кислоты)	Среднее 0,56...0,7	Только полярный	< 100	Медленно повышается	Влажным воздухом	5...7
Раствор III типа (голлоидные растворы кремниевой кислоты)	> 1	Спирты, вода	< 5	Быстро повышается	Сухим воздухом 2...4 ч	2...3

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



Растворы II типа — смесь гомогенных и коллоидных растворов, создающие 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.

Растворы III типа (коллоидные) позволяют сушить оболочки в сухом воздухе за 2...4 ч. Стойкость гидролизованного раствора невысокая. Газопроницаемость и прочность оболочки ниже, чем в случае приготовления раствора I типа.

Разработана номограмма (рис. 1.18), по которой можно определить для заданных условий сушки содержание  $\text{SiO}_2$  в растворе, количество воды для гидролиза, растворителя, а также соляной кислоты.

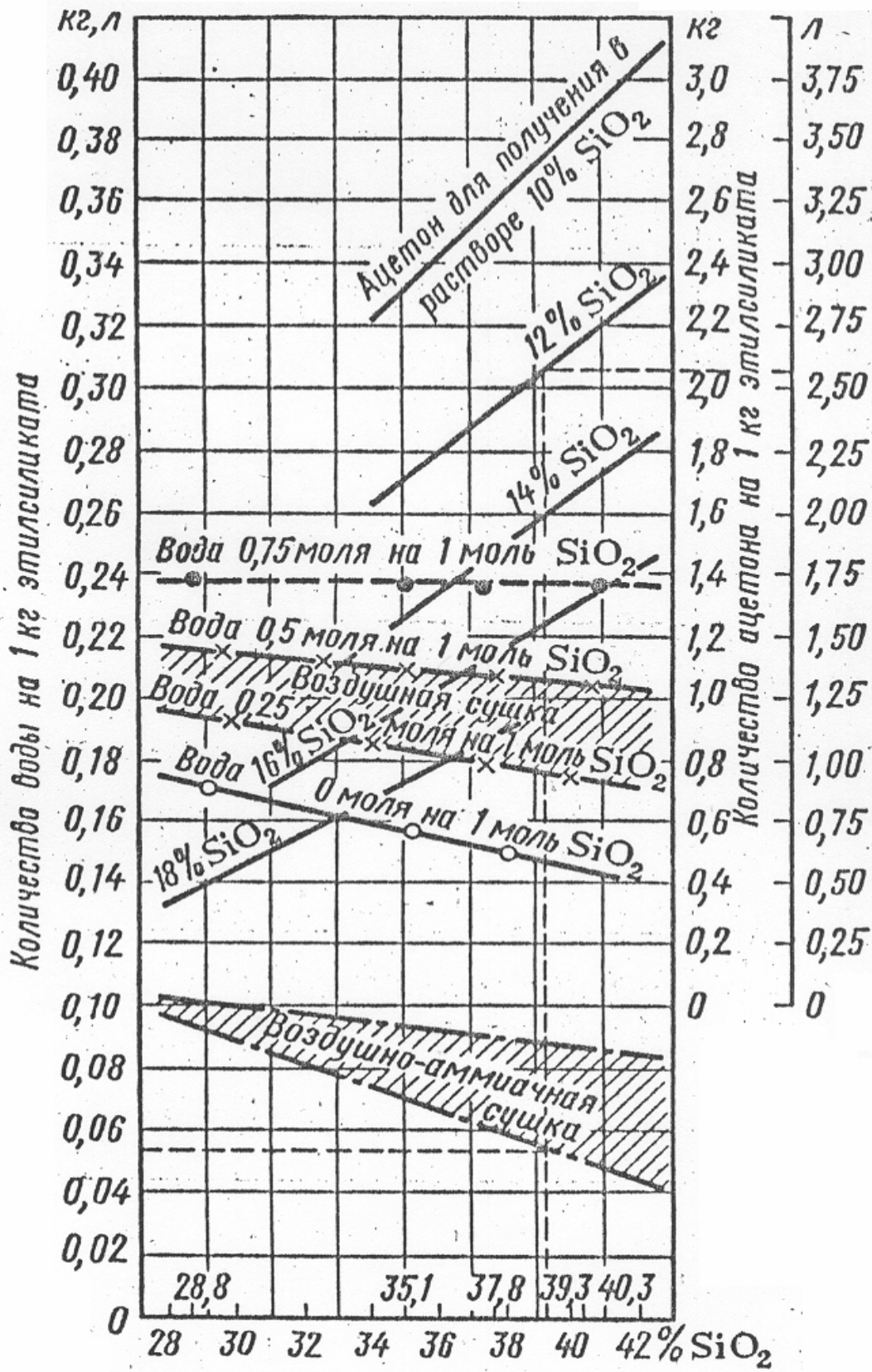


Рис.

1.18. Номограмма для расчета количества воды и растворителя для гидролиза этилсиликата.

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

Расчет количества составляющих для гидролиза

Исходными данными для расчета количества 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  $\text{SiO}_2$  в ЭТС; содержание этоксильных групп  $\text{C}_2\text{H}_5\text{O}$ ; содержание  $\text{HCl}$ .

При расчете необходимо определить количество воды для гидролиза, растворителя и соляной кислоты.

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

$$x_{\text{в}} = m a_{\text{э}} / 250,$$

где  $m$  — количество молей воды на одну этоксильную группу;  $a_{\text{э}}$  — содержание этоксильных групп (масс. %) в ЭТС (по сертификату на ЭТС); 250 — коэффициент, учитывающий молекулярные массы этоксильной группы и воды.

Количество молей воды на одну этоксильную группу назначают в зависимости от способа сушки оболочки. При  $m = 60 \dots 65\%$  для воздушной сушки оболочек принимают  $m = 0,5 \dots 0,6$ , для воздушноаммиачной сушки  $m = 0,2 \dots 0,3$ . При  $a_{\text{э}} = 65 \dots 72\%$  для воздушной сушки  $m = 0,6 \dots 0,8$ , для воздушноаммиачной сушки  $m = 0,3 \dots 0,5$ .

Необходимую для гидролиза массу растворителя точнее определять по формуле

$$r = \text{SiO}_{2\text{ЭТС}} / \text{SiO}_{2\text{раств}} - (1 + x_{\text{в}}), \text{ кг}$$

где  $\text{SiO}_{2\text{ЭТС}}$  — содержание  $\text{SiO}_2$  в ЭТС, кг;  $\text{SiO}_{2\text{раств}}$  — требуемое содержание  $\text{SiO}_2$  в связующем растворе, кг;  $x_{\text{в}}$  — масса воды, полученная расчетом, кг.

Требуемый объем  $k$ , мл, соляной кислоты плотностью  $1,19 \text{ г/см}^3$  зависит от содержания этоксильных групп в ЭТС. На 1 кг ЭТС требуется  $k = 0,114 a_{\text{э}}$ .

Для условий гидролиза ЭТС в присутствии органических растворителей определить количество воды, растворителя, соляной кислоты можно по номограмме (см. рис. 1.18). Количество растворителя определяют, исходя из условия содержания в растворе требуемого количества  $\text{SiO}_2$ . На горизонтальной оси « $\text{SiO}_2$  в ЭТС» находят точку, соответствующую со-

держанию «SiO<sub>2</sub> в ЭТС», от нее проводят вертикальную линию до пересечения с одной из линий «Ацетон для получения в растворе % SiO<sub>2</sub>». По шкале справа определяют количество ацетона.

Способы гидролиза ЭТС (рис. 1.19). В производстве связующие растворы на основе ЭТС готовят, используя следующие способы гидролиза: отдельный, совмещенный, без растворителей.

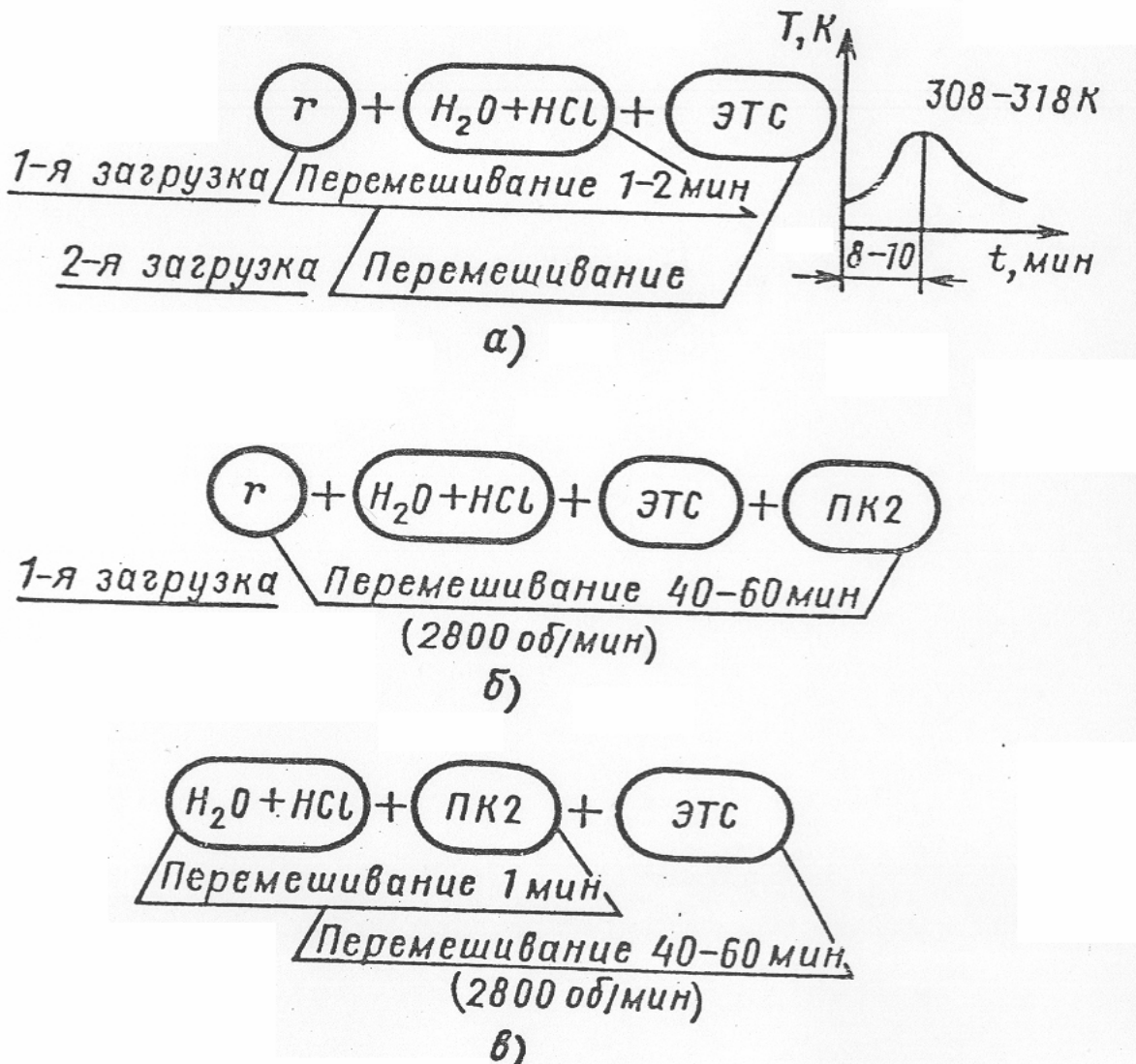


Рис.

1.19. Способы гидролиза этилсиликата: а – отдельный, однофазный; б – совмещенный; в – без органических растворителей.

При отдельном гидролизе (рис. 1.19, а) в водоохлаждаемый бак гидролизера наливают в расчетном количестве растворитель *r*, подкисленную соляной кислотой воду (H<sub>2</sub>O+HCl) и перемешивают 1...2 мин. После этого, не выключая мешалки, вливают ЭТС. Перемешивание продолжают до тех пор, пока раствор не охладится до температуры 20 °С. Затем раствор вы-

держивают 2...18 ч до окончания процесса гидролиза. Выдержка после перемешивания растворов I типа не влияет на прочность форм. Для повышения прочности форм растворы II типа, после перемешивания, выдерживают не более 1...1,5 суток для завершения процессов гидролиза и поликонденсации.

Выдержка растворов III группы отрицательно влияет на прочность форм.

Приготовленные такими способами гидролизованные растворы ЭТС используют для изготовления суспензии.

Совмещенный способ гидролиза (рис. 1.19, б) заключается в том, что реакция гидролиза и приготовление суспензии совмещены. Для этого в бак гидролизера заливают в расчетном количестве растворитель  $r$  подкисленную воду ( $H_2O + HCl$ ), ЭТС и загружают пылевидный кварц (ПК-2) в количестве  $2/3$  расчетного, обеспечивающего требуемую вязкость суспензии. Компоненты загружают при непрерывной работе мешалки. Перемешивают суспензию 40...60 мин при непрерывном охлаждении бака гидролизера проточной водой, так как реакция гидролиза экзотермическая. Для равномерного протекания реакции гидролиза по объему мешалка должна иметь частоту вращения не менее 2800 об/мин или другие устройства, работа которых способствует равномерному распределению компонентов. Затем контролируют вязкость суспензии и доводят ее до требуемой, производя догрузку пылевидного кварца. Общее количество пылевидного кварца 2,5...3 части по массе на 1 часть раствора. Этим способом можно готовить суспензии высокого качества 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 Н. Ивановым и Г. М. Зарецкой, ведут только совмещенным способом.

В водоохлаждаемый бак гидролизера наливают расчетное количество воды, подкисленной соляной и серной кислотами, засыпают пылевидный кварц и перемешивают 0,5...1 мин при частоте вращения мешалки 2800 об/мин, затем заливают расчетное количество ЭТС и перемешивают 40...60 мин. Температура суспензии при перемешивании  $27^0...30^0$  C. Периодически измеряют вязкость. Вязкость суспензии по вискозиметру ВЗ-4 должна быть в пределах 70...100 с. Количество воды должно быть таким, чтобы раствор содержал 14...16%  $SiO_2$ . Соляную 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. Это способ перспективный, так как позволяет исключить применение ацетона, спирта и других растворителей.

Приготовление суспензии при отдельном способе гидролиза. После необходимой выдержки в гидролизованный раствор при непрерывном перемешивании всыпают постепенно по частям огнеупорный материал из расчета 2...2,5 части массы пылевидного кварца на 1 часть гидролизованного раствора. Засыпав 2/3 по массе огнеупорного материала, проверяют вязкость суспензии, которая должна быть 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 окисленная вода и растворитель, а из бункера 8 по вибрлотку 7 непрерывно загружается пылевидный кварц, который дозируется по массе устройством 6.

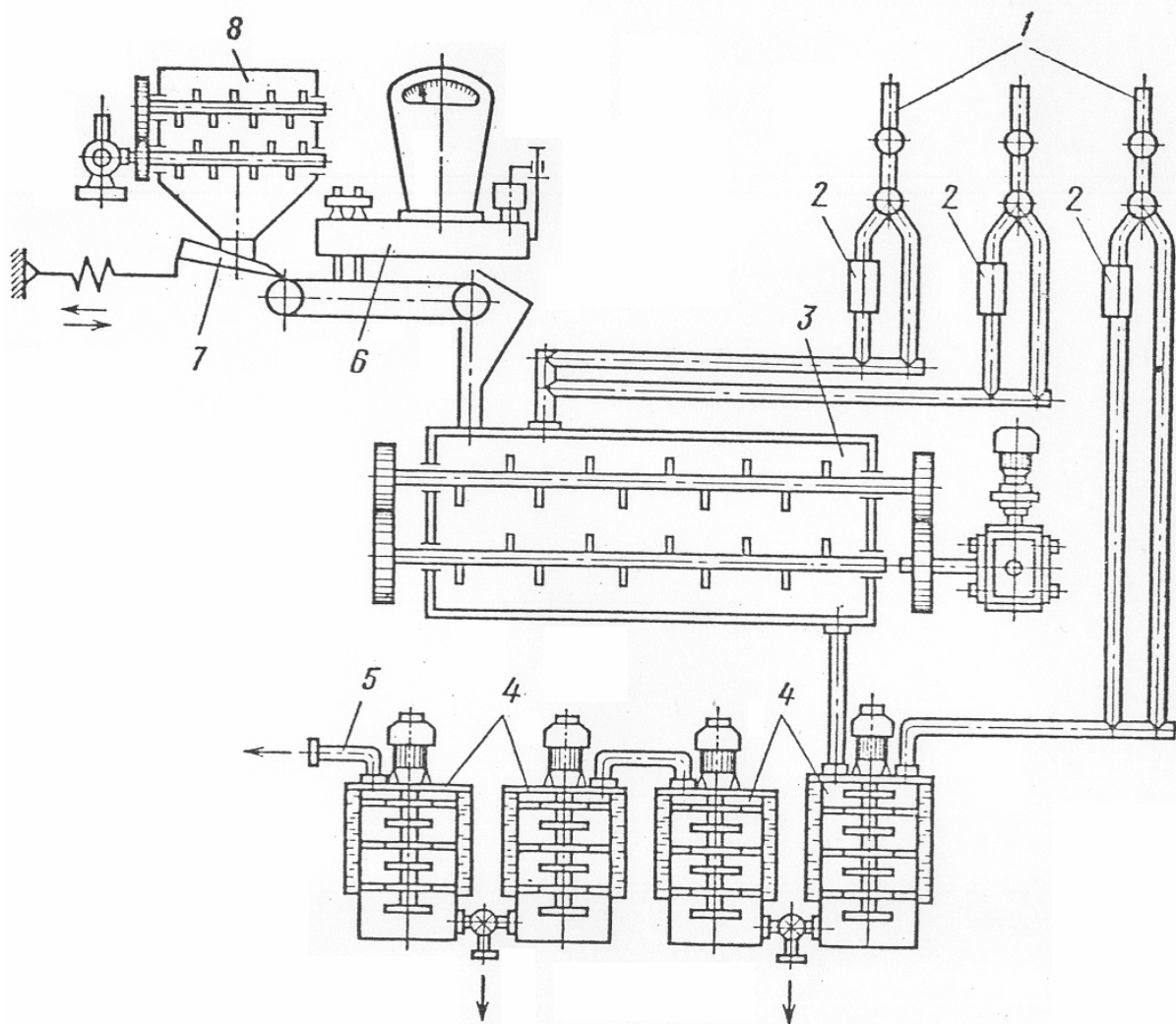


Рис. 1.20. Схема автоматизированной установки для приготовления суспензии: 1 – трубопроводы для подачи исходных материалов; 2 – дозаторы жидких компонентов; 3 – лопастная мешалка; 4 – пропеллерная мешалка; 5 - трубопровод для выпуска готовой суспензии; 6 – дозатор пылевидного кварца; 7 – вибралоток; 8 – бункер.

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.

Одним из направлений решения проблемы сокращения длительности проса изготовления оболочковых форм является применение новых связующих. Таким связующим является ЭТС-50. Связующий раствор готовят, разбавляя ЭТС-50 ацетоном до содержания в нем  $\text{SiO}_2$  10 %. Суспензию готовят в мешалках с частотой вращения  $n \approx 3000$  об/мин. Пылевидный кварц вводят в суспензию в соотношении 70:30 твердой и жидкой фаз (по массе), вязкость суспензии должна быть 30 с по 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 гидроокислами щелочных металлов или алюминия. Их используют как упрочняющие добавки в этилсиликатных связующих растворах. В золе содержится до 50 %  $\text{SiO}_2$ , размер коллоидных частиц 5...20 мкм. Это позволяет для достижения требуемой прочности формы снизить в 2 раза расход ЭТС. По опыту ПО ЗИЛ суспензию готовят совмещенным способом.

**Неорганические связующие.** Процесс изготовления форм с использованием этилсиликатных связующих растворов – многооперационный, длительный, 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 коллоидной двуокиси кремния. Эти связующие получают химическим взаимодействием кислоты и силиката натрия, а главным образом—ионным обменом. Готовое связующее—прозрачная жидкость с молочным оттенком, содержащая 30...40% коллоидного кремнезема. Суспензию готовят обычным способом в высокооборотных мешалках в присутствии ПАВ. Каждый слой покрытия сушат в течение 1 ч. Формы заливают без опорных материалов. Это связующее перспективно для широкой номенклатуры сплавов.



Связующие на основе азотнокислых солей алюминия. В качестве исходного материала используют оксинитрат алюминия  $Al_3(OH)_8NO_3$ , он содержит 35...39 мас. %  $Al_2O_3$ . Раствор оксинитрата алюминия в спиртах должен содержать ~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.

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

Связующие на основе полимеров фосфатов. Исходным материалом для связующего служат неорганические полимеры, например  $(AlPO_4)_n$ ,  $Al(H_2PO_4)_m$ . При прокаливании они разлагаются с выделением  $Al_2O_3$ , который и является связующим. Формы обладают высокой огнеупорностью и их можно заливать без опорных материалов.

Применение этилсиликатно-фосфатных связующих обеспечивает сокращение 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 2,5...4 часа.

### **Общие сведения о готовом связующем**

В литье по выплавляемым моделям при изготовлении оболочковых форм в качестве связующего применяются гидролизованные растворы этилсиликата.

Этилсиликаты, в том виде, как они поставляются химической промышленностью, не являются связующими. В условиях литейного цеха связующее готовят путем проведения сложной химической операции – гидролиза этилсиликата. При этом из-за нестабильности состава исходного этилсиликата приходится корректировать рецептуры. Трудно обеспечить точную дозировку составляющих суспензии.

ГНИИХТЭОСом совместно с НИИТАвтопромом и НПО “ХИМПРОМ” разработано готовое связующее (ГС), получившее марку ГС-12,5 И (таблица 1.5).

ГС – это продукт щелочной модификации и последующей нейтрализации гидролизованного раствора ЭТС40 в изопропиловом спирте.

ГС предназначено для использования в точном литье в качестве связующего при получении оболочковых форм.

Таблица 1.5.

Физико-химические показатели ГС-12,5 И.

Наименование показателей	Ед. изм.	Характеристика, значения показателей
Внешний вид	-	Прозрачная, желтоватого цвета жидкость
Плотность при 20°С	г/см <sup>3</sup>	0,91...0,92
Массовая доля двуокиси кремния	%	12...14
Вязкость кинематическая при 20°С	Сст	4,4...8,0
Массовая доля HNO <sub>3</sub>	%	0,03...0,07
Время гелеобразования	мин	не менее 50

ГС, являясь продуктом высокой степени поликонденсации, обладает рядом ценных технологических свойств. Так обладает высокой связующей способностью, что обеспечивает прочность оболочковых форм при статическом изгибе 4,5...6,0 МПа (по методике НИИТАвтопрома), обеспечивает “живучесть” суспензии не менее 7 суток. Суспензия на ГС обладает достаточной седиментационной устойчивостью и хорошей смачиваемостью поверхности моделей, отверждается в структуре керамики под действием паров аммиака за 5...7, а на воздухе за 20..30 минут, не изменяет свойств при хранении в течение 1 года и после длительного хранения при температуре от - 40 °С до +40 °С.

ГС обладает токсическими свойствами и относится к легковоспламеняющимся, умеренно опасным веществам (IV класс вредности).

Все работы с готовым связующим должны проводиться в помещениях с приточно-вытяжной вентиляцией, в спецодежде и резиновых перчатках.

Условия хранения и использования ГС соответствуют требованиям, предъявляемым к спиртам и этилсиликатам.

Приготовление суспензии.

Исходные материалы: ГС-12,5 И; кварц молотый пылевидный; кислота серная техническая.

Рецептура суспензии, масс. %: ГС - 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 1-го слоя – 40..50 с по ВЗ-4.

Количество вводимой серной кислоты в ГС определяется содержанием окислов железа в пылевидном кварце.

### **Изготовление оболочковых форм**

Суспензию наносят на блоки моделей окунанием их в ванну с суспензией, а на крупные блоки и модели - обливанием. 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 так, чтобы с поверхности моделей, особенно из глухих полостей, отверстий могли удалиться пузырьки воздуха. Вынутый из суспензии блок моделей медленно поворачивают в различных направлениях так, чтобы суспензия равномерно распределилась по поверхности моделей, а излишки ее стекли. После этого слой суспензии сразу обсыпают песком, между нанесением суспензии и обсыпкой должно быть не более 10 с. После этого времени суспензия подсыхает и песок не соединяется с ней. Суспензию в ванне непрерывно перемешивают с небольшой скоростью для устранения оседания огнеупорного материала. Для нанесения песка на слой суспензии используют погружение блока в слой «кипящего» песка.

На рис. 1.21 представлена схема установки для обсыпки блока моделей в слое кипящего 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 погружают в слой кипящего песка.

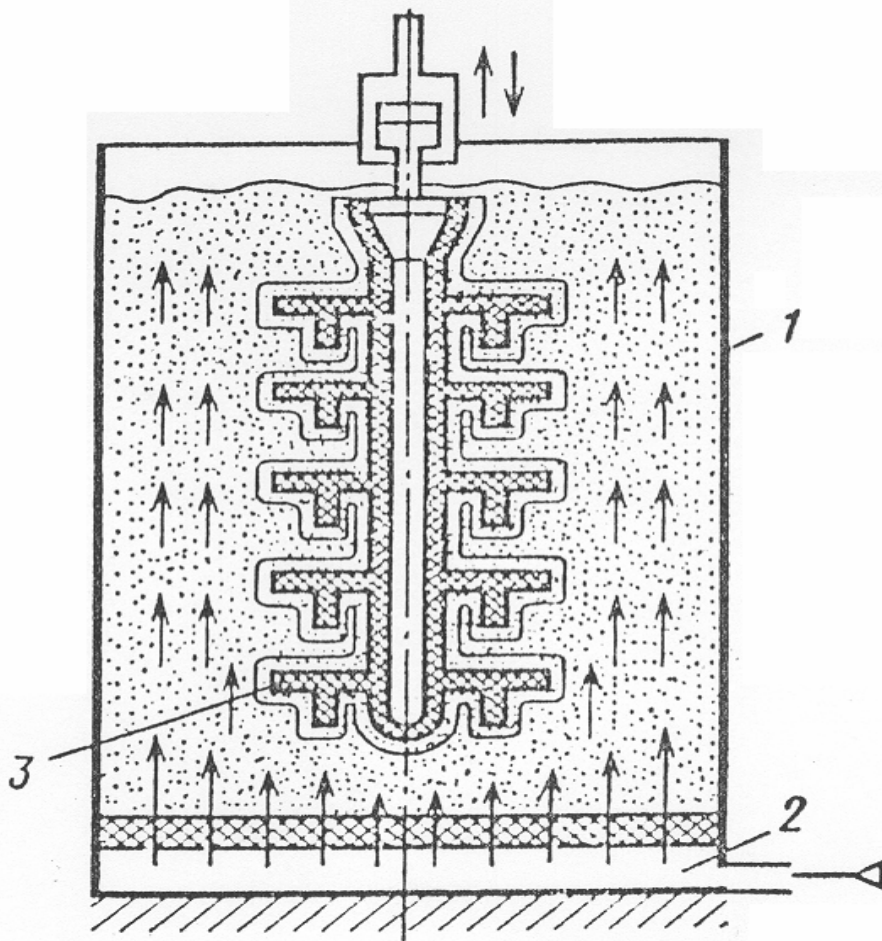


Рис. 1.21. Схема установки для обсыпки блока моделей в кипящем слое песка: 1 – емкость с песком; 2 – полость для подвода сжатого воздуха; 3 – блок моделей.

Сушка оболочковых форм. После нанесения каждого слоя суспензии и обсыпки его 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 твердением и образованием твердых прослоек, связывающих зерна огнеупорного пылевидного материала.

Процесс коагуляции можно ускорить обработкой слоев оболочки парами аммиака. Аммиак омыляет полиэфиры этоксильных групп (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 них 20...30 мин сушка на воздухе, 10...20 мин в парах аммиака и 10...20 мин - выветривание паров аммиака. Сушку производят в вертикальных и горизонтальных многоярусных сушилках. Операция сушки — одна из длительных в общем цикле изготовления оболочковой формы. Ускорение сушки — одно из важнейших направлений со-

*вершенствования 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.

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 в паровых автоклавах или горячим воздухом. Эти способы вследствие больших потерь модельного состава, сложности оборудования применяют редко.

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

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 коксует и дополнительно упрочняет форму. Однако качество возврата ухудшается вследствие его перегрева.

Выплавление горячим воздухом используют для модельных составов КПсЦ. 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, нагревают до 200...220 °С и выплавляют модели.

Растворимые и 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 путем нагрева ее вместе с модельным блоком или растворением. Выжигание пенополистироловых моделей сопровождается выделением большого количества паров стирола и других углево-

дородов, 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. Это позволяет уменьшать сажевыделение и улучшать условия труда.

При прокаливании оболочковой формы без опорных материалов ее помещают вместе с моделью в печь и нагревают до температуры  $700 \dots 727 \text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение 30 мин, затем выдерживают  $\sim 20$  мин для полной газификации остатков модельного состава и далее нагревают с той же скоростью до  $927 \dots 1027 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Пенополистироловые выжигаемые модели могут быть удалены из оболочковой формы растворением в бензоле, толуоле, ацетоне. Этот процесс чаще используют при приготовлении 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 КТР, так как при различии в КТР возможно возникновение напряжений и трещин в оболочковой форме при ее прокаливании и заливке.

В производстве используют два способа формовки оболочковых форм в сыпучие опорные материалы: холодный и горячий.

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** необходимо 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...1,0 ч при температуре 600...627 °С. Тонкая стенка формы быстро прогревается снаружи и изнутри, и 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 вследствие резкого одностороннего нагрева, начальную температуру в печи и скорость нагрева выбирают из условия равномерного нагрева оболочковой формы. Для кварцевых материалов эта скорость равна 100 °С/ч. После нагрева до 900...1000 °С дают выдержку для завершения процесса прокалики. Общая продолжительность прокаливания формы 6...8 ч (см. рис. 1.22, кривая 2). Если сыпучий огнеупорный материал имеет полиморфные превращения при нагреве, протекающие с изменением объема, то возможно появление напряжений и трещин в оболочковых формах. Поэтому целесообразно прокаливать оболочки отдельно, а затем горячую оболочку формовать в нагретый огнеупорный материал.

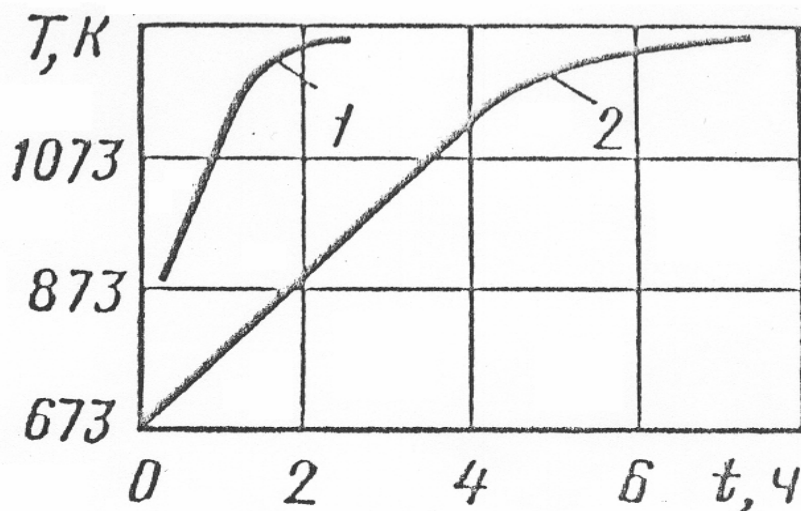


Рис. 1.22. Режимы прокаливания оболочек: 1 – прокаливание оболочковой формы без опорного материала; 2 – прокаливание заформованной в сыпучий огнеупорный материал оболочки.

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

При заливке расплавом оболочковая форма испытывает напряжения изгиба, поэтому определяют прочность при изгибе плоских образцов размерами 20x40x3 мм в непрокаленном и прокаленном при 900...950 °С состояниях. Эти испытания проводят на любой разрывной машине, снабженной приспособлением для изгиба, имеющей цену деления силоизмерителя не менее 0,5Н.

Газопроницаемость определяют на стандартном приборе, используя прокаленные образцы в виде диска диаметром 50 мм и высотой 3 мм. Образцы для определения прочности и газопроницаемости изготавливают по той же технологии, что и 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 стенки (рис. 1.23).





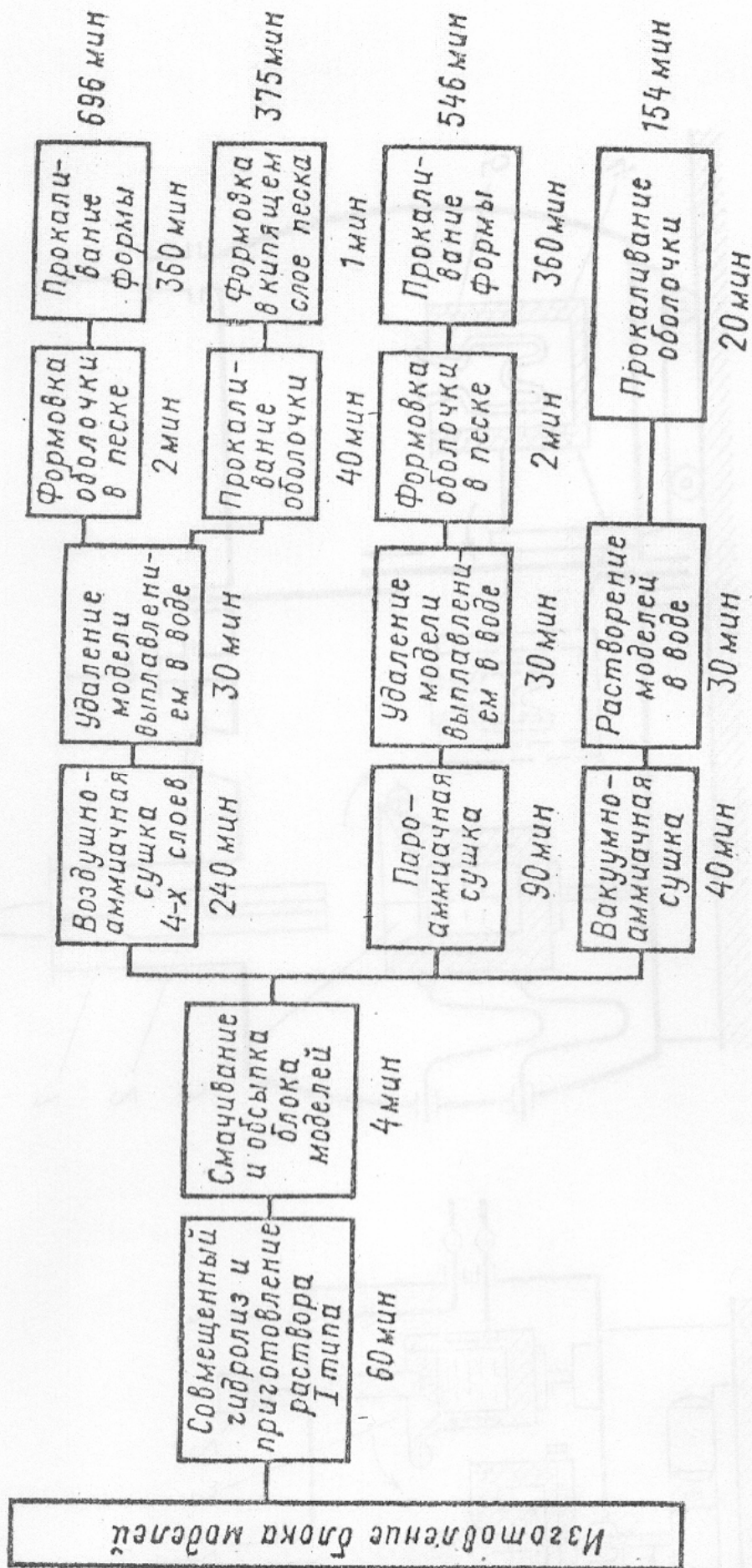


Рис. 1.23. Варианты технологических процессов изготовления оболочковых форм.

## 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 формы ( $700 \dots 1600 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) сразу после их прокаливания. Стали и жаропрочные сплавы для тонкостенных отливок заливают при температуре  $1520 \dots 1600 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , медные сплавы—при  $900 \dots 1100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , алюминиевые сплавы — при  $700 \dots 800 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . При изготовлении отливок с массивными стенками расплав заливают в формы, охлажденные до  $200 \dots 400 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , что способствует улучшению структуры отливок.

При изготовлении тонкостенных отливок из жаропрочных сталей и сплавов, склонных к окислению, плавку производят в вакуумных плавильно-заливочных установках (рис. 1.24). Эти установки имеют камеры, в которых располагаются печи 4 для подогрева оболочковых форм 5 перед заливкой расплава. Перед плавкой форму устанавливают в печь подогрева. После приготовления расплава форму 5 перемещают вместе с печью 4 подогрева на позицию заливки и заливают расплавом (рис. 1.24, а). При изготовлении тонкостенных отливок из сплавов, обладающих пониженной жидкотекучестью (сплавы титана, некоторые высокопрочные стали), заливку форм 5 для улучшения их заполняемости производят центробежным способом, размещая центробежную машину 6 в вакуумной камере 1 плавильно-заливочной установки (рис. 1.24, б).

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

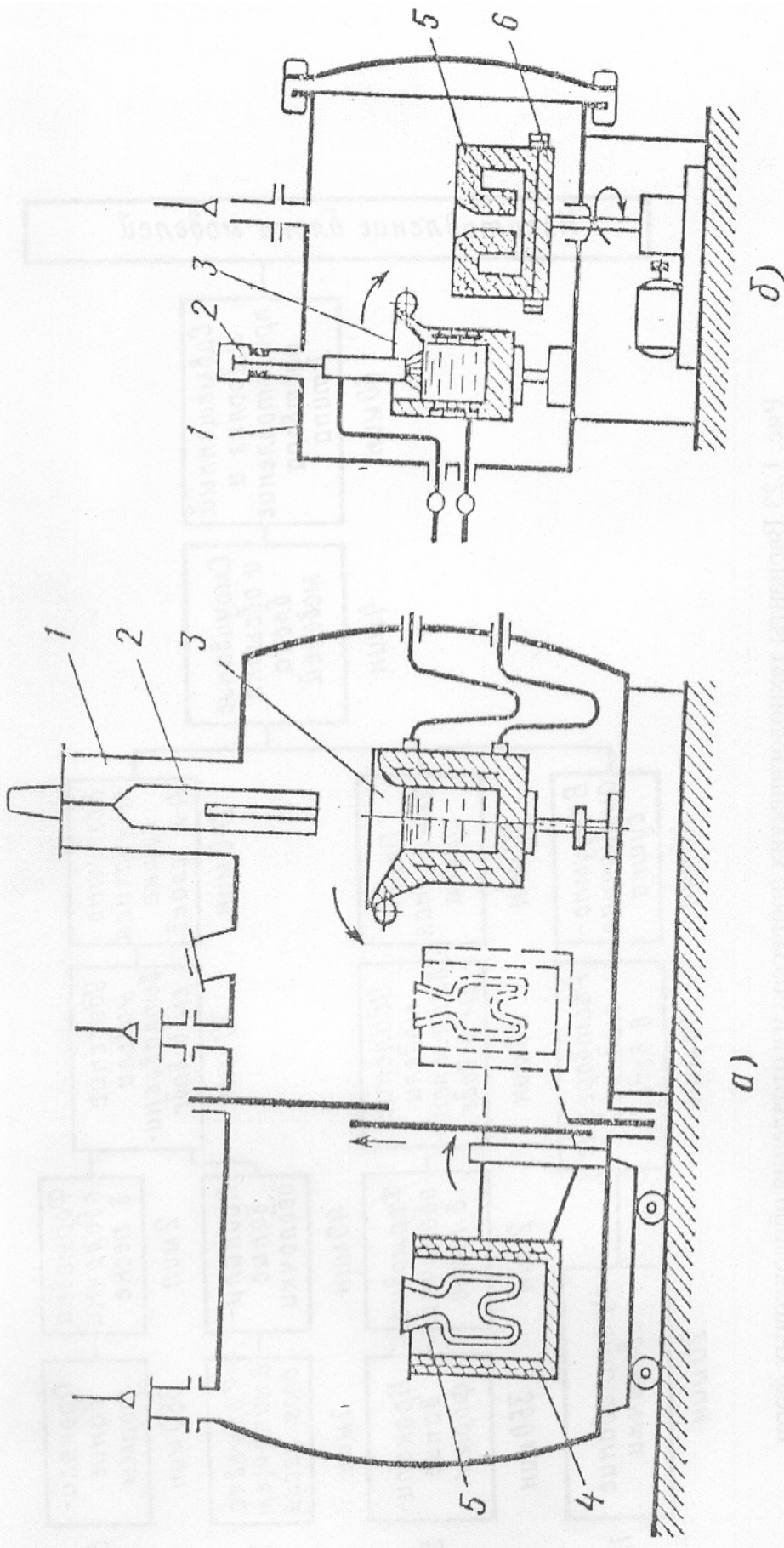


Рис. 1.24. Схемы устройства вакуумных плавильно-заливочных установок: а – с печью подогрева форм; б – с центробежной машиной; 1 – вакуумная камера; 2 – вакуумная камера; 2 – устройство для загрузки шихты; 3 – плавильная печь; 4 – печь подогрева; 5 – форма; 6 – центробежная машина.

## **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 осуществляют на вибрационных установках. Стояк литниково-питающей системы зажимают в приспособлении и подвергают вибрации: 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 термообработке эффект закалки устраняется.

Отделение отливок от литников выполняют различными 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 отливок на прессах (рис. 1.25) широко используют в крупносерийном и массовом производстве отливок небольшой массы (до 5 кг), преимущественно из углеродистой и низколегированной сталей. Блок отливок должен иметь

литниково-питающую систему I типа с центральным стояком (см. выше).

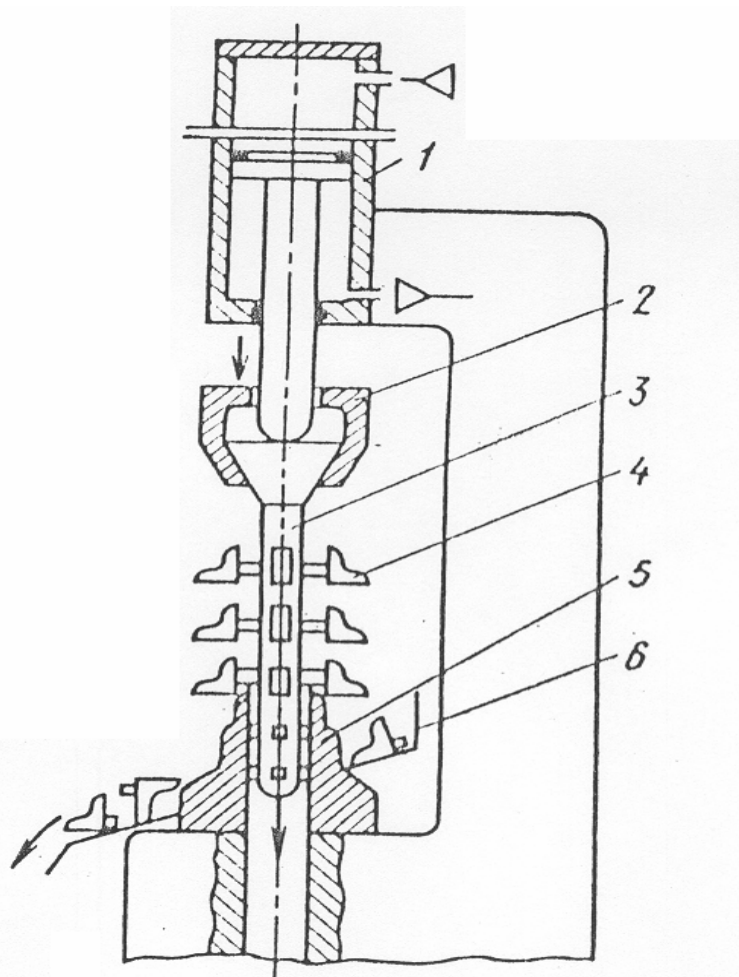


Рис. 1.25. Схема устройства пресса для отделения отливок от стояка: 1 – гидроцилиндр; 2 – зажим; 3 – блок отливок; 4 – отливки; 5 – штамп; 6 – лоток.

Газопламенную резку используют для отрезки стояков и прибылей от крупных отливок. Вследствие резкого местного нагрева в отливках могут возникнуть термические напряжения, что ведет к деформации отливок с пространственной сложной конструкцией (корпуса, панели и др.). Поэтому такие отливки часто приходится рихтовать, т. е. использовать дополнительную операцию.

Анодно-механическую резку используют для отрезки литников от отливок из трудно-

обрабатываемых сплавов.

Окончательная очистка отливок. 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, их удаление требует больших энергозатрат при механической очистке. Поэтому чаще применяют гидроабразивный, электроискровой, химический, химико-термический, гидравлический способы окончательной очистки отливок.

При механическом способе очистки (дробёметном, дробеструйном) используют металлический песок или дробь (размером частиц до 0,3 мм). Очистка крупной дробью приводит 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, углеродистые, легированные стали).

Химический способ широко применяют в массовом производстве мелких стальных отливок, когда вследствие сложности конфигурации механические способы не обеспечивают полного удаления остатков формы. Очистку ведут в горячих водных растворах (45...55%) щелочей при температуре раствора 90...95<sup>0</sup>С. При этом кремнезем формы SiO<sub>2</sub> 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...6мм. В стенках барабана имеются отверстия диаметром 10мм. Через эти отверстия и щели жидкость из ванны поступает в барабан. В ванне имеются два отсека: в первом отсеке 4 находится кипящий раствор КОН, а во втором отсеке 2—горячая вода для промывки отливок после выщелачивания. Для перемещения отливок барабан наклоняют на 3° пневмоцилиндром 1. Отливки передаются из отсека в отсек и в разгрузочный патрубок устройством 5, в которое они попадают при вращении барабана.

Вода и раствор нагреваются нагревателями 3. Осадок, образующийся при выщелачивании остатков формы, 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.

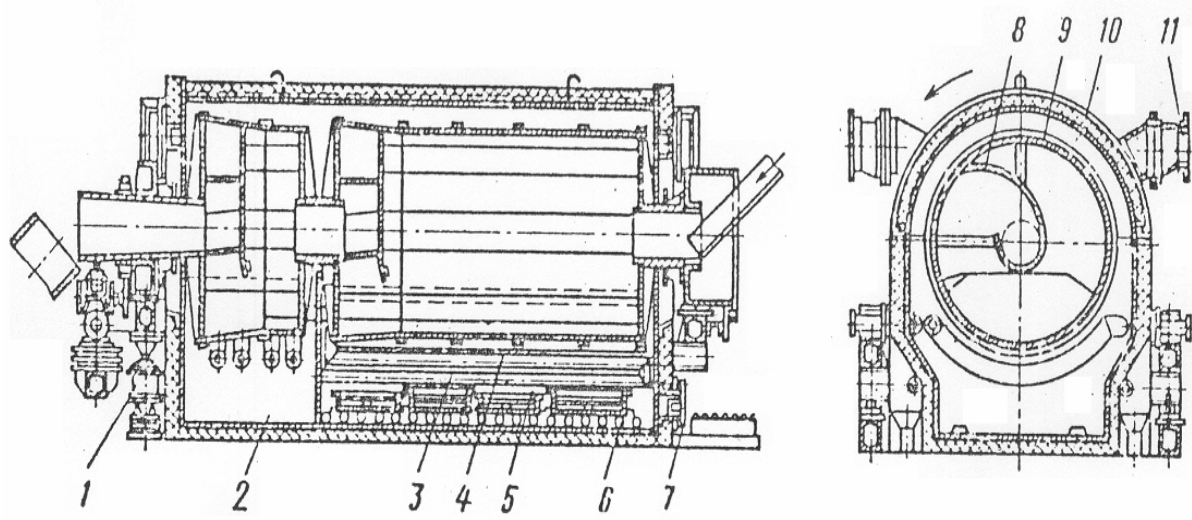


Рис.

1.26. Схема агрегата выщелачивания керамики от отливок: 1 – пневмоцилиндр; 2 – отсек для промывки отливок горячей водой; 3 – нагреватели; 4 – отсек с кипящим раствором КОН; 5 – поддоны; 6 – роликовый конвейер; 7 – люк; 8 – спиральное устройство для перегрузки отливок; 9 - рабочий барабан; 10 – кожух; 11 – вентиляционный патрубок.

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.

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

Дефекты поверхности. Повышенная шероховатость отливок появляется вследствие недостаточной подготовки поверхности пресс-формы, плохого качества поверхности моде-



лей, 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 ПАВ, улучшающие смачивание модели суспензией.

Пробивание первого слоя суспензии исключается повышением ее вязкости, применением для обсыпки первого слоя мелких песков  $1K_1O_101$ .

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

Заливы, наплывы, «гребешки» на поверхности отливок образуются из-за проникания расплава в трещины оболочковой формы. Трещины в форме могут образоваться вследствие недостаточной прочности. Низкая прочность оболочковой формы вызывается использованием некачественных исходных материалов, плохого качества 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 введением в состав суспензии карбюризатора, а также используя способы, рассмотренные выше. Возможно, также проводить термообработку отливок в среде, обеспечивающей насыщение их поверхности углеродом.

**Внутренние дефекты отливок.**

*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* в теле отливок возникают из-за недостаточного ее питания при затвердевании, чрезмерно высокой температуры расплава и формы, нарушений

химического состава расплава.

*Газовые раковины* образуются вследствие недостаточной газопроницаемости оболочковой формы и образования воздушных «мешков» при неправильной конструкции литниково-питающей системы.

*Горячие трещины* образуются вследствие 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 различными причинами. Главные из них — нестабильность усадки модельного состава, деформации оболочковой формы в процессе прокаливания, а также нестабильность усадки металла отливки. Однако на точность размеров и конфигурации отливки оказывают также влияние режимы сушки и прокаливания оболочковой формы.

На нестабильность усадки пастообразных модельных составов большое влияние оказывает, например, воздух, содержащийся в них. Воздух уменьшает объемную усадку модели, но вследствие непостоянства содержания в различных моделях (в партии) вызывает существенную нестабильность их размеров 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 КТР (плавленый кварц, высокоглиноземистый шамот и т. д.).

*Несоответствие 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 следует обращать особое внимание на технологичность конструкции отливки, конструкцию литниково-

питающей системы, которая должна обеспечить питание усадки отливки, а также на взаимное расположение отливок в блоке и отливок относительно элементов литниково-питающей системы. При неправильном расположении отдельные части отливок, близко расположенные друг к другу, 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 (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 — 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 состоит из 25 частей (по массе) мелкого кварцевого песка и 75 частей пылевидного кварца. Связующее — гидролизованный раствор ЭТС 40 или ЭТС 50. Обычно для гидролиза ЭТС применяют компоненты в следующих соотношениях: 36...50 частей (по массе) ЭТС, 36...40 частей ацетона, 10...27 частей воды и 0,01...0,02 частей соляной кислоты плотностью 1,19 г/см<sup>3</sup>, огеливателем служит 15 %-ный водный раствор NaOH из расчета 2 % (по объему) связующего раствора.

Огнеупорная основа и связующее принимают в соотношении 3,5:1 частей по массе.

Облицовочную смесь приготавливают в лопастных и шнековых смесителях.

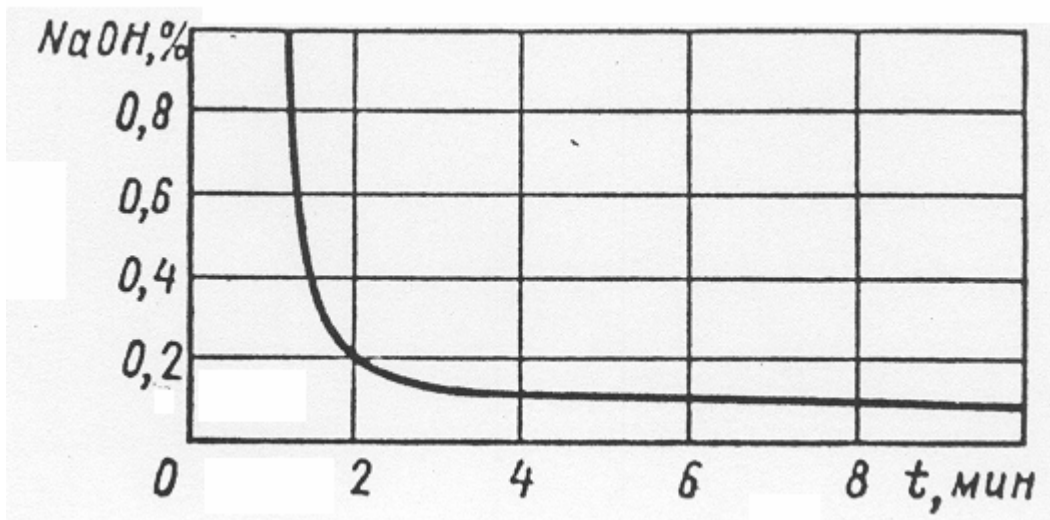


Рис. 1.27. Зависимость длительности огеливания от концентрации щелочи.

Процесс изготовления двухслойной формы (рис. 1.28) осуществляют следующим образом. На плиту (рис. 1.28, а) помещают модельный комплект, состоящий из вспомогательной модели 1 и модели отливки 2. Поверхность вспомогательной модели покрывают тонким слоем разделительного покрытия, после чего устанавливают опоку 3 и заливают в нее жидкую самотвердеющую смесь 4 (ЖСС) обычного состава или смесь на основе шамота с жидким стеклом в качестве связующего (рис. 1.28, б). После твердения этой смеси форму поворачивают на  $180^\circ$ , извлекают вспомогательную модель 1, устанавливают на плиту модель отливки 2 и форму с наполнительным слоем и заливают в пространство между моделью и наполнительным слоем облицовочную смесь-суспензию 5 (рис. 1.28, в). Через несколько минут, вследствие процесса гелеобразования, суспензия переходит в студнеобразное состояние. После этого модель отливки извлекают из формы. С поверхности формы испаряется растворитель, пары которого поджигают. Пары растворителя сгорают, поверхность формы прогревается, отвердевает и на ней появляется сетка мелких трещин (рис. 1.28, г).

Микротрещины повышают газопроницаемость и податливость формы и мало влияют на шероховатость поверхности отливок. После выгорания растворителя форму прокаливают при  $\sim 700^\circ\text{C}$ , собирают (рис. 1.28, д) и заливают. Отливки имеют размеры высокой точности, поверхность их малой шероховатости. Припуски на обработку резанием могут быть мини-

мальными. Особенно эффективно использование этого способа для изготовления технологической оснастки из труднообрабатываемых сталей — вставок штампов, инструментов, элементов кокилей, пресс-форм и т. д. [13].

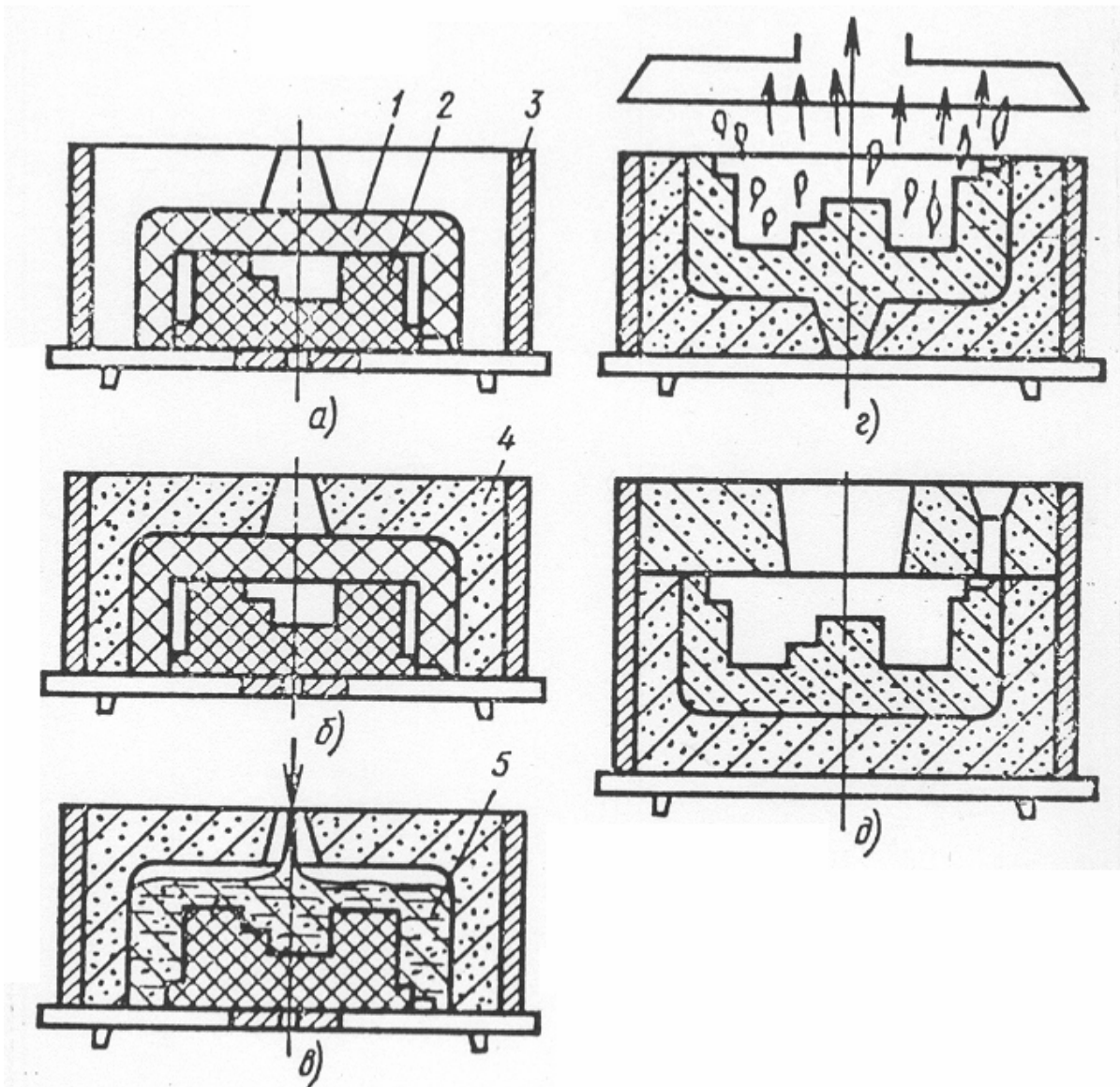


Рис.

1.28. Последовательность изготовления объемной керамической формы: а – установка модельного комплекта; б – заливка наполнительного слоя формы (ЖСС); в – заливка облицовочного слоя из огнеупорной суспензии; г – удаление растворителя; д – собранная и готовая к заливке форма; 1 – вспомогательная модель; 2 – модель оливки; 3 – опока; 4 – наполнительный слой формы (ЖСС); 5 – облицовочный слой (ЭТС).

**Изготовление керамических стержней.** Узкие протяженные полости сложной конфигурации в отливках, к которым предъявляются высокие требования точности размеров и гео-

метрии, получают с помощью керамических стержней — с неорганическими связующими или без них. Керамические стержни должны обладать высокой (до 10 МПа и более) прочностью при изгибе, должны быть негасотворны, что вызвано условиями их взаимодействия с расплавом при заливке формы (рис. 1.29).

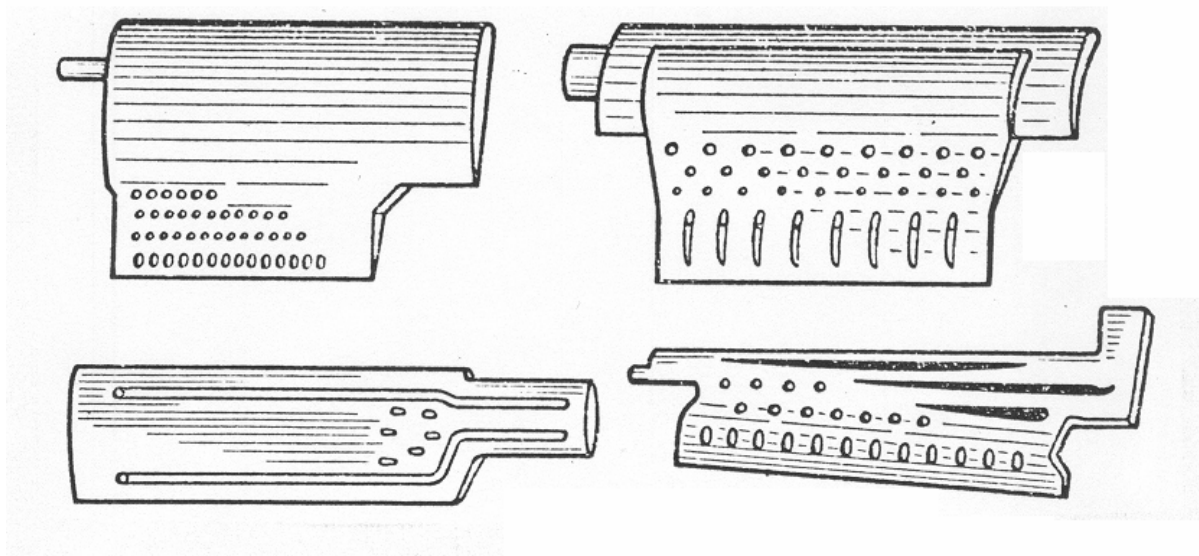


Рис. 1.29. Керамические стержни.

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

Способ «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 связующего применяют гидролизированный раствор ЭТС, огеливатели — водные растворы NaOH. Пример состава смеси: огнеупорная основа — пылевидный кварц 75 частей (по массе) и песок кварцевый 25 частей; связующее — гидролизированный раствор ЭТС; огеливатель 12 %-ный водный раствор NaOH. Соотношение составляющих (по массе): огнеупорная основа 100%, связующее 25...33% массы огнеупорной основы; огеливатель 8...9 мл на 1 кг связующего раствора.

Смесь запрессовывают в металлический стержневой ящик под давлением 5...7 МПа. В результате взаимодействия между кислым связующим раствором ( $pH < 7$ ) и щелочными огеливателями ( $pH > 7$ ) смесь переходит в эластичное, а затем в твердое состояние из-за огелива-

ния связующего. Состояние эластичности смесь приобретает через 1...2 мин, после чего снимают верхнюю часть ящика. Это способствует интенсивному испарению растворителя с поверхности стержня. Вследствие уменьшения объема жидкой фазы при переходе в твердое состояние в стержне образуется сетка трещин.

Уменьшить количество и размеры трещин можно поджиганием паров спирта или путем помещения стержня в вакуумную камеру. Процесс образования сетки трещин, с одной стороны, оказывает положительное влияние, увеличивая газопроницаемость стержня, а с другой — отрицательное, так как прочность стержня понижается и не достигает 10 МПа при испытании на изгиб. Прочность можно повысить, поместив стержень в процессе твердения в автоклав под давлением до 0,5 МПа или применив способ спекания.

Способ спекания. Смесь для спекания без жидкой фазы состоит из огнеупорной основы — кварца, корунда и пластификатора — парафина (14...16мас.%). Парафин расплавляют, вводят в огнеупорную основу и смесь тщательно перемешивают. Затем разогревают смесь до температуры 80...100 °С и запрессовывают полученную пастообразную смесь 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 ( $T=180...200$  °С,  $t=2...6$  ч) происходит испарение пластификатора, что сопровождается значительной усадкой стержня (8...10% линейной усадки). Далее продолжают нагрев стержня, доводят его до  $T=1000...1300$  °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 —  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ( $T_{\text{ил}}=700$  °С), в кварцевые — основные окислы СаО, MgO. Стержни, спеченные без жидкой фазы, не разупрочняются при заливке и их можно изготавливать очень тонкими; а спеченные в присутствии жидкой фазы должны иметь большую толщину стенки.

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 операциях 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 и т. д.

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 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 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 выполняют вручную, например сборку моде-

лей в блоки пайкой и т. д.

Автоматизированные линии для массового производства и комплекты технологического оборудования для серийного и мелкосерийного 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). Пресс-формы с вертикальным разъемом установлены на столе *1*, который вращается с помощью электродвигателя, редуктора и мальтийского креста. Поворот стола от одной позиции на другую происходит через 10...20 с, что регулируется сменой шестерен привода. Разборка и сборка пресс-форм производится пневмоцилиндрами *2*, вращающимися вместе со столом, и пресс-формами *3*. На позиции *1* модельный состав шприцем *4* запрессовывается в пресс-форму и затем на позициях *II—VII* модели охлаждаются в пресс-форме. На позиции *VIII* пресс-формы раскрываются, модели *7* выталкиваются из пресс-формы и падают на водяной конвейер *8*. На позиции *IX* рабочая полость пресс-формы очищается и смазывается.

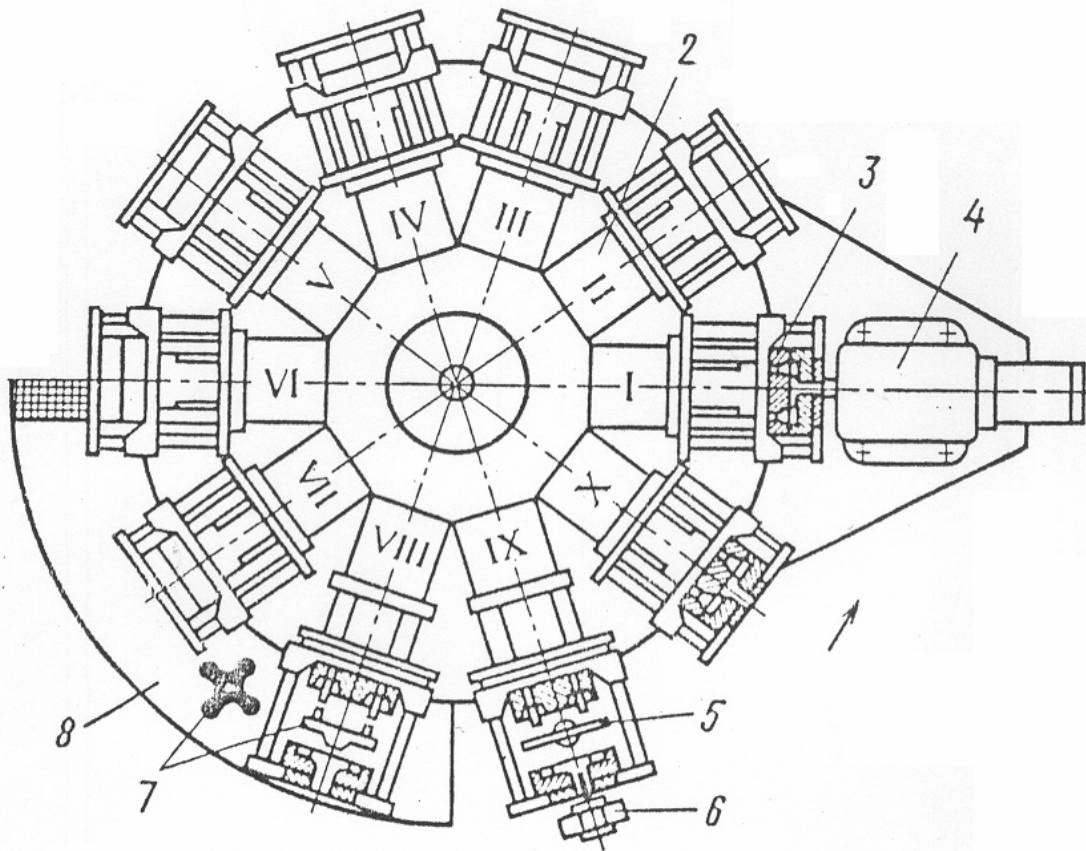
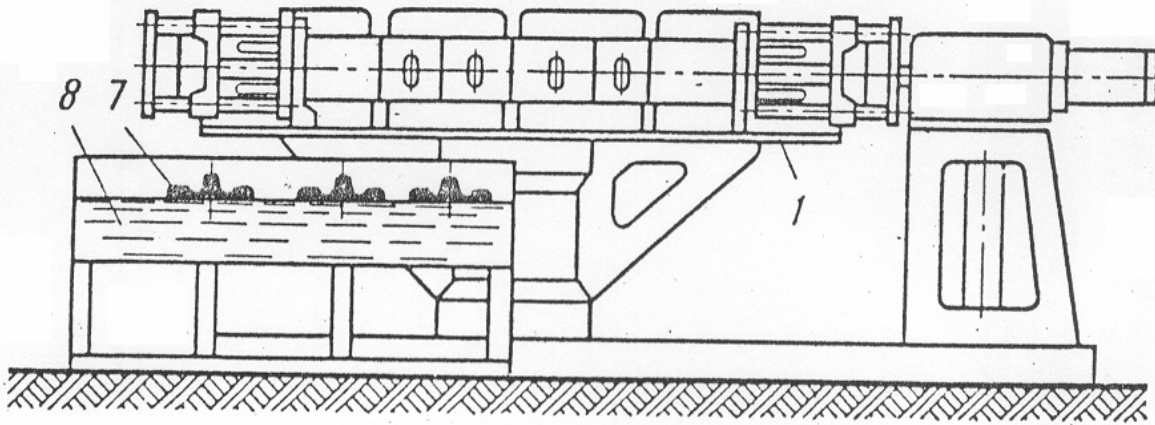


Рис. 1.30. Схема карусельного автомата для изготовления выплавляемых моделей: I – позиция запрессовки модельного состава; II...VII – охлаждение моделей в пресс-формах; VIII – позиция раскрытия пресс-форм и выталкивания моделей; IX – очистка и смазывание пресс-формы; X – закрытие пресс-формы; 1 - стол машины; 2 – пневмоцилиндр привода стола; 3 – пресс-форма; 4 – шприц; 5 – кронштейн с блоком форсунок; 6 - пневмоцилиндр привода иглы для очистки литникового канала пресс-формы; 7 – модель; 8 – водяной конвейер.

Литниковый канал в пресс-форме прочищается иглой, приводимой в движение пнев-

моцилиндром 6. На кронштейне 5 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).

Для нанесения суспензии на блоки моделей и обсыпки их песком используют установки, схема которых приведена 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 7, подвешенные на конвейере 3, отклоняясь по копиру 5, направляются в ванну 8 с суспензией, поворачиваются вокруг своей продольной оси, что способствует равномерному нанесению суспензии. Затем блок на подвеске 4 перемещается в пескосып 6 с кипящим слоем песка, где и производится обсыпка блока. Далее блоки направляются в камеру воздушно-аммиачной сушки.

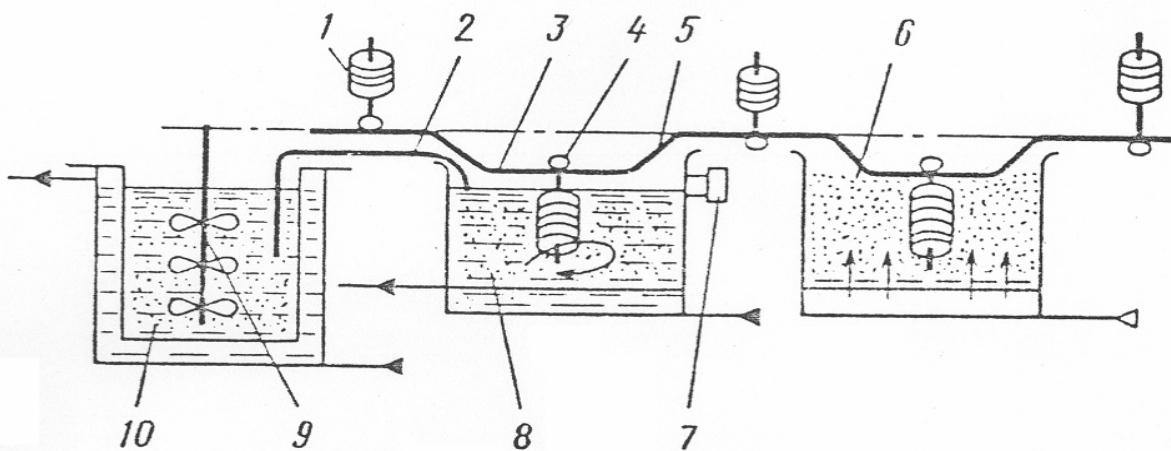


Рис.

1.31. Схема агрегата для нанесения суспензии на блоки моделей и обсыпки их песком: 1 – блоки 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.

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 1 прокаливания форм, заливочной карусели 3 со звездочками 4 и камеры охлаждения 6, объединенных конвейером 9.

Формы устанавливаются на подвески конвейера 9, 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 2 с отверстиями создается зона кипящего слоя песка. После заливки форм и затвердевания отливок блок на подвеске извлекается «лифтом» 5 из карусели 3 и транспортируется в камеру охлаждения 6. Блоки отливок охлаждаются распыленной водой. Обломки оболочковой формы, отделившиеся от блока 7 отливок, падают на конвейер 8 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, имеющие различную температуру. Температура песка в карусели 450...550 °С, вследствие чего возникает брак по недоливу тонкостенных отливок.

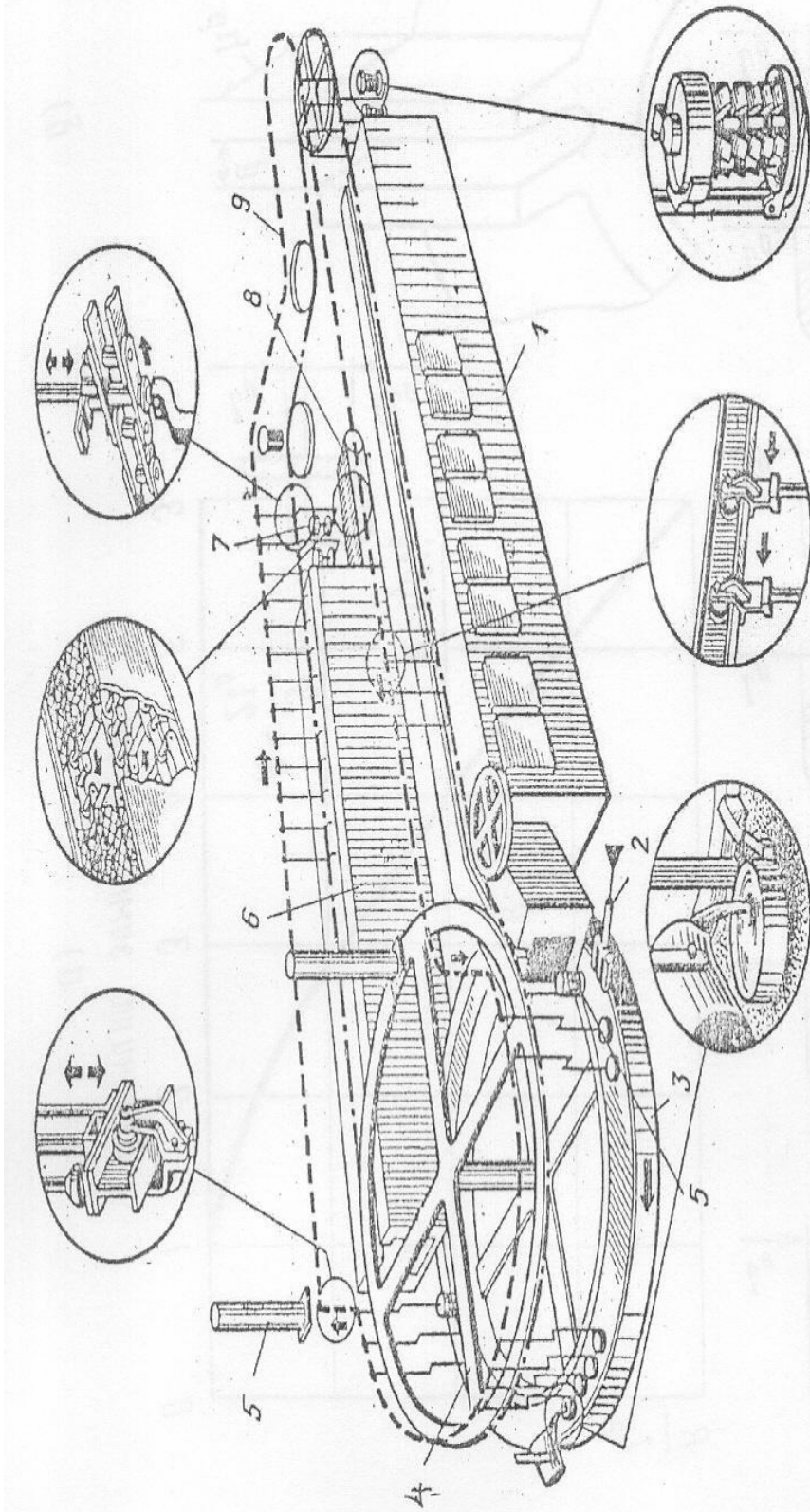


Рис. 1.32 Схема агрегата для прокаливания, формовки, заливки и выбивки оболочковых форм: 1 – газовая печь; 2 – трубы для создания зоны кипящего слоя песка; 3 – заливочная карусель; 4 – звездочка привода цепного конвейера; 5 – пневматические устройства для спуска оболочковых форм в опорный материал в зоне кипящего слоя и извлечения блока затвердевших отливок; 6 – охлаждательная камера; 7 – блок отливок на позиции очистки от остатков керамики; 8 – конвейер для удаления остатков керамики; 9 – конвейер.

Рассмотренные выше автоматизированные агрегаты и комплекты оборудования предназначены для изготовления отливок массой до 1,5 кг в массовом и серийном производстве. При изготовлении средних и крупных отливок в мелкосерийном производстве для нанесения суспензии, обсыпочно́го материала на модели, удаления моделей из оболочек используют манипуляторы. Эти устройства позволяют устранить тяжелый ручной труд, связанный с транспортировкой, манипуляциями с тяжелыми блоками моделей, формами.

### **Гибкие производственные системы ЛВМ**

Повысить степень автоматизации в единичном и серийном производстве отливок возможно применением концепции ГПС. Известный на сегодня принцип создания ГПС – компоновка гибких комплексов из отдельных модулей. В малооперационных процессах литья в металлические формы комплекс составляется из однотипных модулей на базе однотипного технологического агрегата.

Структурная схема процесса ЛВМ, включающая последовательно: изготовление моделей, форм, отливок, финишные и контрольные операции предопределяет создание комплекса ГПС ЛВМ из модулей различного, функционального назначения.

Такая схема (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 ЛВМ является невозможность устранения какого-либо отдельного модуля или их перестановки. Критерием выбора рациональной конструкции модуля может служить ряд параметров: габаритный размер отливки, толщина стенок, вид сплава, тип производства отливок, свойства формовочных материалов.

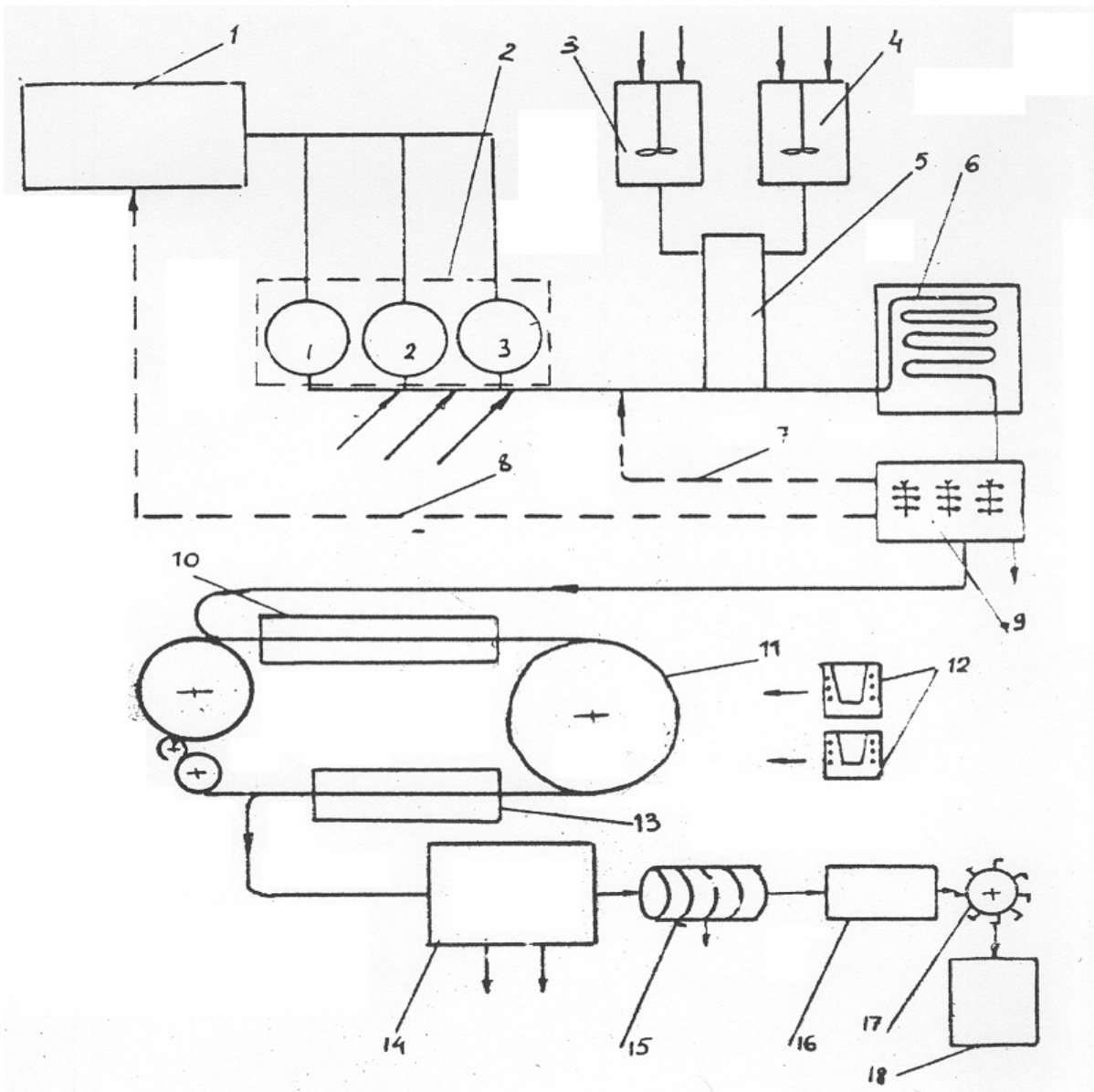


Рис.

1.33. Блок – линия для литья по выплавляемым моделям: 1 – агрегат для приготовления модельного состава; 2 – блок автоматов для изготовления модельных звеньев; 3, 4 – гидрокамеры с огнеупорной суспензией; 5 – позиция нанесения покрытия и обсыпка; 6 – сушильная камера; 7 – возврат стояков; 8 – возврат жидкого модельного состава; 9 – камера для выплавления модельного состава; 10 – газовая печь; 11 – заливочная карусель; 12 – плавильные печи; 13 – охлаждающая камера; 14 – агрегат для виброочистки отливок и отделения отливок от стояков; 15 – барабан для выщелачивания остатков керамики; 16 – печь для термообработки отливок в защитной среде; 17 – полуавтомат для зачистки отливок; 18 – сортировка и складирование отливок.

## 1.8. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА



**Исходными данными** при проектировании технологического процесса изготовления отливки 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 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** заключается в установлении ее соответствия 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 различными, наиболее эффективно литье в оболочковые формы по выплавляемым моделям труднообрабатываемых резанием сплавов, 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.

**Габаритные размеры и масса отливок.** Литьем в оболочковые формы по выплавляемым моделям изготавливают отливки массой от нескольких граммов до 300 кг. По размерам отливки могут быть от нескольких миллиметров до 1,0 м. Отливки могут быть получены с минимальной толщиной стенок - 0,6 мм, если протяженность этой стенки не 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 не заполняются, или искажается плоскость вследствие деформаций формы. В этом случае вместо плоской стенки целесообразно выполнять искривленную стенку или предусматривать отверстия в плоской стенке. Последний прием одновременно обеспечивает же-

сткость оболочковой формы. Трудно выполнить небольшие отверстия в местах отливки, в которых сосредоточена большая масса металла (массивная стенка), глухие отверстия, а также, 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 толщины 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, 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 различных вариантах — сопряжения двух, трех, четырех стенок — под различными 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.

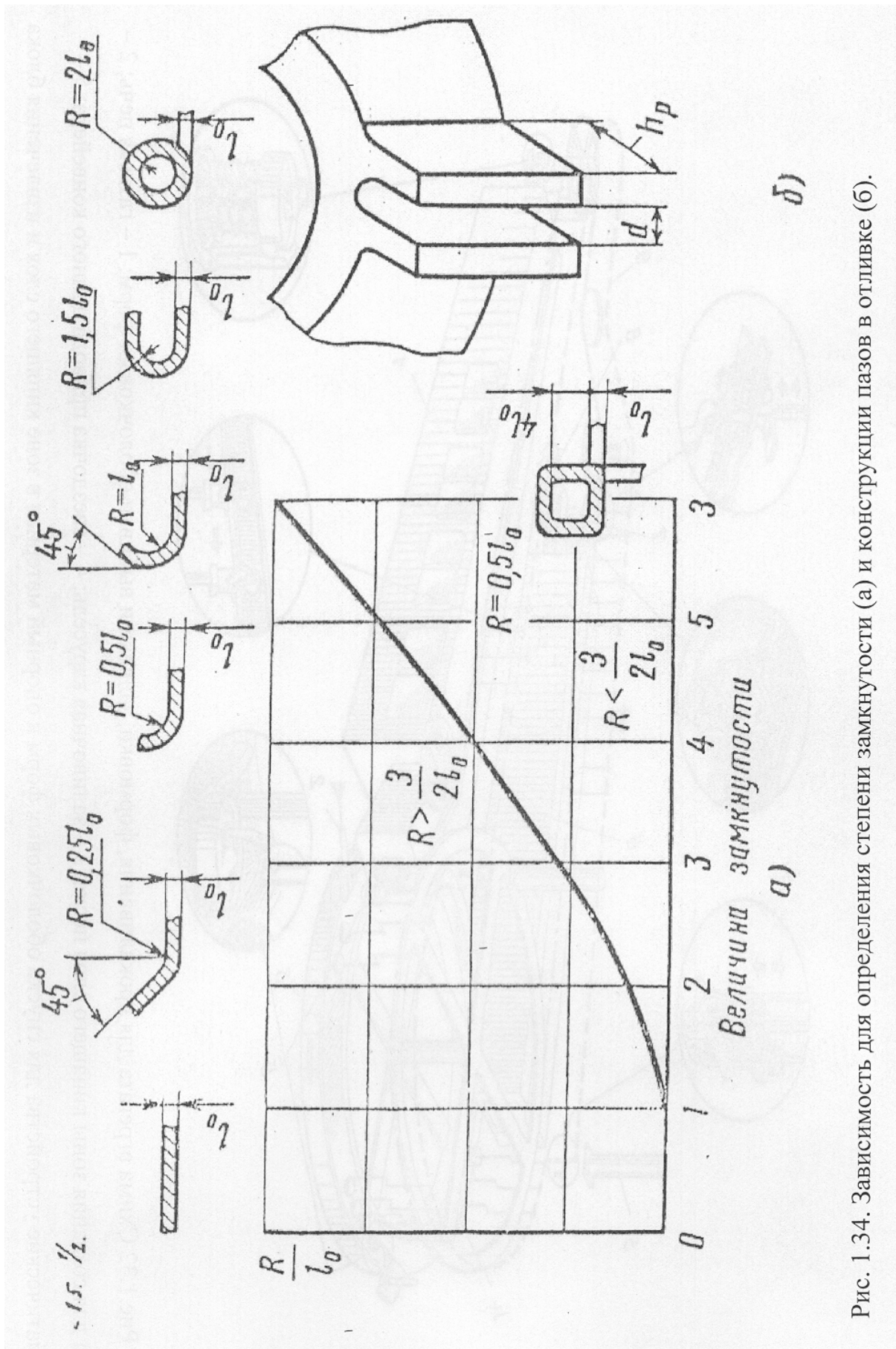
Радиус галтели внутреннего угла, образованного двумя стенками отливки,  $R=(l_0+l_1)/3$ , где  $l_0, l_1$ —толщины сопрягаемых стенок отливки; 3 — величина замкнутости, определяется по графику (рис. 1.34, а).

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  $h_p \leq 2d$  (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 отверстия под крепежные элементы. Высоту бобышек следует назначать в зависимости от диаметра отверстия или толщины стенки  $h_p = 4 \dots 6d$  или  $h_p \geq 2,5l_0$ , где  $h_p$  — высота стенки вместе с бобышкой;  $d$  — диаметр отверстия;  $l_0$  — толщина стенки. 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** включает выбор положения отливки при заливке, места подвода расплава и конструкции литниково-питающей системы, назначение припусков на обработку резанием, уклонов, допусков на размеры согласно существующим нормативам и рекомендациям.

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

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.

Выбор места подвода расплава. Этот вопрос 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. Для 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** проводят приближенным методом. Это объясняется значительной нестабильностью величины усадки модельного состава, деформациями при прокаливании формы, нестабильностью усадки залитого металла. Суммарная величина усадки меньше вследствие расширения оболочковой формы при нагреве.

Суммарная усадка (модельный состав и металл) для расчета размеров полости пресс-

формы (с учетом расширения формы при нагреве) для различных материалов отливки, %:

сталь: углеродистая - 1,25...1,6; легированная - 1...2;

чугун: серый - 0,5...0,65; ковкий - 0,95...1,1;

алюминиевые сплавы - 1...1,3;

латуни - 0,95...1,25;

бронзы: оловянистая - 0,75...1,0; алюминиевая - 1,45...1,55.

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

для наружных (охватываемых) размеров отливки

$$D_{\text{п}} = D_0 + D_0 y_{\text{общ}} / 100 - 0,5 \delta_0 = D_0 (1 + y_{\text{общ}} / 100) - 0,5 \delta_0;$$

для внутренних (охватывающих) размеров отливки

$$D_{\text{п}} = D_0 (1 + y_{\text{общ}} / 100) + 0,5 \delta_0,$$

где  $D_{\text{п}}$  — номинальный размер формообразующей полости пресс-формы, мм;  $D_0$  — номинальный размер отливки, мм;  $\delta_0$  — допуск на размер отливки, мм;  $y_{\text{общ}}$  — суммарная линейная усадка, %;

$$y_{\text{общ}} = y_{\text{м}} + y_0 - y_{\text{ф}},$$

$y_{\text{м}}$  — свободная линейная усадка модели, %;  $y_{\text{ф}}$  — относительное расширение формы при нагреве (прокаливании) перед заливкой, %;  $y_0$  — свободная линейная усадка металла, %.

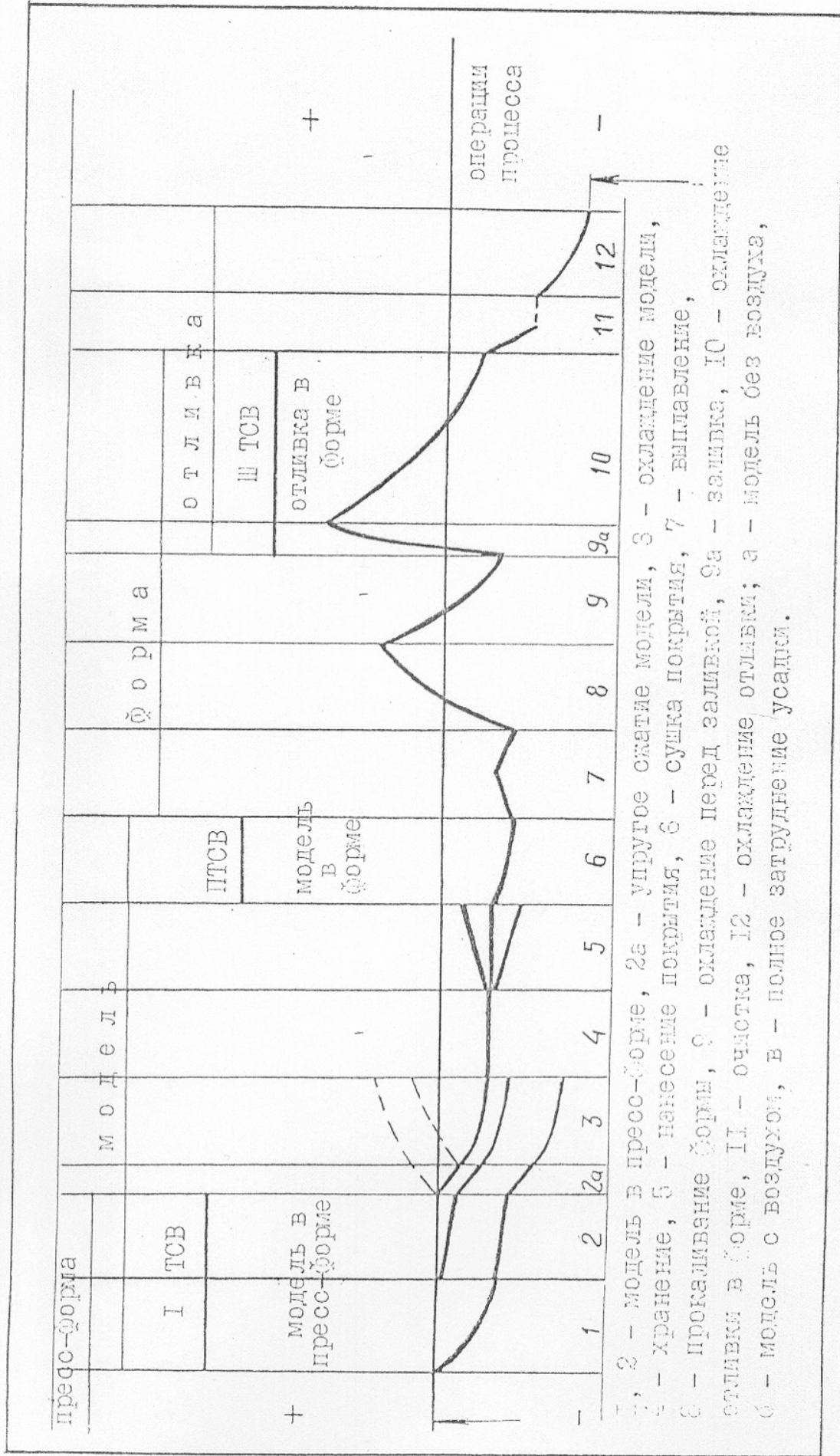
В этих формулах не учтено, что и модель, и отливка в отдельных своих местах испытывают затрудненную усадку по причине силового взаимодействия соответственно с пресс-формой и оболочковой формой. Затрудненная усадка всегда меньше свободной. Не учтен эффект расширения формы в период заливки. Это расширение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

Учет этих факторов при доводке размеров пресс-формы можно выполнять на основе специальных экспериментов. Точность размеров формообразующей полости пресс-формы следует назначать на 1...2 качества выше требуемой точности отливки. Допуск на размер в пресс-форме назначают обычно не более  $0,2\delta_0$  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 наличии конкретных значений изменений размеров оснастки, моделей форм, отливок возможно обоснованное назначение исполнительных размеров оснастки, что позволяет сократить время выполнения доводочных операций, повысить точность размеров отливок. При этом необходимо иметь в виду, что в литейных технологиях дисперсия размеров, в отличие от обработки резанием, увеличивается.



1 - модель в пресс-форме, 2a - упругое сжатие модели, 3 - охлаждение модели, 4 - хранение, 5 - нанесение покрытия, 6 - сушка покрытия, 7 - выплавление, 8 - прокачивание формы, 9 - охлаждение перед заливкой, 9a - заливка, 10 - охлаждение отливки в форме, 11 - очистка, 12 - охлаждение отливки; а - модель без воздуха, б - модель с воздухом, в - полное затруднение усадкам.

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



обеспечения в производственных условиях заданного уровня качества отливок, из различных сплавов (алюминиевых, на медной основе, стали, титановых и др.), а также для сокращения времени технической подготовки производства целесообразно использовать разработанные в МГТУ пакеты прикладных программ “Выбор” и “Допуск”. Работа с ППП “Выбор” позволяет в кратчайшее время достоверно определить рациональную технологию литья деталей по конструкторскому чертежу отливки (схема организации решения приведена на рис. 1.36).

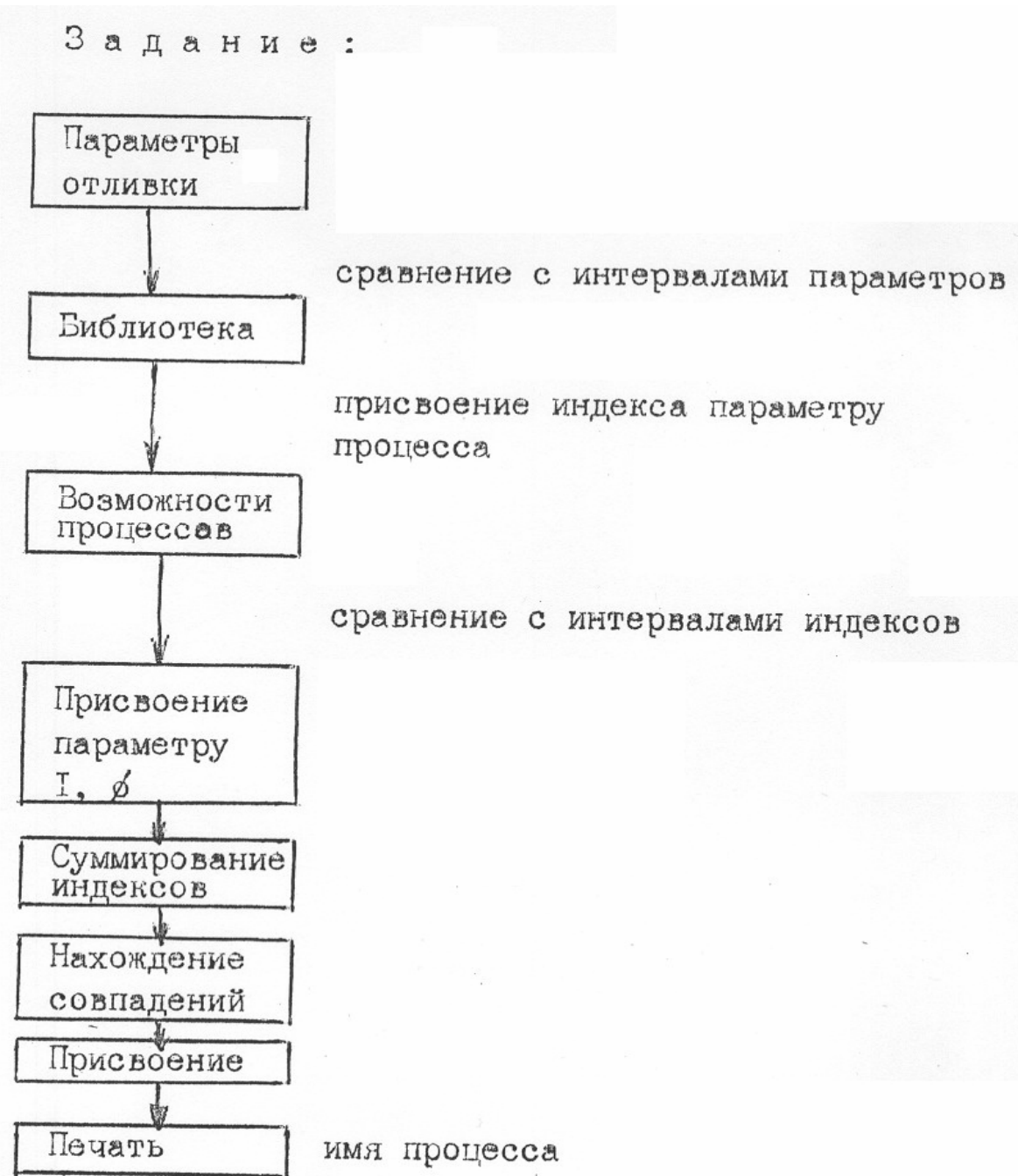


Рис.

1.36. Схема организации принятия решения по программе «WYBOR».

**Шероховатость формообразующих поверхностей пресс-формы обычно должна**

быть  $R_a=0,63 \dots 0,32$  мкм. Выполнение полости с меньшей шероховатостью не приводит к существенному снижению шероховатости поверхности отливки, но удорожает пресс-форму.

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

**Литниково-питающая система (ЛПС)** при литье в оболочковые формы предназначена для заполнения формы расплавом, питания затвердевающей отливки, а также часто является конструкцией, на которой монтируются модели.<sup>7</sup>

Поэтому при разработке конструкции ЛПС 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 ЛПС (рис. 1.37).

ЛПС I типа применяют при изготовлении отливок массой до 1,5 кг. Блок моделей можно собирать из отдельных звеньев (рис. 1.37, I, а), монтируемых на стояке. В этом 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. 1.37, I, б, в, г). Сборку такого блока 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 окислы.

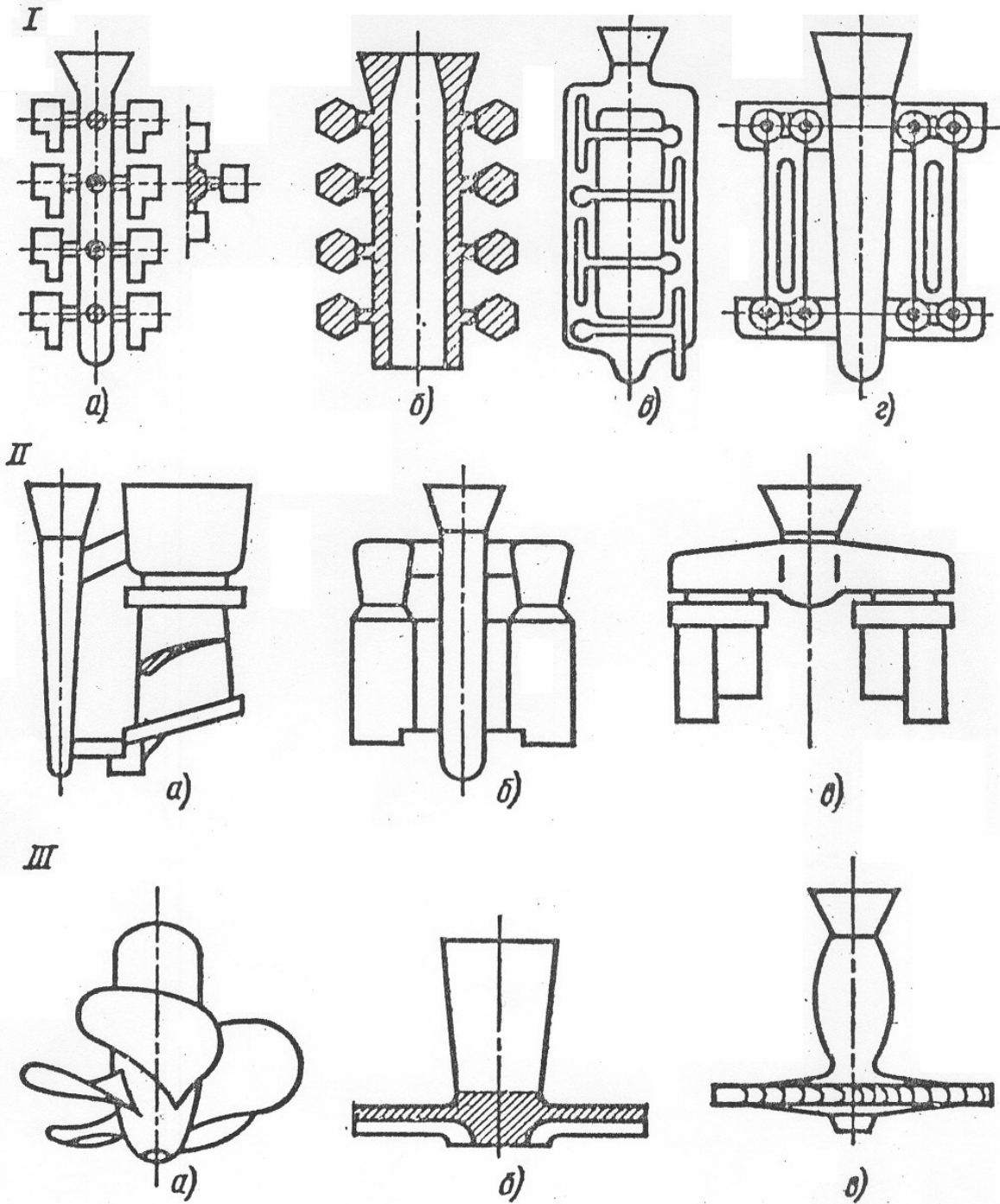


Рис. 1.37. Основные типы литниково-питающих систем: I – центральный стояк; I, а – для компактных отливок с одним тепловым узлом; I, в - полый стояк, компактные отливки с одним тепловым узлом; I, д – параллельные стояки, отливки типа плиты с распределенными тепловыми узлами; I, г – лучевые ярусные коллекторы, для отливок с несколькими тепловыми узлами; II – местная прибыль и коллектор; II, а – четырехместная при центральном расположении стояка; II, б – для отливок типа лопаток, с использованием вертикального щелевого питателя; II, в – местная прибыль и коллектор; III – верхняя прибыль; III, а – гребной винт; III, б – ротор; III, в – рабочее колесо газовой турбины.

ЛПС II типа (рис. 1.37, II, а...б) применяют для изготовления отливок сложной

конфигурации и ответственного назначения, тонкостенных, а также средней и большой массы для отливок из легированных сталей. Литниковая система представляет собой стояк в сочетании с местными (рассредоточенными) прибылями. Такая литниковая система позволяет регулировать скорость заполнения формы с помощью суженного сечения.

ЛПС III типа (рис. 1.37, III, а...б) применяют для изготовления отливок типа крыльчаток, гребных винтов, имеющих тонкстенные элементы и массивную центральную часть, питаемую прибылью. Заливаются такие отливки через прибыль.

Расчет размеров элементов ЛПС для отливок, изготавливаемых в оболочковых формах по выплавляемым моделям, основаны 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 ЛПС 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 ЛПС I типа.

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

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  $\delta_0$  – 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.

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 ЛПС и отливки.

Качественные отливки можно получить при условии

$$\delta_{\text{ст}} > \delta_{\text{п}} > \delta_0,$$

так как при этом обеспечивается направленное затвердевание расплава от отливки к стояку и, следовательно, ее питание.

По формуле (1.1) рассчитаны размеры ЛПС для большого числа стальных отливок. Данные расчета после производственной проверки сведены в таблицы, подобные табл. 1.6.

По заданной массе отливки (известна из чертежа) необходимо определить  $\delta_0$  и выбрать значение  $l_{\text{п}}$  из условий сборки блоков моделей и отрезки отливок. В среднем при  $G < 0,5$  кг  $l_{\text{п}} = 4 \dots 10$  мм, при  $0,5 < G < 1,5$  кг  $l_{\text{п}} = 8 \dots 12$  мм. Затем по табл. 1.5, пользуясь известными  $G$  и  $\delta_0$  находят диаметр стояка  $D_{\text{ст}}$  и размеры питателя. В разностенных отливках с массивными частями модуль охлаждения  $\delta_0$  можно рассчитывать только по размерам массивной части, прилегающей к питателю.

Если рассчитанное значение  $D_{\text{ст}} > 60$  мм, применяют литниковую систему с коллекторами, которые выполняют функцию питающих элементов ЛПС.

**Пример.** Рассчитать размеры элементов ЛПС для отливки «петля», материал сталь 35Л, масса отливки  $G = 185$  г (рис. 1.38). Определяем модуль  $\delta_0$  (приведенную толщину) теплового узла, который представляет собой брус квадратного сечения со стороной  $a = 18$  мм и длиной  $b = 40$  мм. Площадь сечения перпендикулярна к направлению подвода расплава  $ab$ , периметр сечения  $2(a + 2b)$ , тогда

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

Принимаем длину питателя  $l_{\text{п}} = 8$  мм. По таблице 1.6 для  $G = 185$  г и  $\delta_0 = 3,7$  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 формуле (1.3), 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 ЛПС II и III типов. Размеры прибылей определяют по методу вписанных сфер (окружностей). При расчете размеров прибылей учитывают дистанцию ее действия  $R$ . Как правило, тонкие стенки отливок располагают вертикально, а металл в полость формы подводят снизу. Проверку правильности назначения размеров каналов ЛПС ведут гидравлическим ме-

тодом. Площадь суженного сечения (см<sup>2</sup>) определяют по формуле

$$f_{с.с.} = G / (\rho \mu t_{зап} \sqrt{2gH_p}),$$

или

$$f_{с.с.} = J / (\rho \mu \sqrt{2gH_p}), \quad (1.4)$$

где  $G$  — масса отливки, г;  $\rho$  — плотность жидкого металла, г/см<sup>3</sup>;  $\mu$  — 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  $\mu$  больше, чем, например, при заливке песчаных форм, так как стенки обочечковой формы имеют низкую шероховатость);  $t_{зап}$  — время заполнения формы;  $H_p$  — расчетный напор столба металла в узком сечении, см;  $g$  — ускорение свободного падения, см/с<sup>2</sup>,  $J$  — массовая скорость заливки, г/с,  $J=kl_{max}/d_{ст}$ ;  $k$  — 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;  $d_{ст}$  — толщина тонкой стенки отливки, мм.

Таблица 1.6.

Диаметр стояков  $D_{ст}$  и модули охлаждения  $\delta_{п}$  (приведенные толщины) в зависимости от приведенной толщины узла  $\delta_0$  и массы  $G$  отливок

$G, г$	Характеризуемый параметр	$\delta_0, мм$
--------	--------------------------	----------------

		1,1	1,8	2,5	3,0	3,5	3,9	4,2	4,6	5,1	5,8	6,7
50	<i>D</i> <sub>ст</sub> , мм	20	20	25	25	30						
	<i>δn</i> , мм:											
	При <i>l</i> <sub>п</sub> = 4 мм	1,75	2,5	2,5	3,0	3,0						
	При <i>l</i> <sub>п</sub> = 8 мм	2,0	3,0	3,2	3,5	3,75						
50...100	<i>D</i> <sub>ст</sub> , мм	20	20	25	30	30	30	30	35			
	<i>δn</i> , мм:											
	При <i>l</i> <sub>п</sub> = 4 мм	2,0	2,75	3,0	3,5	3,75	4,0	3,5				
	При <i>l</i> <sub>п</sub> = 8 мм	2,5	3,5	3,75	3,5	4,3	4,75	5,0	4,5			
100...200	<i>D</i> <sub>ст</sub> , мм	20	25	30	30	35	35	40	40	40	45	45
	<i>δn</i> , мм:											
	При <i>l</i> <sub>п</sub> = 4 мм	2,5	2,75	3,0	3,25	3,5	3,75	4,0	4,95	4,5	4,5	5,0
	При <i>l</i> <sub>п</sub> = 8 мм	3,0	3,5	3,75	4,25	4,5	4,75	5,0	5,25	5,5	5,75	6,25

В целях облегчения и ускорения проектирования ЛПС для отливок по выплавляемым моделям основные конструкции ЛПС 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. раздел 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 ЛПС с учетом заданной программы выпуска выбирают оборудование для изготовления моделей и проектируют пресс-форму, тип оболочковой формы, состав и способ приготовления суспензии, изготовления формы, способ сушки, прокаливания оболочки, назначают режимы выполнения основных операций технологического процесса, выбирают оборудование и проектируют необходимую технологическую оснастку.

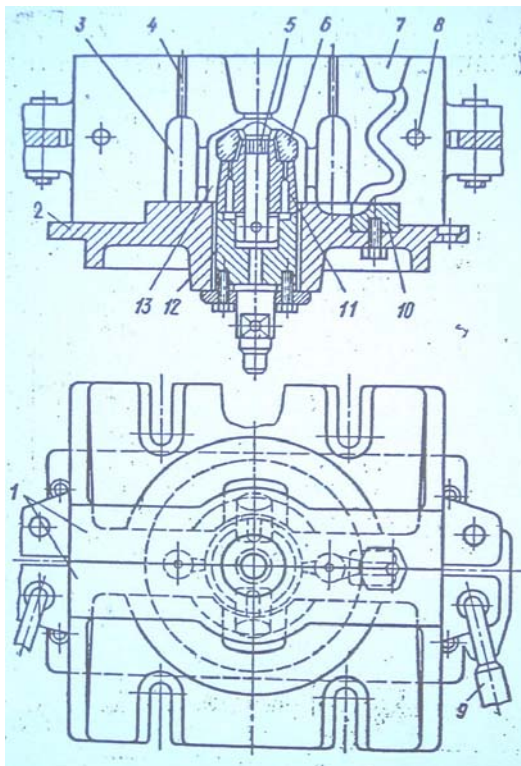
## ГЛАВА 2. ЛИТЬЕ В КОКИЛЬ

### 2.1. СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА. ОСНОВНЫЕ ОПЕРАЦИИ. ОБЛАСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Кокильное литье или, как говорят, литье в постоянные формы, по определению Госстандарта – это “литье металла, осуществляемое свободной заливкой кокилей”. В свою очередь кокиль (от французского слова *coquille*) – “металлическая форма с естественным или принудительным охлаждением, заполняемая расплавленным металлом под действием гравитационных сил”.

Как в свое время писал 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 1, плиты 2, вставок 10. Полуформы взаимно центрируются штырями 8, и перед заливкой их соединяют замками 9. Полости и отверстия в отливке могут быть выполнены металлическими 11 или песчаными 6 стержнями, извлекаемыми из отливки после ее затвердевания и охлаждения до заданной температуры. Расплав заливают в кокиль через литниковую систему 7, выполненную в его стенках, а питание массивных узлов отливки осуществляется из прибылей (питающих выпоров) 3.



**Рис. 2.1.** Кокиль:

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

При заполнении кокиля расплавом воздух и газы удаляются из его рабочей полости 13 через вентиляционные выпоры 4, пробки 5, каналы между металлическими частями 12, образующие вентиляционную систему кокиля.

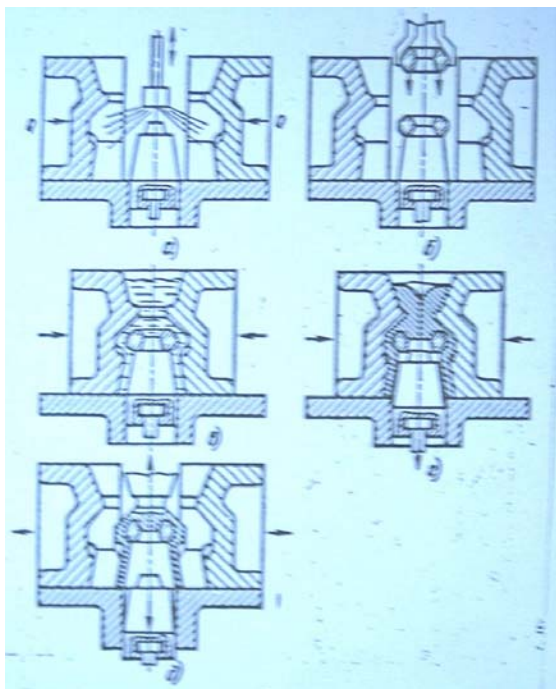
Основные элементы кокиля — полуформы, плиты, вставки, стержни т.д.— обычно изготавливают из чугуна или стали. Выше рассмотрен кокиль простой конструкции, но в практике используют кокили различных, весьма сложных конструкций.

**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 (рис. 2.2, а) — облицовки и краски. Состав облицовок и красок зависит в основном от 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





**Рис. 2.2.** Последовательность изготовления отливки в кокиле:  
*а* – окраска кокиля; *б* – установка стержней; *в* – сборка и заливка формы; *г* – затвердевание отливки; *д* – разборка кокиля.

обычно в виде водной суспензии через пульверизатор. Вода капель водной суспензии, попадающих на поверхность нагретого кокиля, испаряются, 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, требуемых свойств. Затем в кокиль устанавливают песчаные или керамические стержни (рис. 2.2, б), если таковые необходимы для получения отливки; половины кокиля соединяют (рис. 2.2, в) и скрепляют специальными зажимами, а при установке кокиля на кокильной машине с помощью ее механизма запирания, после чего заливают расплав в кокиль.

Часто в процессе затвердевания и охлаждения отливки, после того как она приобретет достаточную прочность, металлические стержни «подрывают», т. е. частично извлекают из отливки (рис. 2.2, г). Это делают для того, чтобы уменьшить обжатие усаживающейся отливкой металлического стержня и облегчить его извлечение из отливки. После охлаждения отливки до заданной температуры кокиль раскрывают, окончательно извлекают металлический стержень и удаляют отливку из кокиля (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 чрезмерно охлаждается, что чаще бывает при литье тонкостенных отливок, кокиль снова подогревают до рабочей температуры. Если же отливка достаточно массивная, то, наоборот, кокиль может нагреваться ее теплотой до температуры большей, чем требуемая рабочая, и перед следующей заливкой ею охлаждают. Для этого в кокиле предусматривают специальные системы охлаждения,

Как видно, процесс литья в кокиль — малооперационный. 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 является существенным преимуществом способа, и, конечно, самое главное — 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, располагавшиеся в Причерноморье, применяли кокили для литья наконечников стрел еще в предскифское время. Скифы, унаследовавшие культура этих племен, в VIII—VII вв. до н э. применяли кокили для отливки граненых втулчатых стрел из бронзы [14]. 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. в России литьем в кокиль отливали чугунные пушечные ядра, точные по размерам и массе. Н. Н Рубцов отмечал [4] «Попытки отлить чугунные ядра в металлические формы были известны едва ли не с самых первых шагов развития чугунолитейного производства». Однако, отмечал он далее, «... 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». Поэтому в первой четверти XIX в. в кокиль отливали отбеленные валки для прокатки металла, чугунные колеса вагонов с отбеленным ободом, т. е. отливки, для которых использовалось свойство чугуна «отбеливаться» при быстром охлаждении и тем самым повышать 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 различных сплавов. Современные цехи и участки кокильного литья оснащены высокопроизводительным и автоматизированным оборудованием. Отечественные ученые разработали научные основы литья в кокиль [14].

**Особенности формирования и качество отливок.** Металлическая форма, обладает по сравнению с песчаной значительно большей теплопроводностью, теплоемкостью, прочностью, практически нулевыми газопроницаемостью и газотворностью. Эти свойства материала кокиля обуславливают рассмотренные ниже особенности его взаимодействия с металлом отливки.

1. Высокая эффективность теплового взаимодействия между отливкой и формой: 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 чугуна: снижается ударная вязкость, износостойкость, резко возрастает твердость в отбеленном поверхностном слое, что 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, может вызвать появление внутренних напряжений, коробление и трещины в отливке.

С другой стороны, неподатливая форма не деформируется под действием увеличения объема некоторых расплавов при кристаллизации из-за предвзвешенного расширения, например, чугуна в результате выделения графита. В итоге уменьшается опасность формирования, затем усадочной пористости.

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 песчаной формы. Поэтому отливки в кокилях получаются более точными. Точность отливок в кокилях обычно соответствует 5...9-му классам для отливок из цветных сплавов и 7...11-му классам для отливок из черных сплавов (ГОСТ 26645-85). При этом наибольшая точность возможна для размеров, расположенных в одной части формы. Точность размеров, расположенных в двух и более частях формы, а также оформляемых подвижными частями формы, ниже.

Точность отливок по массе примерно на 1 класс выше, что обеспечивает возможность уменьшения припусков на обработку резанием.

3. Физико-химическое взаимодействие металла отливки и кокиля минимально, что способствует повышению качества поверхности отливки. Отливки в кокиль не имеют пригара. Шероховатость поверхности отливок определяется составами облицовок и красок, наносимых на поверхность рабочей полости формы, и соответствует  $R_z = 40 \dots 10$  мкм, но может быть и меньше.

4. Кокиль практически газонепроницаем, но и газотворность его минимальна и определяется в основном составами огнеупорных покрытий, наносимых на поверхность рабочей полости. Однако газовые раковины в кокильных отливках — явление не редкое. 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 производства отливок в кокиль, как, впрочем, и других способов литья, зависят от того, насколько полно и правильно инженер-литейщик использует преимущества этого процесса, учитывает его особенности и недостатки в условиях конкретного производства.

Ниже приведены преимущества литья в кокиль.

1. Повышение качества отливки, обусловленное использованием металлической формы, повышение стабильности показателей качества: механических свойств, структуры, плотности, шероховатости, точности размеров отливок.

2. Использование в металлических формах разовых песчаных стержней существенно расширяет возможности способа в 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, очистные сооружения.

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

5. Механизация и автоматизация процесса изготовления отливки, обусловленная многократностью использования 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. Вместе с тем устраняется ряд возмущающих факторов, влияющих на качество отливок при литье в песчаные формы, таких, как влажность, прочность, газопроницаемость формовочной смеси, что делает процесс литья в кокиль более управляемым. Для получения отливок заданного качества легче осуществить автоматическое регулирование технологических параметров процесса. Автоматизация процесса позволяет изменить характер труда литейщика оператора, управляющего работой таких комплексов.

Литье в кокили имеет и недостатки.

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. табл. 2.3). От стойкости кокиля зависит экономическая

эффективность процесса особенно при литье чугуна и стали, и поэтому повышение стойкости кокиля является одной из важнейших проблем технологии кокильного литья этих сплавов.

3. Отрицательное влияние высокой интенсивности охлаждения расплава в кокиле по сравнению с песчаной формой. Это 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. Неподатливый кокиль приводит к появлению в отливках напряжений, а иногда к трещинам.

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

Преимущества и недостатки этого способа определяют рациональную область его использования: экономически целесообразно вследствие высокой стоимости кокилей 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 алюминиевых — 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.

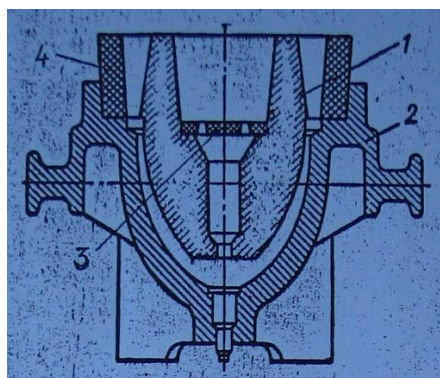
Таким образом, литье в кокиль с полным основанием следует отнести к трудо- и материалосберегающим, малооперационным и малоотходным технологическим процессам, улучшающим условия труда в литейных цехах и уменьшающим вредное воздействие на окружающую среду.

## 2.2. КОКИЛИ.

В производстве используют кокили различных конструкций.

**Классификация конструкции кокилей.** В зависимости от наличия поверхности разъема кокили бывают неразъемные (вытряхные); и разъемные.

Неразъемные или вытряхные кокили (рис. 2.3) применяют в тех случаях, когда конструкция отливки позволяет удалить ее вместе с литниками из полости кокиля без его разъема. Обычно эти отливки имеют достаточно простую конфигурацию.



**Рис. 2.3.** Вытряхной кокиль:

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

Разъемные кокили. Расположение и количество разъемов кокиля обусловлено необходимостью реализовать рациональное положение отливки в нем 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 типов кокильных машин (Рис. 2.4.).

Наиболее простой кокиль состоит из 2-х 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 для оформления стояка и чаши, чтобы извлечь отливку (Рис. 2.5).

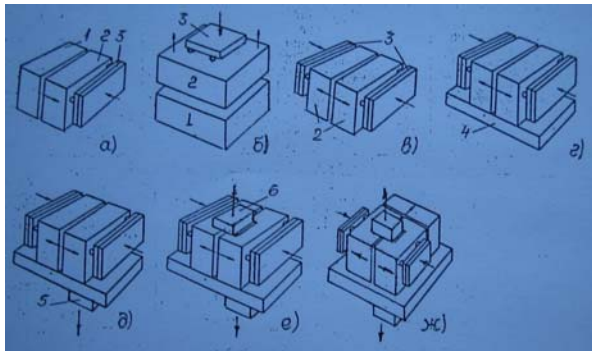
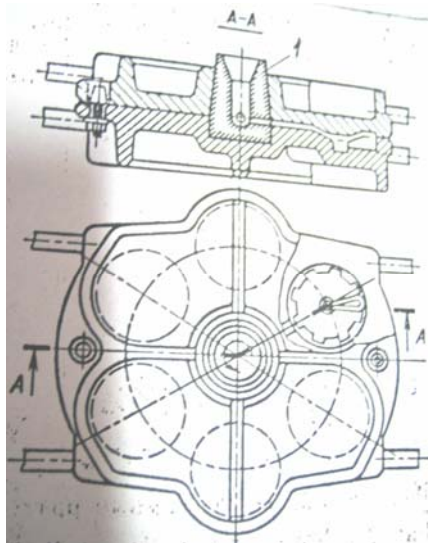


Рис. 2.5).  
**Рис. 2.4.** Типы кокилей для универсальных кокильных машин:

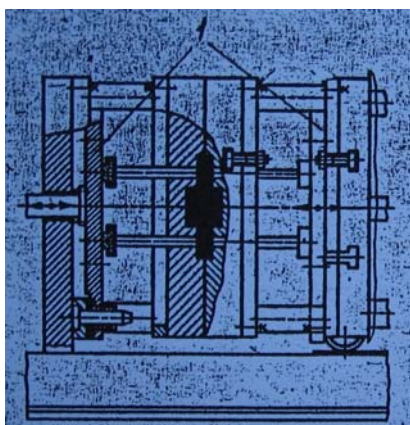
*а* - кокиль с вертикальной плоскостью разъема и одной подвижной половиной; *б* - кокиль с горизонтальной плоскостью разъема и одной подвижной половиной; *в* - кокиль с вертикальной плоскостью разъема и двумя подвижными половинами; *г* - кокиль с вертикальной плоскостью разъема, двумя подвижными половинами и поддоном; *д* - кокиль с вертикальной плоскостью разъема, двумя подвижными половинами, поддоном и нижним металлическим стержнем; *е* - кокиль с вертикальным разъемом, двумя подвижными половинами, нижним и верхним металлическими стержнями; *ж* - кокиль с вертикальным разъемом, 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 - нижний металлический стержень; 6 - верхний металлический стержень.

*а* - кокиль с вертикальной плоскостью разъема, двумя подвижными половинами и поддоном; *д* - кокиль с вертикальной плоскостью разъема, двумя подвижными половинами, поддоном и нижним металлическим стержнем; *е* - кокиль с вертикальным разъемом, двумя подвижными половинами, нижним и верхним металлическими стержнями; *ж* - кокиль с вертикальным разъемом, 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 - нижний металлический стержень; 6 - верхний металлический стержень.



**Рис. 2.5.** кокиль с горизонтальным разъемом:  
 1 - песчаный стержень.

Извлечение отливки из кокиля в обоих случаях производят с помощью подвижной плиты толкателей, расположенных в подвижной или неподвижной части кокиля.



Следующий тип кокиля (Рис. 2.4.в) состоит из 2-х подвижных половинок с вертикальной плоскостью разъема. Плиты толкателей в этом случае могут быть как в одной, так и в двух половинках кокиля (Рис. 2.6).

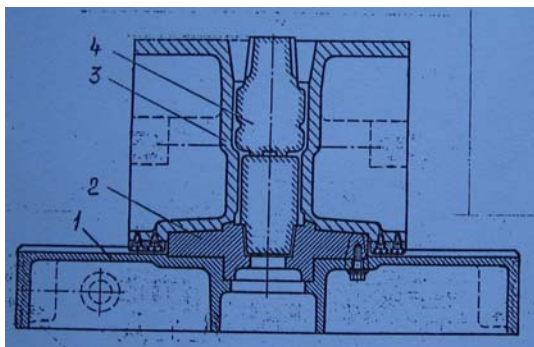
**Рис. 2.6.** Кокиль с вертикальной плоскостью разъема с унифицированными плитами толкателей:  
 1 - плиты толкателей.

Далее идет последовательное усложнение конструкции кокиля: увеличение количества металлических частей, в том числе подвижных.

Кокили (Рис. 2.4, г, д) состоят из двух подвижных половинок с вертикальной плоскостью разъема 1, 2 и поддоном 3. В поддон можно устанавливать песчаный (Рис. 2.7) или металлический (Рис. 2.1) стержень. В последнем случае в поддоне размещают механизм подрыва и удаления стержня.

Конструкция кокиля (Рис. 2.4, е) дополнительно имеет подвижную часть верхнего металлического стержня 4.

И, наконец, в самом сложном варианте (Рис. 2.4, ж) к предыдущему типу добавляется еще одна торцевая подвижная часть кокиля.

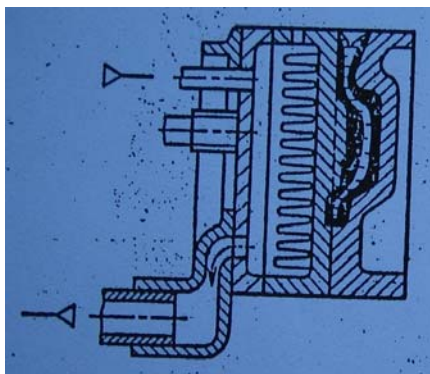


**Рис. 2.7.** Кокиль с вертикальной плоскостью разъема и поддоном: 1 – поддон; 2 – вставка; 3 – половинка кокиля; 4 – песчаный стержень.

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

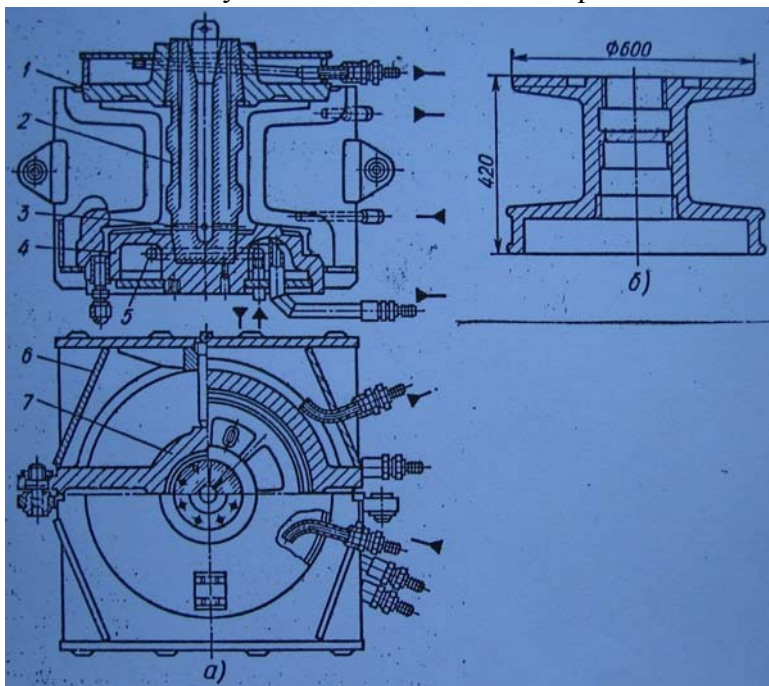
Кокили со сложной (комбинированной) поверхностью разъема (рис.2.5) используют для изготовления отливок сложной конфигурации.

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



**Рис. 2.8.** Кокиль с воздушным охлаждением.

В зависимости от способа охлаждения различают кокили с воздушным (естественным и принудительным), с жидкостным (водяным, масляным) и с комбинированным (водо-воздушным и т. д.) охлаждением. Воздушное охлаждение используют для малотеплонагруженных кокилей. Водяное охлаждение используют обычно для высоко теплонагруженных кокилей, а также для повышения скорости охлаждения отливки или ее отдельных частей. На рис. 2.8 представлен 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 раздельно в обе половины кокиля, нижнюю плиту и верхнюю крышку.

**Рис. 2.9.** Водоохлаждаемый кокиль (а) и отливка (б): 1 – верхняя плита; 2 – песчаный стержень; 3 – питатель; 4 – поддон; 5 – труба охлаж-

деня; 6 – кожух; 7 – половинка кокиля.

### Элементы конструкции кокилей.

Кокиль, как и любая литейная форма— ответственный и точный инструмент. Технические требования к кокилям оговорены 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 конструктивным элементам кокилей относят: формообразующие элементы — половины кокилей, нижние плиты (поддоны), вставки, стержни; конструктивные элементы — выталкиватели, плиты выталкивателей, системы нагрева и охлаждения кокиля и отдельных его частей, вентиляционную систему, центрирующие штыри и втулки.

Корпус кокиля или его половины выполняют коробчатыми, с ребрами жесткости. Ребра жесткости на тыльной, нерабочей 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, достаточную жесткость кокиля и минимальное его коробление при нагреве теплотой залитой расплава, стойкость против растрескивания. Методы определения необходимой толщины стенки кокиля рассмотрены в разделе 2.5.

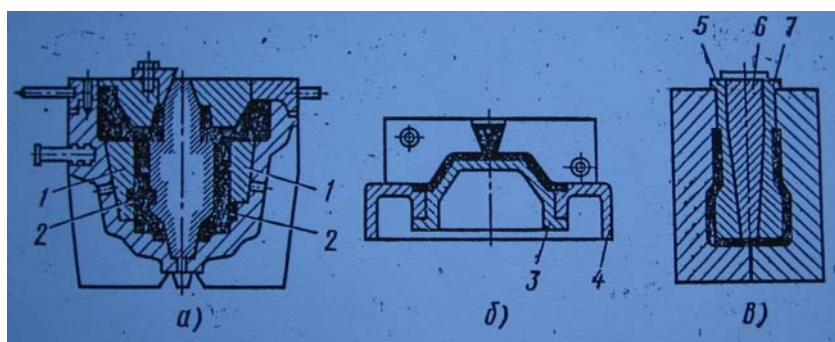
Размеры и конструкция частей кокиля должны позволять размещать и закреплять его на плитах кокильной машины.

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 оправдывает себя экономически.

Металлические стержни применяют, когда это позволяют конструкция отливки и технологические свойства сплава. Использование металлических стержней дает возможность повысить скорость затвердевания отливки, сократить продолжительность цикла ее изготовления, в отдельных случаях повысить механические свойства и плотность (герметичность). Однако при использовании металлических стержней возрастают напряжения в отливках, увеличивается опасность появления в них трещин из-за затруднения усадки.





**Рис. 2.10.** Металлические стержни в кокиле:

*а* – наружные металлические стержни (вкладыши); *б* – стержень, оформляющий внутреннюю поверхность; *в* – разъемный металлический стержень;

*1* – вкладыш; *2* – выступы на отливке; *3* – стержень; *4* – поддон; *5–7* – части стержня.

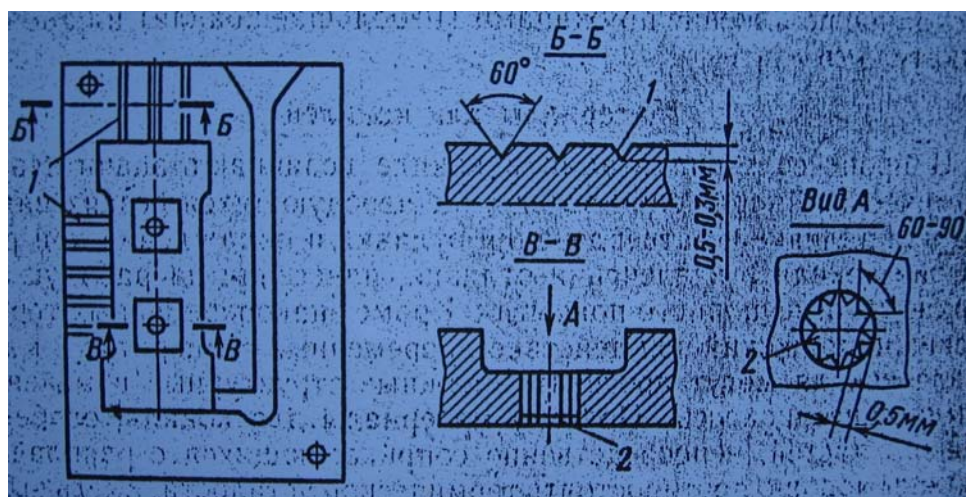
Металлические стержни, выполняющие наружные поверхности отливки, называют вкладышами (рис. 2.10, а). Вкладыши усложняют конструкцию кокиля, затрудняют механизацию и автоматизацию процесса. Металлические стержни, выполняющие отверстия и полости простых очертаний (рис. 2.10, б, см. рис. 2.1) до момента полного извлечения отливки «подрывают» для уменьшения усилия извлечения стержня. Полости более сложных очертаний выполняются разъемными (рис. 2.10, в) или металлическими стержнями, с более сложными механизмами для извлечения.

Для надежного извлечения стержней из отливки они должны иметь уклоны  $1...5^\circ$ , хорошие направляющие во избежание перекосов, а также надежную фиксацию 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 так, что между ним и отливкой образуется зазор, который уменьшает усилие извлечения стержня из отливки.

Для извлечения стержней в кокилях предусматривают гидравлические, пневматические и другие механизмы. Конструкции этих устройств выполняют в соответствии с действующими ГОСТами.

Вентиляционная система должна обеспечивать направленное вытеснение воздуха из кокиля расплавом. Для выхода воздуха используют открытые выпоры, зазоры по плоскости разъема и между подвижными частями (вставками, стержнями) кокиля и специальные вентиляционные каналы: по плоскости разъема 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. В—В). В этих местах в стенке кокиля устанавливают вентиляционные пробки *2*. При выборе места установки вентиляционных пробок необходимо учитывать последовательность заполнения формы расплавом.



**Рис. 2.11.** Вентиляционная система кокиля:

*1* – вентиляционные каналы; *2* – вентиляционная пробка.

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

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



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

Системы нагрева и охлаждения предназначены для поддержания заданного температурного режима кокиля. 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 использовать ее движение для выталкивания отливки. Поэтому выполняют на одной стороне отливки меньшие, а на другой большие уклоны, специальные технологические приливы и предусматривают несимметричное расположение литниковой системы в кокиле (целиком в одной половине кокиля). При изготовлении крупных отливок должно быть обеспечено удаление отливки из обеих половин кокиля. Отливки из кокиля удаляются выталкивателями, которые располагают на неотчетственных поверхностях отливки или литниках равномерно по периметру отливки, чтобы не было перекоса и заклинивания ее в форме. Выталкиватели возвращаются в исходное положение пружинами (небольшие кокили) или контроллерами.

### **Материалы для кокилей.**

В процессе эксплуатации в кокиле возникают значительные термические напряжения вследствие чередующихся резких нагревов при заливке, затвердевании отливки и охлаждении, при 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 для кокиля, особенно для его частей, непосредственно соприкасающихся с расплавом, должны хорошо противостоять термической усталости, иметь высокие механические свойства и минимальные структурные превращения при температурах эксплуатации, обладать повышенной ростоустойчивостью и окалинотойкостью, иметь минимальную диффузию отдельных элементов при циклическом воздействии температур, хорошо обрабатываться, быть недефицитными и недорогими.

Производственный опыт показывает, что для рабочих стенок кокилей достаточно полно указанным требованиям отвечают приведенные ниже материалы.

СЧ20, СЧ25... кокили для мелких и средних отливок из алюминиевых, магниевых, медных сплавов, чугуна, кокили с воздушным и водовоздушным охлаждением.

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

Стали 10, 20, Ст3, стали 15Л-11, 15ХМЛ... 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 различных сплавов.

АЛ9, АЛ11 . . . водоохлаждаемые кокили с анодированной поверхностью для мелких отливок из алюминиевых, медных сплавов.

Наиболее широко для изготовления кокилей применяют серый и высокопрочный чугуны, так как эти материалы в достаточной мере удовлетворяют основным требованиям и сравнительно дешевы. Эти чугуны должны иметь ферритно-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 происходит распад цементита с изменением объема материала, в результате в кокиле возникают внутренние напряжения, способствующие короблению, образованию сетки разгара, снижению его стойкости. В состав таких чугунов для повышения их стойкости вводят до 1% никеля, меди, хрома, а содержание вредных примесей серы и фосфора должно быть минимальным. Например, для изготовления кокилей с высокой теплонагруженностью рекомендуется [15] серый

чугун следующего химического состава, мас. %: 3,0...3,2 C; 1,3...1,5 Si; 0,6...0,8 Mn; 0,7...0,9 Cu; 0,3...0,7 Ni; 0,08...0,1 Ti; до 0,12 S; до 0,1 P.

Для изготовления кокилей используют низкоуглеродистые стали 10, 20, а также стали, легированные хромом и молибденом, например 15ХМЛ. Эти материалы обладают высокой пластичностью, поэтому хорошо сопротивляются растрескиванию при эксплуатации. Кокили для мелких отливок из алюминиевых сплавов иногда изготавливают из алюминиевых сплавов АЛ9 и АЛ11. Такие кокили анодируют, в результате чего на их рабочей поверхности образуется тугоплавкая (температура плавления около 2000 °С) износостойкая пленка окислов алюминия толщиной до 0,4 мм. Высокая теплопроводность алюминиевых стенок кокиля 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 сложной конфигурации — из легированных сталей, для прочих деталей — осей, валов, болтов и т. д. — используют конструкционные стали (табл. 2.1).

**Таблица 2.1** Материалы для изготовления деталей кокиля

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

\* Подвергают цементации

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

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 противопопригарными пастами. Без окраски используют лишь стержни из цирконовых песков.

Для получения литых кокилей из стали используют  $\text{CO}_2$  — процесс, а также керамические формы, изготавливаемые по постоянным моделям [13]. Последний способ позволяет получать рабочие полости кокилей сложной конфигурации с высокой точностью. Точность размеров рабочих полостей в этом случае достигает 9...14-го класса, а шероховатость поверхности  $R_z=40\text{...}10$  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 стальные кокили перед окончательной обработкой резанием подвергают старению по режиму нагрев до  $500\text{...}600$  °C, выдержка 2 ч на каждые 25 мм толщины стенки, охлаждение с печью до  $200\text{...}300$  °C и далее на воздухе. Используют также тренировку циклическую термическую обработку: в печь, нагретую до  $900$  °C, помещают кокиль и нагревают до  $300$  °C, затем охлаждают обдувкой воздуха. Этот цикл повторяют 3...4 раза. Термическую обработку стальных водоохлаждаемых кокили проводят после приварки к ним кожухов и коробок для подачи жидкости, так как при сварке в конструкции неизбежно возникнут внутренние напряжения, которые могут привести к короблению кокиля при эксплуатации. Старение и циклическую термообработку по указанным режимам используют также и для чугунных заготовок кокилей.

Стойкость кокилей и пути ее повышения.

Стойкость кокилей измеряется числом отливок требуемого качества, полученных в данном кокиле до выхода его из строя. Приблизительная стойкость кокилей приведена в таблице 2.2.

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

**Таблица 2.2** Приблизительная стойкость кокилей

Заливаемый сплав	Отливки	Материал кокиля	Стойкость кокиля
Сталь	Мелкие	Чугун	400...600
	Средние		100...300
	Крупные		50...100
	Очень крупные		10...50
Чугун	Мелкие	Чугун	1000...8000
	Средние		1000...3000
	Крупные	Сталь 15Л	200...1000
	Крупные		400...1000
	Мелкие	Медные сплавы	3000...10000
	Средние		3000...8000
Медные	Мелкие	Чугун	1000...10000
	Средние		1000...8000
	Мелкие	Сталь	1000...1500
	Средние		500...3000

Алюминиевые, магниевые, цинковые	Мелкие Средние Крупные	Чугун	Сотни тысяч Десятки тысяч Несколько тысяч
--	------------------------------	-------	---

Основной причиной разрушения кокиля являются сложные термохимические процессы, вызываемые неравномерным циклическим нагревом и охлаждением рабочей стенки кокиля 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. Последние приводят к остаточным деформациям и напряжениям. 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 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.

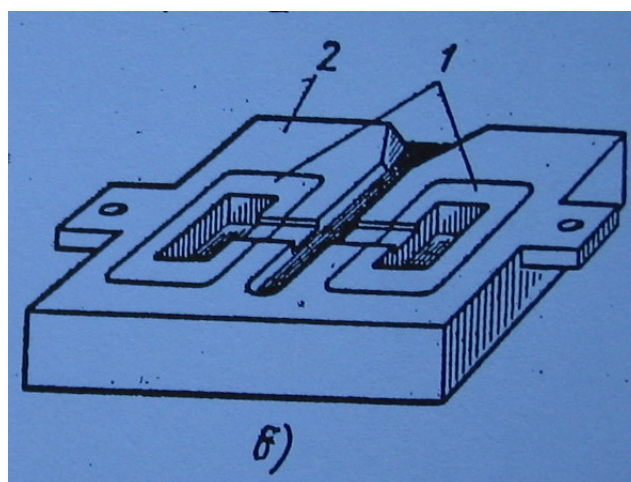
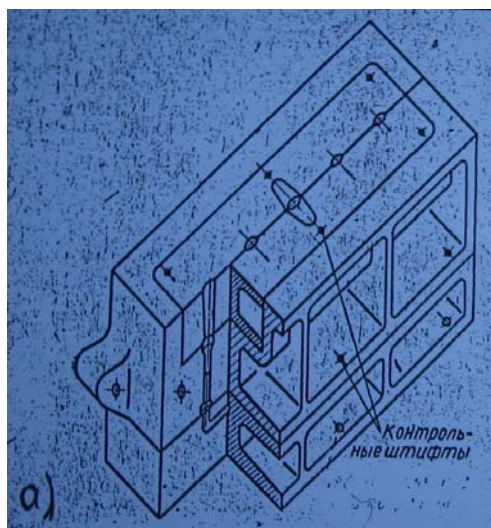
Способность кокиля выдерживать термические напряжения зависит от механических свойств его материала при температурах работы кокиля. Эти свойства резко снижаются при нагреве. Например, предел текучести стали 15 при нагреве до  $\sim 600^{\circ}\text{C}$  уменьшается в  $\sim 3$  раза.

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 нагревающейся 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 расширится свободно.



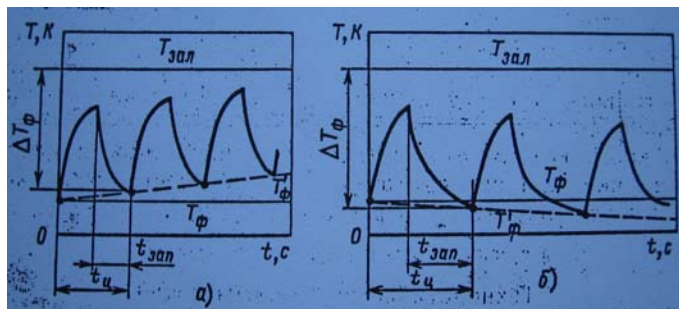
**Рис. 2.12.** Кокиль с расчленением стенок:

*а* – кокиль с составными стенками; *б* – кокиль с вставками; 1 – вставки; 2 – корпус кокиля.

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

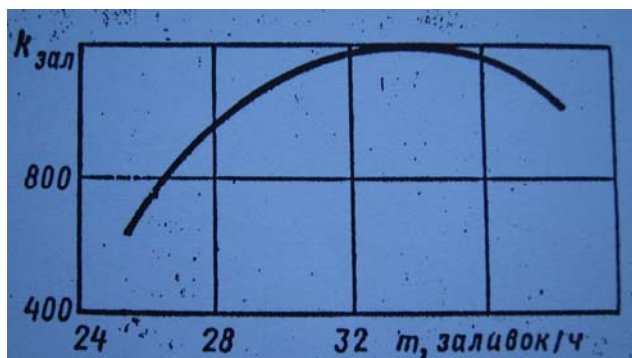
Технологические методы направлены на повышение стойкости поверхностного слоя рабочей полости, имеющего наибольшую температуру при работе кокиля. Для этого используют поверхностное легирование, алитирование, силицирование, термическую обработку различных видов, наплавку, напыление на рабочую поверхность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

Эксплуатационные методы повышения стойкости кокилей основаны на строгой регламентации температурного режима кокиля, зависящего от необходимых температур кокиля перед заливкой и заливаемого металла, 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  $T_{\phi}$  (см. табл. 2.4). Начальная температура  $T_{\phi}$  кокиля зависит от темпа работы кокиля (рис. 2.13). При повышении темпа работы сокращается продолжительность  $t_{\text{ц}}$  цикла, в основном вследствие уменьшения времени  $t_{\text{п}}$  от удаления отливки из кокиля до следующей заливки. Это приводит к тому, что в момент заливки кокиль имеет температуру несколько выше требуемой (рис. 2.13, а). С увеличением  $T_{\phi}$  кокиля уменьшается разность температур  $\Delta T_{\phi} = T_{\text{зал}} - T_{\phi}$  и соответственно уменьшаются напряжения в кокилях из упруго-пластических материалов. Вместе с тем повышение  $T_{\phi}$  способствует интенсификации коррозии, структурных превращений и других процессов в материале кокиля, что снижает его стойкость.



**Рис. 2.13.** Зависимость температуры кокиля от темпа работы:  
*а* – кокиль нагревается; *б* – кокиль охлаждается.

При уменьшении темпа работы (рис. 2.13, б) продолжительность цикла возрастает. Это приведет к тому, что перед очередной заливкой температура  $T_{\phi}$  будет ниже заданной, соответственно возрастет разность температур  $\Delta T_{\phi}$  и увеличатся напряжения в кокиле, его стойкость понизится. Производственные данные показывают (рис. 2.14), что для данного конкретного кокиля существует оптимальный темп работы  $m$ , при котором стойкость его  $k_{\text{зал}}$  наибольшая.



**Рис. 2.14.** Зависимость стойкости “*K*” кокиля от темпа работы “*m*”.

На стойкость кокиля оказывает влияние температура заливаемого металла  $T_{\text{зал}}$ . Повышение температуры металла выше требуемой по технологии для данной отливки приводит к снижению стойкости кокиля. Одновременно может ухудшиться качество



отливки — появятся усадочные раковины, рыхлоты, трещины.

Долговечность кокиля может быть повышена при надлежащем уходе за ним при эксплуатации. Это обеспечивается системой планово-предупредительного ремонта (ППР).

### 2.3. ТЕХНОЛОГИЯ ЛИТЬЯ В КОКИЛЬ

#### Технологические режимы литья.

Требуемое качество отливки достигается при условии, если литейная форма заполнена расплавом без неспаев, газовых и не металлических включений в отливке, а при затвердевании в отливке не образовалось усадочных дефектов — раковин, пористости, трещин — и ее структура и механические свойства отвечают 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 усадки отливки обеспечивается комплексом мероприятий: рациональными конструкцией отливки, ее расположением в форме, конструкцией ЛПС, 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 интенсивное охлаждения расплава и отливки. Это затрудняет заполнение формы расплавом, не всегда благоприятно влияет на качество отливок, особенно чугуновых.

Интенсивность теплового взаимодействия между кокилем и расплавом или отливкой возможно регулировать. Обычно это достигается созданием определенного термического сопротивления на границе контакта отливки 1 (расплав) — рабочая поверхность полости кокиля 2 (рис. 2.15). Для этого на поверхности 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

$$1/\beta = \varepsilon/\lambda_{кр},$$

где  $\beta$  — коэффициент тепловой проводимости огнеупорного покрытия,  $\varepsilon$  — толщина слоя огнеупорного покрытия.



Рис. 2.15. Схема распределения температур в системе отливка-кокиль.

Огнеупорное покрытие уменьшает скорость  $q$  отвода теплоты от расплава и отливки, зависящую от тепловой проводимости огнеупорного покрытия и разности между температурой  $T_0$  поверхности отливки и температурой  $T_n$  поверхности кокиля:

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

Величины  $\varepsilon$  и  $\lambda_{кр}$  можно изменять в определенных пределах, регулируя коэффициент тепловой проводимости огнеупорного покрытия и соответственно скорость охлаждения отливки, а следовательно, ее структуру, плотность, механические свойства.

**Таблица 2.3** Составы некоторых огнеупорных покрытий (красок) кокилей

Назначение	Компоненты	Содержание мас. %	Коэффициент теплопроводности Вт/(м·К)
Для отливок из алюминиевых сплавов	1. Окись цинка	15	0,41
	Асбест прокаленный (пудра)	5	
	Жидкое стекло	3	
	Вода	77	0,27
	2. *Асбест прокаленный	8,7	
	Мел молотый	17,5	
Для отливок из магниевых сплавов	Жидкое стекло	3,5	0,39
	Вода	70,3	
	3. Тальк	18	
	Борная кислота	2,5	0,58
	Жидкое стекло	2,5	
	Вода	77	
Для отливок из чугуна	4. Пылевидный кварц	10...15	0,25
	Жидкое стекло	3...5	
	Вода	87...80	
	5. * Молотый шамот	40	0,3
	Жидкое стекло	6	
	Вода	54	
Для отливок из стали	Марганцевокислый калий 0,05 (сверх 100%)	30...40	0,3
	6. Огнеупорная составляющая (циркон, карборунд, окись хрома)	5...9	
	Жидкое стекло	0,7...0,8	
	Борная кислота	Остальное до плотности	
	Вода	1,1...1,22 г/см <sup>3</sup>	

\*Составы применяют для покрытия поверхности литниковых каналов и выпоров.

В соответствии с необходимой скоростью отвода теплоты от различных мест отливки толщину  $\varepsilon$  и теплопроводность  $\lambda_{кр}$  огнеупорного покрытия можно делать разными в различных частях кокиля, создавая условия для направленного затвердевания отливки, регулируя скорость ее охлаждения в отдельных местах.

Огнеупорное покрытие уменьшает скорость нагрева рабочей поверхности кокиля, благодаря термическому сопротивлению огнеупорного покрытия температура рабочей поверхности будет ниже, чем без покрытия. Это снижает разность температур по толщине кокиля, уменьшает температурные напряжения в нем и повышает его стойкость.

Огнеупорное покрытие на поверхности кокиля должно иметь заданную теплопроводность, хорошо наноситься и удерживаться на поверхности формы, противостоять резким колебаниям температуры, не выделять газов при нагреве, способных растворяться в отливке или создавать на ее поверхности газовые раковины.

Покрyтия готовят из огнеупорных материалов, связывающих, активизаторов и стабилизаторов (см. табл. 2.3).

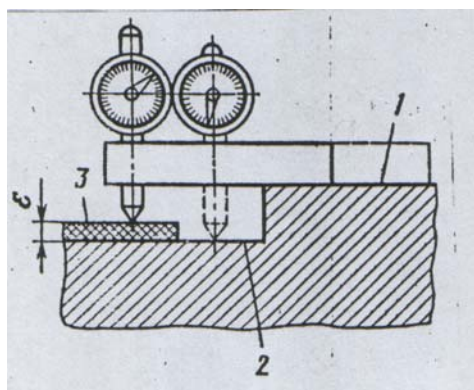
В качестве *огнеупорных материалов* применяют пылевидный кварц, шамотный порошок, окислы и карбиды металлов, тальк, графит, асбест. Связывающие для покрyтий—жидкое стекло, огнеупорная глина, сульфитный щелок.

*Активизаторы* применяют для улучшения схватывания с поверхностью кокиля. В качестве активизаторов используют для шамотных и асбестовых покрyтий буру ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) и борную кислоту ( $\text{H}_3\text{BO}_4$ ); для маршалитовых—кремнефтористый натрий ( $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ ), для тальковых — буру, борную кислоту или марганцовокислый калий. Перед приготовлением огнеупорные материалы просеивают через сито № 016 или 01.

*Стабилизаторы* применяют для того, чтобы уменьшить седиментацию огнеупорных составляющих покрyтия. Чаще всего это поверхностно активные вещества ОП5, ОП7.

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

Толщину слоя огнеупорного покрyтия контролируют измерительными пластинами, проволочками, прямым измерением, электроконтактным способом. При прямом измерении толщину слоя облицовки определяют микрометром (рис. 2.16): измеряют расстояние от базовой поверхности 1 до поверхностей 2 и 3, соответственно не покрyтой и покрyтой облицовкой. Разность дает толщину слоя облицовки.



**Рис. 2.16.** Измерение толщины краски на кокиле: 1 – базовая поверхность; 2 – рабочая поверхность кокиля; 3 – слой краски.

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

Рассмотренное явление используют 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 разницы между температурами поверхностей отливки  $T_0$  и кокиля  $T_{\text{п}}$ . С повышением температуры заливаемого расплава возрастает температура  $T_0$  и скорость отвода теплоты от отливки; с повышением температуры  $T_{\text{п}}$  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 зависит от заливаемого сплава, толщины стенки отливки и ее конфигурации (табл. 2.4).

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

### Особенности изготовления отливок из различных сплавов

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

**Таблица 2.4** Температура нагрева кокилей перед заливкой

Сплавы	Отливки	Толщина стенки отливок, мм	Температура нагрева кокиля, °C
Алюминиевые	Тонкостенные, ребристые Ребристые, корпусные Простые, без ребер	2,2...4,0	400...420
		5...10	350...400
		< 8	250...350
		> 8	200...250
Магниевые	Тонкостенные, сложные Толстостенные	3...4	350...400
		-	250...350
Медные	Средней сложности	5...10	120...200
Серый чугун	Различной сложности	< 5	400...450
		5...10	300...400
		10...20	250...400
		20...40	150...250
Сталь	Тонкостенные	-	300
	Толстостенные	-	150

**Отливки из алюминиевых сплавов.**

Литейные свойства. Согласно ГОСТу литейные алюминиевые сплавы разделены на пять групп. Наилучшими литейными свойствами, обладают сплавы I группы — силумины. Они имеют хорошую жидкотекучесть, небольшую (0,9...1%) линейную усадку, стойки к образованию трещин, достаточно герметичны. Это сплавы марок АЛ2, АЛ4, АЛ9, их широко используют в производстве. Однако они склонны к образованию грубой крупнозернистой эвтектики в структуре отливки и растворению газов.

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

Сплавы III...V групп имеют худшие литейные свойства — пониженную жидкотекучесть, повышенную усадку (до 1,3%) склонны к образованию трещин, рыхлот и пористости в отливках. Получение отливок из этих сплавов требует строгого соблюдения технологических режимов, обеспечения хорошего заполнения формы, питания отливок при затвердевании.

Все литейные алюминиевые сплавы в жидком состоянии интенсивно растворяют газы и окисляются. При затвердевании сплава газы выделяются из раствора и образуют газовую и газоусадочную пористость, которая снижает механические свойства и герметичность отливки. Образующаяся на поверхности расплава пленка окислов 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 окислов, перемещаясь с воздухом, образует иену, попадание которой в полость формы приводит к дефектам в теле отливок.

Влияние кокиля на свойства отливок.

Интенсивное охлаждение расплава и отливки в кокиле увеличивает скорость ее затвердевания, что благоприятно влияет на структуру — 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.

К о к и л и 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 даст возможность обеспечить 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 окисных плен, шлаковых включений и предотвратить их образование в каналах литниковой системы и полости кокиля, способствовать направленному затвердеванию и питанию массивных узлов отливки.

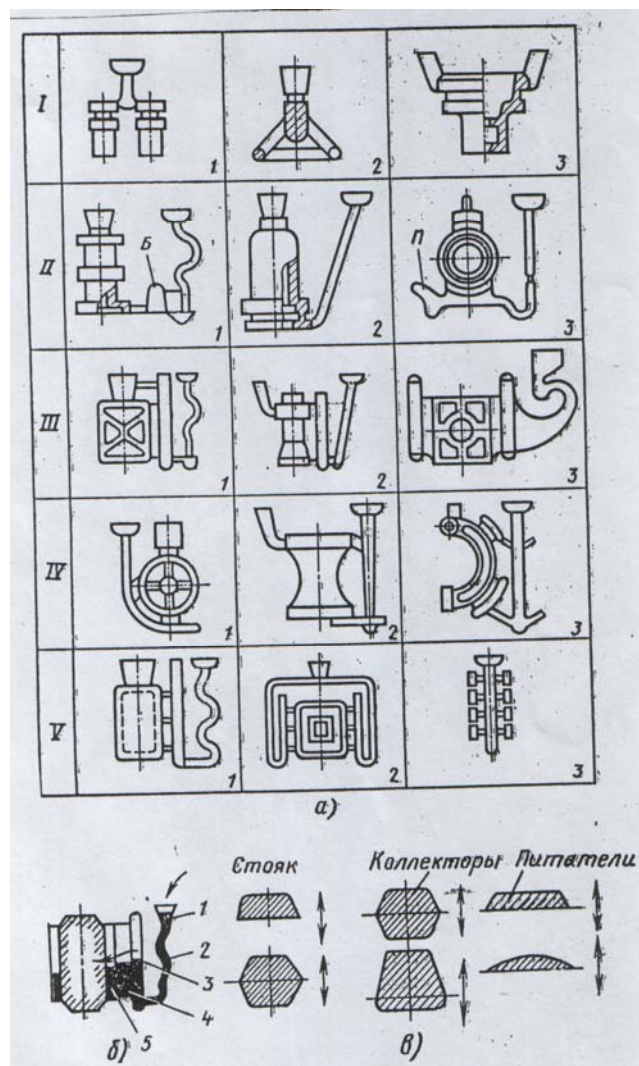
Используют литниковые системы с подводом расплава сверху, снизу, сбоку, комбинированные и ярусные (рис. 2 17, а).

Литниковые системы с верхним подводом для мелких невысоких отливок типа втулок и колец (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 (II, 1-3). Для уменьшения скорости входа расплава в форму стояк делают зигзагообразным (II, 1), наклонным (II, 2). Для задержания шлака устанавли-

вают шлакозадерживающие бобышки Б (II, 1); для удаления первых охлажденных порций расплава, содержащих шлаковые включения, используют промывники П (II, 3).

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



**Рис. 2.17.** Типы литниковых систем для алюминиевых и магниевых сплавов (а), принцип работы щелевой литниковой системы (б), сечения элементов литниковой системы (с).

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 площадей поперечных сечений элементов литниковой системы подбирают так, чтобы уровень расплава в форме во время ее заполнения был ниже уровня в канале 3; верхние порции расплава должны сливаться в форму и замещаться более горячим металлом. Размеры канала 3 и питателя 4 назначают соответственно с толщиной стенки отливки 5; чтобы избежать усадочных дефектов в отливке, расплав в канале 3 и питателе 4 должен затвердевать позже 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 верхний подает наиболее горячий расплав под прибыль, улучшая ее питающее действие.

Ярусные литниковые системы используют для улучшения заполнения формы тонкостенных сложных или мелких отливок (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 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, окислов и неметаллических включений в отливку вследствие нарушения сплошности потока (гидродинамические условия литья); скорость движения расплава в фор-

ме должна обеспечивать ее полное заполнение без образования в отливке неслитин (тепловые условия литья).

Допустимые максимальные значения критерия  $Re = 4u R_r / \nu$  для различных элементов обычных литниковых систем и формы по данным [8]:

стояк - 43500...48300

коллектор - 28000...33800

питатель - 7800...5300

форма:

простая - 2600...1350

сложная - 780,

где  $u$  – максимальное значение скорости расплава в соответствующем элементе, м/с;

$R_r$  – гидравлический радиус элемента, равный  $F/\Pi$  отношению площади поперечного сечения элемента  $F$ , м<sup>2</sup> к его периметру  $\Pi$ , м.

$\nu$  – кинематическая вязкость расплава, м<sup>2</sup>/с.

По величине  $Re$  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 Галдина Н.М.

$$u_{\min} = \frac{\sqrt{H_{\text{отл}}}}{\delta_{\text{отл}} \ln\left(\frac{T_{\text{зал}}}{380}\right)}, \text{ см/с}$$

где  $H_{\text{отл}}$  – высота отливки в форме, см;

$\delta_{\text{отл}}$  – 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 ближе к  $u_{\max}$ , для толстостенных к  $u_{\min}$ .

Выбрав значение  $u_{\text{ф}}$  можно определить необходимое время заливки:

$$t_{\text{зал}} = H_{\text{отл}} / u_{\text{ф}}, \text{ с.}$$

Далее по известной формуле гидравлического метода определяют площадь поперечного сечения узкого места литниковой системы:

$$F_{\text{уз}} = \frac{G}{\rho t_{\text{зал}} \mu \sqrt{2gH_p}}, \text{ м}^2$$

где  $G$  – масса отливки с прибылями, кг;

$\rho$  – плотность расплава, кг/м<sup>3</sup>;

$t_{\text{зал}}$  – время заливки формы, с;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$H_p$  – расчетный напор, определяемый по известным формулам [4], м;

$\mu$  – коэффициент расхода,  $\mu = 0,4 \dots 0,5$  для нижнего подвода металла,  $0,7 \dots 0,8$  для ярусной системы,  $0,56 \dots 0,67$  для комбинированного способа подвода.

Минимальные значения  $\mu$  принимают для пониженных температур заливки.

На массивных частях отливок устанавливают прибыли, размеры которых определяют по общепринятым методикам [11].

Из приведенных выше данных по коэффициенту  $Re$  следует, что для получения качественных отливок скорость движения расплава должна убывать от сечения стояка к питателю. Поэтому для отливок из алюминиевых сплавов применяют расширяющиеся литниковые системы, где  $F_{\text{уз}} = f_c$  с соотношением:

$$f_c : f_k : f_{\text{п}} = 1 : 2 : 3 \text{ или } 1 : 2 : 4,$$

где  $f_c, f_k, f_n$  – площади поперечного сечения стояка, коллектора, питателя соответственно.

Для крупных (50...70 кг) и высоких (750 мм) отливок  $f_c : f_k : f_n = 1 : 3 : 4$  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 [10].

**Технологические режимы литья** назначают в зависимости от свойств сплава, конфигурации отливки и предъявляемых к ней требований.

Состав и толщина слоя краски на поверхности рабочей полости кокиля назначают в соответствии с рекомендациями (см. Табл. 2.3). Для регулирования скорости отвода теплоты от отдельных частей отливки толщину и свойства огнеупорных покрытий в разных частях кокиля часто делают различными. Для окраски в этом случае 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  $700...750^{\circ}C$ , для шароконтрervalных сплавов типа АЛ19, обладающих пониженной жидкотекучестью, в пределах  $720...770^{\circ}C$ .

Продолжительность выдержки отливки в кокиле назначают с учетом ее размеров и массы. Обычно отливки охлаждают в форме до температуры  $\sim 400^{\circ}C$ . Продолжительность охлаждения отливки до температуры выбивки определяют расчетом по известным формулам [1,15] и окончательно корректируют при доводке технологического процесса.

#### **Отливки из магниевых сплавов.**

Литейные свойства. Магниево-литые 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 состоянии, способностью воспламениться в жидком состоянии. Магниево-литые 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 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 повышению окисляемости сплава, вероятности попадания окислов 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; модифицирование сплавов церием и висмутом повышает трещиностойкость сплавов.

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

Литниковые системы для магниевых сплавов расширяющиеся:

$f_c : f_k : f_n = 1 : 2 : 3$ . 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 выше для алюминиевых сплавов. Оптимальная скорость подъема металла в полости формы Уф можно оценить по экспериментальной формуле Топоркова В.Д.:

$$lg u_{\text{ф}} = 1,874 - 0,3924 lg V - 0,393 lg \delta_{\text{отл}} + 1,039 lg h_{\text{отл}}, \text{ мм/с} \quad (2.4)$$

где  $V$  – объем отливки, мм<sup>3</sup>;  $\delta_{\text{отл}}$  – средняя толщина стенки отливки, мм;

$h_{\text{отл}}$  – высота отливки с прибылями, мм.

Формула пригодна для нижней литниковой системы. Имеются подобные зависимости для других типов систем. Объем прямой или отводной прибыли определяют из соотношения  $V_{\text{пр}} = (2 \div 2,5) V_{\text{п.о}}$ , где  $V_{\text{п.о}}$  – 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** магниевых сплавов в кокиль назначают с учетом их литейных свойств, конфигурации отливки и предъявляемых к ней требований.

Состав и толщину краски рабочей полости кокиля принимают по рекомендациям таблицы 2.3. Для устранения окисления и загорания сплава при заливке рекомендуется покрывать поверхность кокиля и кромки заливочной чаши серным цветом, который, сгорая, создает защитную среду вокруг отливки.

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

Температура заливки магниевых сплавов зависит от химического состава, но обычно на 100...150<sup>0</sup> выше линии ликвидуса, что вызвано их пониженной жидкотекучестью. Обычно температура заливки составляет 700...750<sup>0</sup>С для тонкостенных отливок и 650...700<sup>0</sup>С для массивных, толстостенных.

### **Отливки из медных сплавов**

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

*Латуни* 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, как и все медные сплавы, интенсивно растворяют водород, особенно кремнистые латуни, отливки из которых часто поражаются газовой пористостью.

*Бронзы* оловянные имеют хорошую жидкотекучесть, повышенную усадку (1,4...1,6%), большой интервал кристаллизации, а потому и повышенную склонность к образованию усадочной пористости в отливках. Алюминиевые бронзы имеют небольшой интервал кристаллизации, большую усадку (1,7...2,5%); отливки из них получаются плотными, но они склонны к образованию окисных плен из-за повышенной окисляемости содержащегося в них алюминия. Плены, попадающие в отливку, снижают ее механические свойства и герметичность. Кремнистые бронзы, аналогично кремнистым латуням, склонны к образованию газовой пористости.

Свинцовые бронзы склонны к ликвации, ухудшающей свойства отливок.

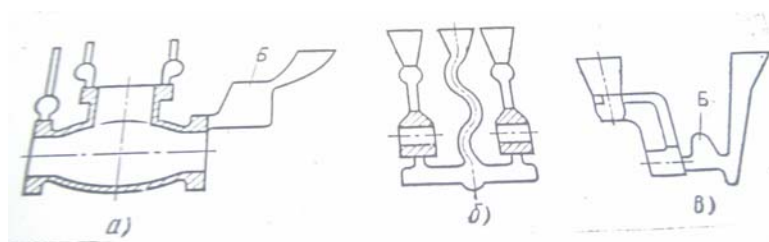
Влияние кокиля на свойства отливок. Высокая скорость охлаждения и затвердевания при литье в кокиль благоприятно влияет на качество отливок: повышаются их механические свойства, герметичность, плотность, улучшается структура. Повышение скорости охлаждения способствует приближению характера затвердевания широкоинтервальных сплавов к последовательному. Поэтому, например, отливки из оловянных бронз в кокиль имеют большую плотность, чем при литье в песчаные формы. Отливки из кремнистых латуней и бронз меньше поражены газовой пористостью, так как высокая скорость охлаждения распла-

ва 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 окислов, сильно влияющих на трещиностойкость сплавов.

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

Литниковая система (рис. 2.18) для медных сплавов должна обеспечивать плавное заполнение формы и питать отливку в процессе ее затвердевания. Поэтому литники делают большого сечения, одновременно выполняющими функции прибылей. Между стояком и питателем устанавливают питающие бобышки **Б**, в которых происходит также частичное



**Рис. 2.18.** Литниковые системы для медных сплавов: а — заливка сверху; б; в — заливка снизу; **Б** — питающая бобышка.

шлакозадержание. Для отливок из алюминиевых, марганцевых и кремнистых бронз используют нижний подвод расплава через зигзагообразные и наклонные стояки (рис. 2.18, б, в), шлакоуловители и плоские щелевидные питатели. Тонкостенные мелкие отливки заливают сверху (рис. 2.18, а), обычно с подводом расплава в питающую бобышку **Б**. Для отливок из медных сплавов применяют как расширяющиеся, так и суживающиеся литниковые системы. Для сплавов, склонных к образованию плен (алюминиевых, марганцевых бронз), используют расширяющиеся литниковые системы ( $f_{п}:f_{л.х}:f_{с}=3:2:1$ ), а для латуни — суживающиеся ( $f_{п}:f_{л.х}:f_{с}=1:2,5:3,5$ ).

Размеры элементов литниковой системы определяют, пользуясь известным гидравлическим методом расчета по формуле (2.3) [10].

Технологические режимы назначают в зависимости от литейных свойств сплава, конфигурации отливки и требований к ней.

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, терморезистивные смолы. Такие покрытия наносят на поверхность кокиля перед каждой заливкой или через две-три заливки.

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

Температура заливки медных сплавов зависит от химического состава и конфигурации отливки. Оловянные бронзы заливают при температурах  $1150...1200^{\circ}\text{C}$ ; алюминиевые бронзы — при  $1100...1150^{\circ}\text{C}$ . Кремнистые латуни заливают при температурах  $1000...1050^{\circ}\text{C}$ , свинцовые латуни — при  $1000...1100^{\circ}\text{C}$ . Массивные отливки заливают при температурах, близких к нижнему пределу рекомендованных, 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. Литниковую систему и прибыли отрезают ленточными и дисковыми пилами, а в массовом производстве — на специальных станках. От мелких отливок из латуни 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 повторный контроль отливок, проверяя их соответствие требованиям технических условий.

### **Дефекты отливок из цветных сплавов и меры их предупреждения**

Общие характерные дефекты отливок при литье в кокиль следующие: 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) из-за недостаточного питания массивных узлов отливки, чрезмерно высокой температуры расплава и кокиля; местного перегрева кокиля, нерациональной конструкции литниковой системы; трещины появляются вследствие несвоевременного подрыва металлического стержня или вставки, высокой температуры заливки, нетехнологичной конструкции отливки; 3) шлаковые включения образуются при использовании загрязненных шихтовых материалов, недостаточном рафинировании сплава перед заливкой, неправильной работе литниковой системы; 4) газовая пористость образуется при нарушении хода плавки (использование 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 затвердевания этих сплавов. Для устранения этих дефектов требуется доводка и точное соблюдение технологических режимов — температуры расплава и кокиля, краски и др. Часто отливки из магниевых сплавов вследствие плохой работы литниковой системы поражены шлаковыми включениями, что приводит к коррозии отливки при ее эксплуатации и хранении. Такие дефекты устраняют тщательной доводкой литниковой системы и процесса плавки.

Специфические дефекты отливок из медных сплавов следующие: газовая пористость при плохом рафинировании и очистке сплава от шлаковых частиц; вторичные окисные плены 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, а марганец и сера влияют несущественно.

Линейная усадка чугунов зависит от химического состава и скорости охлаждения: перлитно-ферритные чугуны (П + Ф + Гр) имеют усадку 0,7...0,9%, перлитные чугуны 1,1...1,15%, белые 1,65...1,75%.



Трещиноустойчивость чугунов возрастает с повышением содержания углерода и кремния; увеличение содержания серы снижает трещиноустойчивость чугунов; увеличение содержания марганца до 0,9% повышает трещиноустойчивость, а при дальнейшем увеличении его содержания вероятность появления трещин возрастает. Содержание в чугуне 0,2% фосфора резко увеличивает 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 раствора. Однако при неправильной конструкции вентиляционной и литниковой системы, нарушениях при окраске кокилей и плавке могут образоваться газовые дефекты 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. От структуры чугуна зависят его механические свойства, износостойкость, герметичность, обрабатываемость. Повышение скорости охлаждения отливки при литье в кокиль уменьшает количество и размеры графитных включений, увеличивает количество перлита и уменьшает его зерно, 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 — химического соединения  $Fe_3C$ . Такая структура обладает высокой твердостью. Отливки с отбеленной поверхностью трудно обрабатываются, но обладают высокой износостойкостью. Их применяют обычно без механической обработки или после шлифования, например, мелющие тела для дробильно-размольного оборудования, валки для прокатки металлов, помола и т. д. Чугунные отливки с отбеленным поверхностным слоем, которые необходимо обрабатывать резанием, подвергают термической обработке — графитизирующему отжигу для устранения отбела.

Отжиг отливок требует дополнительного оборудования, энергозатрат, удлиняет технологический цикл, поэтому получение отливок из чугуна с заданной структурой в кокилях является одной из важнейших проблем этого 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 термическое сопротивление переносу теплоты от отливки к кокилю.

Для предотвращения отбела повышают содержание углерода и кремния в чугуне. Однако содержание кремния должно быть не более 2,5%, так как при более высоком его содержании снижается жидкотекучесть, в структуре отливок появляются силико-карбиды. Уменьшение глубины отбела может быть достигнуто модифицированием чугуна ферросилицием, силикокальцием. Наилучшими являются комплексные модификаторы, вводимые в количестве 0,2...0,3% массы чугуна, например ФЦМ-5. Рекомендуемые составы чугунов для отливок в кокиль и режимы модифицирования приведены в таблице 2.5.

Связь между химическим составом, структурой, механическими свойствами и скоростью охлаждения выражается обычно структурными диаграммами. Одна из таких структур-

ных 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  $U$  затвердевания отливки.

**Таблица 2.5** Химический состав серого чугуна, мас.% (остальное — Fe)

Отливки	C	Si	Mn	S	P	Модификатор
				не более		
Тонкостенные ребристые, отжигаемые на феррите	3,6... 3,7	2,1... 2,3	0,4...0,5	0,1	0,05	До 0,05* ФЦМ-5
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 % коксика, модификатор вводят в разливочный ковш.

В правой части диаграммы представлена зависимость  $C_{св}/C_{об}$  (где  $C_{св}$  - содержание связанного углерода,  $C_{об}$  — общее содержание углерода) от объемной скорости затвердевания и суммарного содержания C+Si. Заданному относительному содержанию связанного углерода и сумме C+Si отвечает определенная скорость затвердевания отливки, которая должна быть обеспечена технологическими средствами.

В левой части диаграммы относительное количество связанного углерода выражено через общее, количество его и твердость отливки  $HB$ . Штриховые линии на диаграмме позволяют по твердости и общему количеству углерода определять прочность чугуна на разрыв  $\sigma_b$  и изгиб  $\sigma_{изг}$ . Если заданы прочностные свойства чугуна и необходимо выбрать технологические режимы для их получения, то идут от левой части диаграммы к правой. С помощью этой же диаграммы по заданной технологии можно определить прочностные свойства чугуна. Требуемая скорость затвердевания отливки может быть обеспечена выбором соответствующих параметров кокиля и его облицовки.

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

$$U=dR/dt=\beta(T_{кр}-T_{\phi})/(\rho L) \quad (2.5)$$

где  $T_{кр}$ —температура кристаллизации сплава;  $T_{\phi}$  — начальная температура кокиля;  $\rho$  — плотность материала отливки;  $L$  — удельная теплота кристаллизации сплава. Значение  $\beta$  рассчитывают по формуле

$$\beta=\lambda_{кр}/\varepsilon,$$

где  $\varepsilon$ —толщина слоя краски на рабочей поверхности кокиля,  $T_{кр}$  — теплопроводность краски.

Пример  $\sqrt{23}$ . Пусть требуется, чтобы отливка из чугуна имела  $\sigma_b=245$  МПа,  $HB240$ . На пересечении прямых, проведенных из точек, соответствующих значениям  $\sigma_b$  и  $HB$  на левом поле диаграммы (см. рис. 2.19). находим, что эти значения соответствуют чугуну с общим содержанием углерода 3,5...3,6% (штриховые линии) и отношению  $C_{св}/C_{об}=0,26$  (на правой части диаграммы). 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.

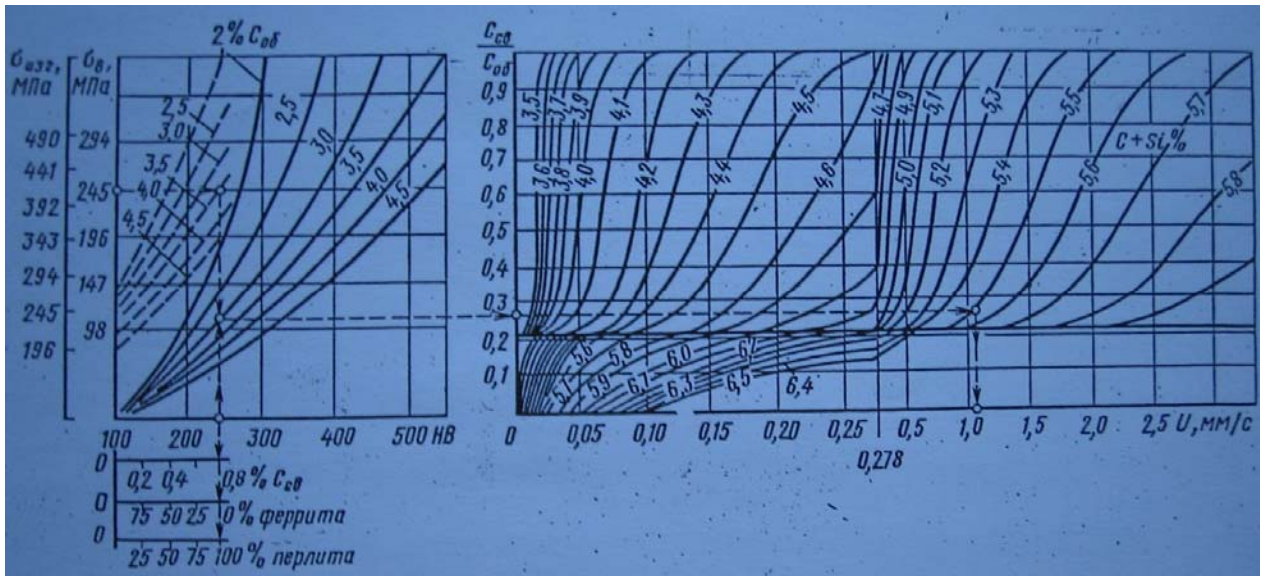


Рис. 2.19. Структурная диаграмма для серого чугуна при литье в кокиль.

Принимаем, что при рассматриваемом случае сумма C+Si должна составлять 5.5%, тогда скорость затвердевания (см. правое поле диаграммы) должна быть  $U \approx 0,001$  м/с (1 мм/с). Из формулы (2.5) при  $U=0.001$  м/с;  $T_{кр}=(T_L+T_s)/2=1498$  K;  $\rho=7200$  кг/м<sup>3</sup>;  $L=263$  Дж/кг;  $T_{ф}=598$  K (325 °C) (см. рекомендации таблицы 2.4) находим  $\beta=2120$  Вт/(м<sup>3</sup>K).

Состав краски, которой будет покрыта рабочая поверхность кокиля, содержит 15% пылевидного кварца, 5% жидкого стекла и 80% воды и имеет теплопроводность  $\lambda_{пр}=0,467$  Вт/(мK). С учетом этого из (2.6) находим толщину покрытия формы, обеспечивающую требуемую скорость затвердевания:

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

Литниковые системы для литья чугуна в кокиль бывают с верхним (рис. 2.20, а), нижним (рис. 2.20, б), комбинированным подводом и подводом сбоку (рис. 2.18, б). В практике наибольшее применение получили литниковые системы с подводом сверху. Это уменьшает тепловые потери на пути движения расплава в полости кокиля, повышает его стойкость, сокращает расход металла на литники и создает условия для направленного затвердевания отливки.

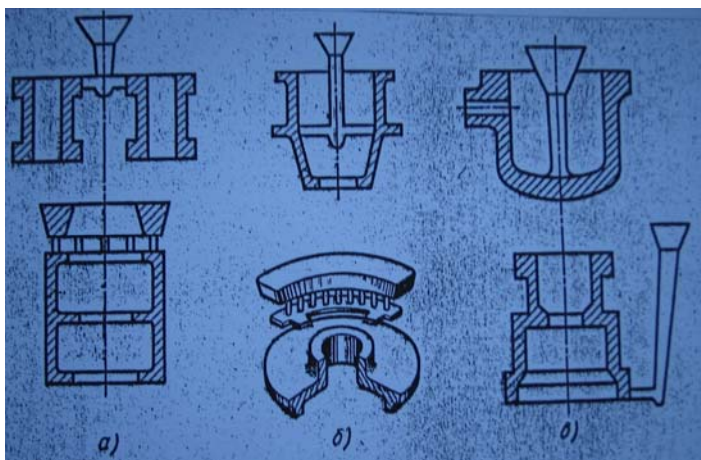


Рис. 2.20. Литниковые системы для чугуна: а – верхняя; б – боковая; в – нижняя.

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

Площадь поперечного сечения питателя  $f_n$  определяют по формуле (2.3), принимая коэффициент расхода  $\mu = 0,4 \dots 0,5$  (нижняя литниковая система).

Время заливки можно оценить по формуле:

$$t_{зал} = A \cdot \delta^m \cdot G^n,$$

где  $G$  – масса отливки, кг;

$\delta$  – толщина стенки, мм.

Значения постоянных для нижней системы  $A = 1,4; m = n = 1,3$ .

Соотношение площадей остальных элементов литниковой системы:

$$f_n : f_{л.х.} : f_c = 1 : 1,15 : 1,25,$$

где  $f_{л.х.}$  – площадь поперечного сечения литникового хода, а  $f_c$  – стояка.

Технологические режимы литья назначают из условий получения отливок без неслитин, неспаев, усадочных дефектов, с заданной структурой/и механическими свойствами.

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

Температуру кокиля назначают в соответствии с рекомендациями таблицы 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, так как повышение температуры заливки снижает 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 отливок проводят в соответствии с требованиями технических условий. Первичный контроль — это внешний осмотр. Отливки без видимых внешних дефектов подвергают очистке и отбивке литников.

Термическую обработку чугунных отливок обычно выполняют с целью устранения отбела и ферритно-графитной эвтектики, 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, выдерживают  $2 \dots 8$  ч (в зависимости от толщины стенки и массы отливки) и охлаждают с печью со скоростью  $20 \dots 50$  °С/ч до  $250$  °С.

Дефекты отливок и меры их предупреждения. Наиболее характерными дефектами чугунных отливок 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 газо содержанием чугуна; несоответствие структуры заданной вследствие отклонения химического состава чугуна, температуры кокиля, нарушений в составе, толщине и режимах нанесения огнеупорного покрытия кокиля.

### **Особенности изготовления в кокилях отливок из высокопрочного чугуна.**

Литейные свойства высокопрочного чугуна с шаровидным графитом имеют ряд особенностей: линейная усадка его равна  $1,17 \dots 2,0\%$ , т. е. больше, чем у серого чугуна, поэтому для питания массивных узлов отливки используют питающие бобышки и прибыли. Однако предусадочное расширение его в  $2 \dots 3$  раза больше, чем у серого чугуна, что снижает вероятность образования в отливках горячих трещин. 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». Они 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 окислов могут попадать в отливку и ухудшать ее

механические свойства. Эти особенности литейных свойств высокопрочных чугунов учитывают при назначении технологических режимов литья.

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 через питающую бобышку или прибыли, что улучшает их питающее действие. Литниковая система должна быть тормозящей. Размеры литниковой системы определяют по формуле (2.3), принимая коэффициент расхода  $\mu = 0,18 \dots 0,39$ , 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:

без шлакоуловителя  $f_{\text{п}} : f_{\text{с}} = 1,0 : 1,1$ ;

с шлакоуловителем площадью поперечного сечения  $f_{\text{шл}}$ ,

$f_{\text{п}} : f_{\text{шл}} : f_{\text{с}} = 1 : (1,2 \div 1,4) : 1,1$ .

Температура заливки чугуна в кокиль 1570...1610 К.

Прибыли и питающие бобышки рекомендуется выполнять в песчаных стержнях. Размеры прибылей или бобышек определяют по известным методам [10,11].

Термическая обработка отливок из высокопрочного чугуна.

Отжиг отливок из чугуна с шаровидным графитом проводят для снижения внутренних напряжений: нагрев до 550...650 °С и выдержка 2...6 ч в зависимости от конфигурации и толщины стенки отливки. Нормализацию проводят для получения перлитной структуры: нагрев до 900...950 °С, выдержка 1...3 ч и охлаждение на воздухе. Для получения высоких механических свойств и пластичности проводят изотермическую закалку: нагрев до 850 °С, выдержка 2,0...2,5 ч и охлаждение в масле, при 300...350 °С.

### **Отливки из стали**

Литейные свойства сталей. Стали обладают низкими литейными свойствами: плохой жидкотекучестью, большой (до 2%) усадкой, склонностью к образованию раковин, рыхлот и трещин в отливках. Температура их заливки значительно выше, чем температура заливки серого чугуна. Все это осложняет технологический процесс литья в кокиль. Обычно в кокилях отливают углеродистые стали 20Л, 25Л, 35Л, 45Л, а также некоторые легированные стали, например 110Г13Л, 5ХНВЛ и др.

Особенности технологии литья стали в кокиль обусловлены ее плохими литейными свойствами. Основное требование к технологии заключается в создании условий направленного затвердевания и питания усадки отливки. Это достигается рациональной конструкцией отливки, которая должна быть простой конфигурации с равномерной толщиной стенок, не иметь выступающих частей, тормозящих усадку отливки; рациональной конструкцией литниковопитающей системы, которая должна создавать минимальные тепловые и гидравлические потери на пути движения жидкой стали в полость кокиля. Поэтому целесообразно использовать подвод металла сверху, через прибыли, совмещая по возможности прибыль и стояк. Прибыли выполняют только в песчаных стержнях или обеспечивают хорошую тепловую изоляцию 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 данных, указанных в таблице 2.4, так как при большой температуре снижается его стойкость, а также и пластические характеристики металла отливки. Углеродистые стали, с содержанием 0,2...0,4% углерода, заливают при температуре 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**

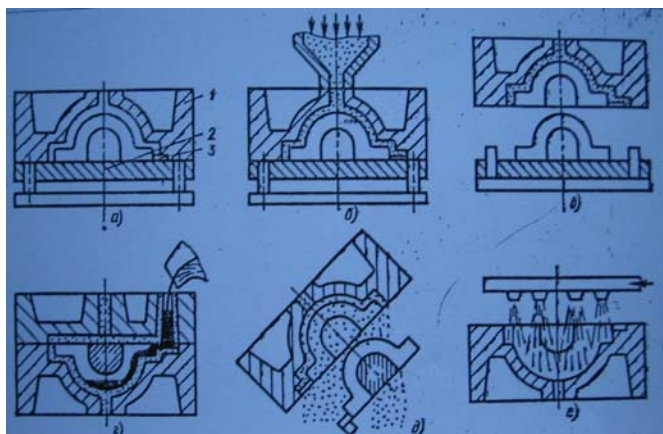


Поиски путей регулирования теплового режима взаимодействия отливки и кокиля, защиты кокиля от воздействия высоких температур при заливке чугуном и сталью привели к созданию в нашей стране нового процесса литья — литье в облицованные кокили.

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, что позволяет резко повысить термическое сопротивление переносу теплоты от отливки к стенке кокиля, снизить скорость ее охлаждения и температуру рабочей поверхности кокиля. Использование этого способа позволило гарантированно устранить отбел у чугунных отливок, а также решить проблему стойкости кокиля при изготовлении отливок из черных сплавов.

В качестве материала для облицовочного слоя используют формовочные смеси повышенной текучести: сыпучие на термотвердеющем связующем или холоднотвердеющие, а также жидкоподвижные на самотвердеющем или термотвердеющем связующем.

По существу этот способ примыкает к способам литья в разовую разъемную 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 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



**Рис. 2.21.** Последовательность изготовления отливки в облицованном кокиле:

а — нагрев кокиля; б — нанесение облицовочного слоя; в — удаление модели; г — сборка и заливка кокиля; д — удаление отливки; е — очистка кокиля.

200...220 °С. Для лучшего схватывания 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 СКТ или СКТР. После нагрева кокиль подают на позицию задува оболочковой смеси (рис. 2.21, б). Эта операция осуществляется на пескодувных машинах. Для оболочки чаще всего используют сыпучую термотвердеющую песчано-смоляную смесь с содержанием 2,0...2,5 % фенол-формальдегидного связующего. После задува смеси в пространство между кокилем и моделью смесь отверждается теплотой оснастки и кокиль с облицовкой снимают с модельной плиты (рис. 2.21, в). Для вывода воздуха из пространства между моделью и кокилем, в последнем выполняют вентиляционные каналы.

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 вдува смесь удаляют штырями-толкателями, а с рабочей поверхности — сжатым воздухом.

Особенности формирования отливок в облицованных кокилях заключаются в следующем.

1. Большая 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. Толщину слоя облицовки можно делать различной, изменяя зазор между кокилем и моделью, а значит, можно регулировать скорость охлаждения расплава и затвердевания отливки в различных ее местах — получать отливку с дифференцированными свойствами.

2. Деформация облицовки, имеющей жесткую металлическую опору — кокиль, весьма мала. Это способствует сохранению характерных для кокиля, повышенных точности отливок, плотности чугунных отливок.

3. Песчаная облицовка придаст 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 уменьшаются коробление кокиля, повышается его стойкость.

Указанные особенности формирования отливки и работы кокиля обуславливают преимущества этого технологического процесса.

К недостаткам его 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 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. 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, 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, предъявляемых к ним требований изменяется степень механизации и автоматизации процесса.

При серийном и мелкосерийном производстве крупных, сложной конфигурации отливок более эффективными оказываются автоматизированные кокильные машины или механизированные кокили. В массовом и крупносерийном производствах мелких и средних отливок более эффективно использование автоматических литейных кокильных машин, комплексов, автоматических линий.

##### **Кокильные машины**

Кокильные машины подразделяют на универсальные стационарные, нестационарные и специальные. Стационарные машины чаще всего однопозиционные, а нестационарные (карусельные) 4-х и более позиционные.

Специальные машины, часто специализированные предназначены для изготовления в массовом производстве отливок определенного типа, таких, например как поршни двигателей внутреннего сгорания крышки электродвигателей и т. д. или для крупных отливок.

Универсальные однопозиционные кокильные машины чаще используют в условиях серийного производства. Для массового и крупносерийного производства более эф-

эффективно применение многопозиционных машин карусельного типа, а также конвейерных кокильных линий. Эти машины имеют более высокую производительность вследствие совмещения во времени операций технологического процесса, занимают небольшую площадь, имеют малые энергозатраты; 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 размерами от 400x500 до 1000x1250 мм в плане. Гамма машин соответствует основным типам кокилей, рассмотренных на рис. 2.4 и включает следующие типы:

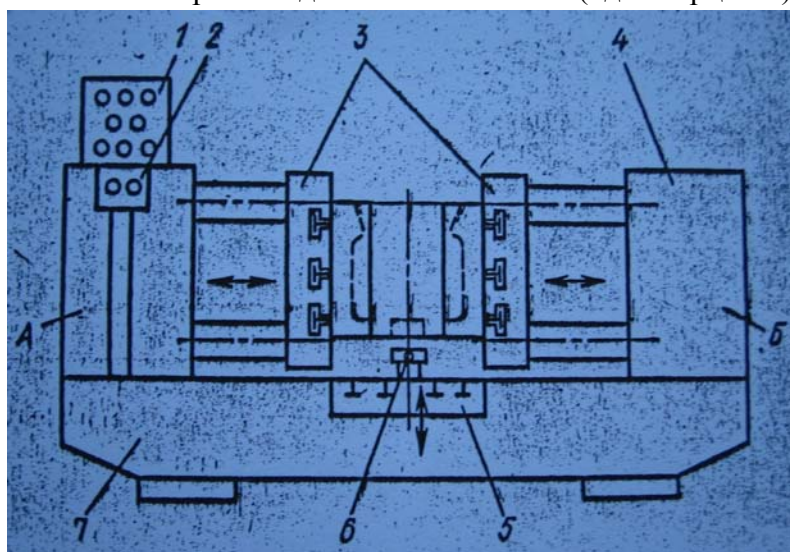
I - с вертикальным или горизонтальным разъемом кокиля, с одной подвижной плитой (Рис. 2.4, а, б).

II - с вертикальным разъемом кокиля и двумя подвижными плитами (Рис. 2.4 в)

III - с вертикальным разъемом кокиля, с двумя подвижными плитами, поддоном и механизмом удаления нижних стержней.

IV - с двумя подвижными плитами и поддоном, с нижним и верхним металлическими стержнями (четыре подвижные плиты Рис. 2.4 е)

V - с тремя подвижными плитами (одна торцевая) с поддоном, нижним и верхним



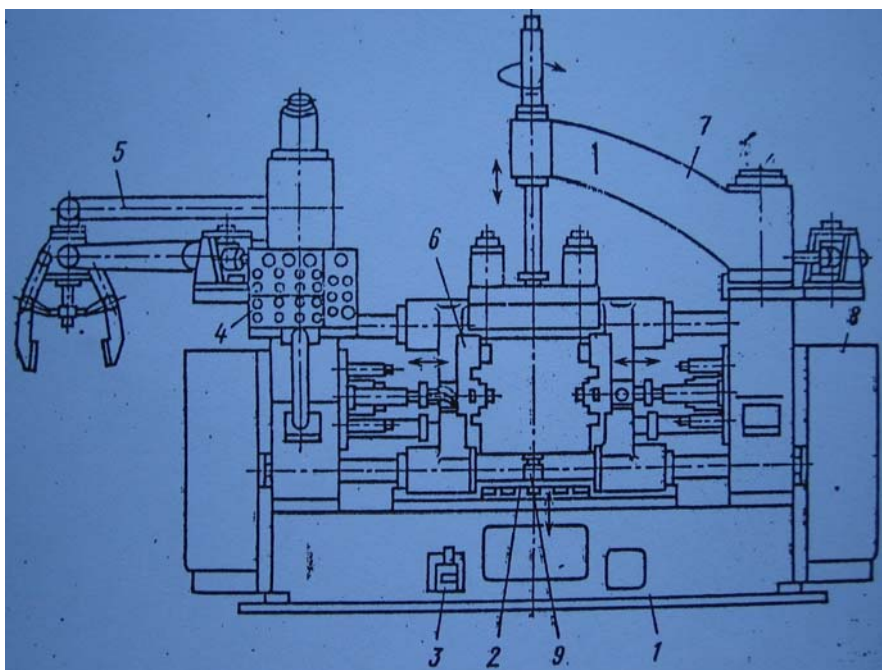
металлическими стержнями ( пять подвижных плит Рис. 2.4 ж).

Эти машины обеспечивают широкие возможности получения отливок сложной конфигурации.

**Рис. 2.22.** Кокильная машина III типа: 1 – наладочный пульт; 2 – рабочий пульт; 3 – подкокильные плиты; 4 – гидроагрегат; 5 – нижняя плита; 6 – механизм нижнего стержня; 7- станина.

Большими технологическими возможностями обладают машины II 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 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.





**Рис. 2.23.** Кокильная машина IV типа: 1 – станина; 2 – нижняя плита; 3 – панель управления; 4 – пульт; 5 – съемник отливок; 6 – подкокильная плита; 7 – механизм верхнего стержня; 8 – гидроагрегат; 9 – механизм нижнего стержня.

Для изготовления отливок более сложной конфигурации предназначены машины III типа. На этих машинах можно изгото-

товлять 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 выталкиватели фиксируют отливку на поддоне и она удаляется съемником 5, 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, имеющей возможность поворачиваться вокруг вертикальной колонны на  $90^\circ$ .

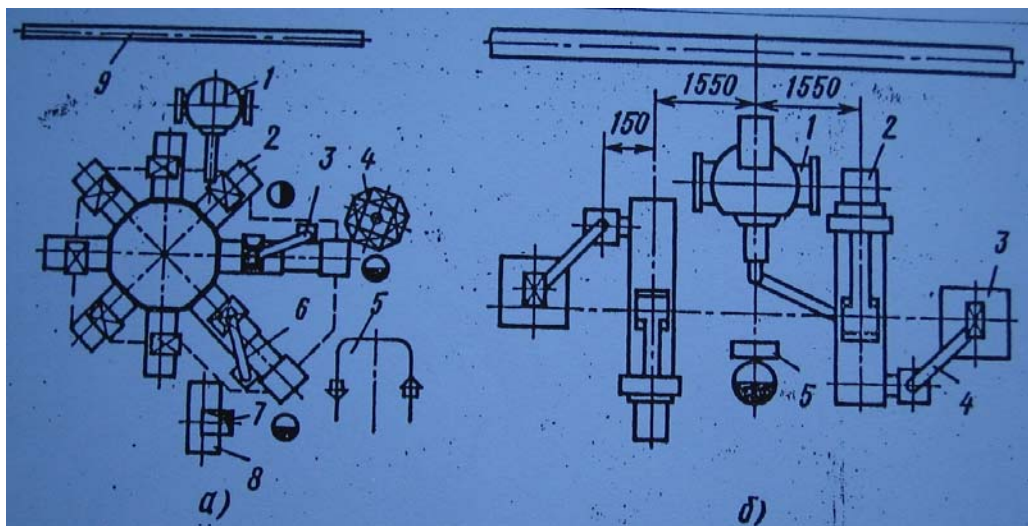
Машины IV типа предназначены для изготовления особо сложных (оребранных, с глубокими полостями) отливок.

Машины универсальной гаммы работают в наладочном и в полуавтоматическом режимах; в каждом цикле сборка кокиля, выдержка отливки при затвердевании, извлечение металлических стержней, раскрытие кокиля, выталкивание отливки или съем 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 запираания 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, извлечения отливки и другие операции. Такие машины часто используют в составе автоматизированных литейных комплексов.



**Рис. 2.24.** Схемы автоматизированных литейных комплексов литья в кокиль на базе: а – восьмипозиционной карусельной машины; 1 – дозатор; 2 – кокильная машина; 3 – манипулятор установки стержней; 4 – магазин стержней; 5 – конвейер для отливок; 6 – манипулятор извлечения отливок; 7 – тара для литниковых систем; 8 – пресс; 9 – монорельс;

б – однопозиционной машины; 1 – дозатор; 2 – кокильная машина; 3 – тара для отливок; 4 – манипулятор; 5 – пульт управления.

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 отливка, раскрытия кокиля отливка манипулятором 4 передается в тару 3. Комплекс управляется оператором с пульта 5.

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 делают двух-, трех-, четырехпозиционными. Это позволяет путем совмещения времени операций технологического процесса повысить производительность.

**Кокильные конвейеры** применяют в массовом производстве однотипных отливок, например фасонных отливок сантехники, а также для изготовления отливок с различной серийностью выпуска, разной массы. Основные их преимущества — высокая производительность, возможность организации потока при производстве разногабаритных отливок широкой номенклатуры.

Кокильные конвейеры могут быть горизонтально-замкнутыми и вертикально-замкнутыми.

**Автоматизированные линии литья в кокили** применяют в массовом и крупносерийном производстве. Эти линии специализированные, предназначенные для изготовления одной отливки или 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 очистки 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 термоотверждающей 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 1000х1000х200/200 до 1300х700х250/250 мм, имеет металлоемкость форм 100...200 кг; производительность 12...29 тыс. т отливок в год; ее обслуживают восемь операторов.

### **Механизация и автоматизация заливки кокилей**

Механизация и автоматизация заливки форм, являющиеся элементами комплексного решения проблемы автоматизации производства отливки, позволяют уменьшить потери металла па сливы и сплески, сократить брак отливок вследствие нарушения режимов, наблюдаемого при ручной заливке, уменьшить массу литниковой системы, повысить точность отливок. 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 для автоматизации. Это объясняется тем, что для нормальной (без недоливов и переливов, сплесков), заливки формы расход из ковша должен изменяться по сложному закону. В начале 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 и в конце заливки во избежание перелива расплава расход уменьшается. Каждая форма с рабочей полостью и литниковой системой требует соблюдения вполне определенного оптимального режима заливки, несоблюдение которого может привести к браку отливок.

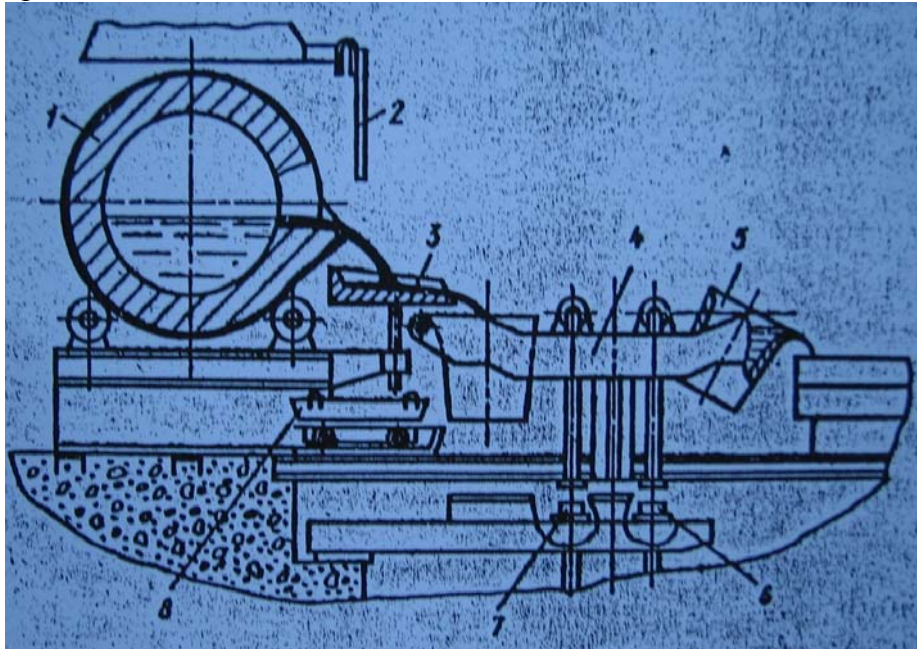
Все это определяет требования к системе заливочное устройство — форма при автоматизации заливки: кокиль и заливочное устройство должны строго фиксироваться в пространстве друг относительно друга; положение чаши, выпоров или прибылей и их размеры должны быть унифицированы для различных отливок; заливочное устройство должно обеспечить точное соблюдение закона изменения расхода и иметь погрешность дозирования (отклонение массы расплава от заданной) не более 2...3%; отсутствие в расплаве неметаллических включений, пленок окислов; 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.

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.

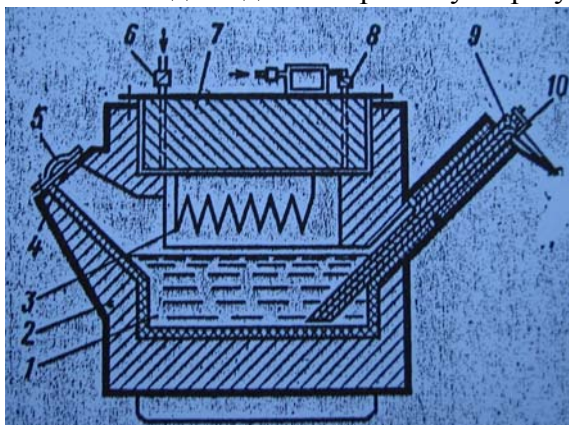
Для автоматизации заливки форм алюминиевыми сплавами используют установки с пневмовыдачей дозы, черпакового типа, магнитодинамические. Последние используют также при литье магниевых сплавов.



**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 расплава.

Заливочные установки с наклоняемой емкостью (рис. 2.25) предназначены для заливки в кокиль чугуна. В состав этих установок входят обогреваемый газом миксер 1, поворотная рама 4, на которой установлены два ковша 5, гидроцилиндры 6 и 7 поворота ковша, привода 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 ковш 5 наклоняется гидроцилиндром 6 и чугун поступает в кокиль. По достижении уровнем контактного датчика, установленного в кокиле, подается команда на реверс ковша. Точность дозирования 2...3% при дозе 4...5 кг. После опорожнения ковша рама 4 вновь поворачивается; остатки чугуна сливаются из ковша в изложницу 8, ковш поворачивается гидроцилиндром 7. Для защиты работающих от излучения установлен экран 2. Производительность установки до 200 заливок в час при дозе 4...5 кг и вместимости ковша 75 кг. В НИИСЛ (г. Одесса) разработана гамма таких установок с ковшами вместимостью 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 и простоту ее регулировки.

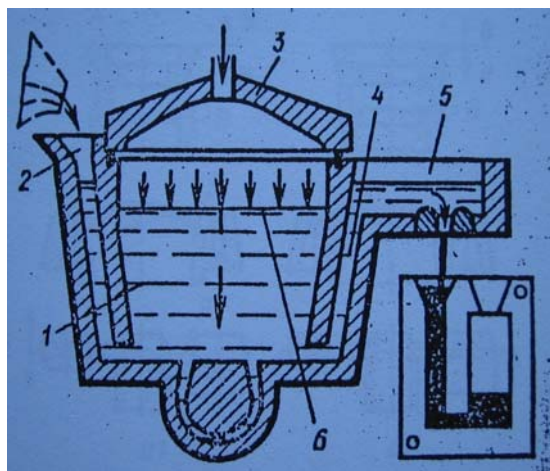


**Рис. 2.26.** Пневматический дозатор для алюминиевых сплавов: 1 – расплав; 2 – электронагреватель сопротивления; 3 – спираль; 4 – окно; 5 – крышка; 6 – клапан; 7 – крышка печи; 8 – клапан; 9 – сливной насадок; 10 – электроконтакт.

Электрическая печь сопротивления 2, обогреваемая спиралью 3, герметически закрывается крышкой 7. Расплав 1 заливается в предварительно

разогретый дозатор через окно 4, также герметически закрывающееся крышкой 5. Для выдачи дозы через клапан 6 внутрь дозатора подается сжатый воздух под таким давлением, что расплав поднимается по обогреваемому металлопроводу до уровня сливного насадка 9, замыкает электроконтакт 10, подающий сигнал на открытие клапана 8, через который в дозатор дополнительно впускается воздух при определенном давлении. Под действием давления воздуха в течение определенного времени доза сплава вытекает через калиброванное отверстие насадка 9 в кокиль. Точность выдачи дозы составляет 5% при массе дозы 0,2...5 кг. Такие дозаторы используют также для автоматизации заливки при литье под давлением.

Преимуществом дозаторов этого типа является отсутствие подвижных частей, соприкасающихся с расплавом, а также сифонная выдача наиболее чистой расплава. Однако, эти дозаторы имеют недостатки: недолговечность металлопровода, большое зеркало расплава, соприкасающееся с воздухом, сравнительно низкая точность дозирования, особенно для малых доз, большая инерционность (продолжительность набора и сброса давления в камере).



*Рис. 2.27. Пневматический дозатор для чугуна: 1 – расплав; 2 – заливочный металлопровод; 3 – крышка; 4 – выпускной металлопровод; 5 – камера; 6 – подача воздуха.*

Для заливки чугуна используют пневматические дозаторы, схема которых приведена на рис. 2.27. Основа установки — каналная индукционная печь промышленной частоты. Ванна 1 и окно для скачивания шлака герметизированы. Печь имеет два металлопровода: заливочный 2 и выпускной 4. Они образуют сифон, поэтому выдаваемый из установки

чугун практически не имеет шлаковых включений.

Перед началом работы дозатор заполняется расплавом через заливочный металлопровод 2. Для выдачи дозы через отверстие в крышке 3 внутрь камеры печи подается сжатый воздух, под действием которого на зеркало расплава чугун 6 поднимается в выпускном 4 и заливочном 2 металлопроводах. Через металлопровод 4 чугун подается в камеру 5 с калиброванной сливной втулкой. Расплав дозируется по уровню его в форме или по времени заливки. Массовый расход регулируется изменением уровня расплава над сливным отверстием или сменой сливных втулок с калиброванными отверстиями. Для поддержания постоянного уровня в камере 5 имеются электроконтактные датчики. После выдачи дозы сжатый воздух из установки выпускается и расплав по металлопроводам сливается 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 каналных индукторов и герметизации крышки, большая инерционность, возможность окисления расплава при длительном контакте зеркала расплава с воздухом

**Магнитодинамические дозаторы.** 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.

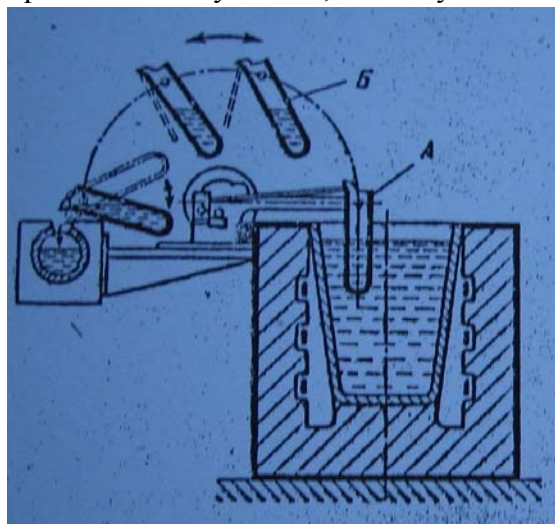
Неметаллические включения и шлак, находящиеся в расплаве, обладают низкой электропроводностью, поэтому вихревые токи в них не возникают, вследствие чего эти частицы



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. Преимуществами этих дозаторов являются простота и надежность устройства, возможность точной регулировки движений, достаточно высокая (до 3%) точность дозировки, независимость от конструкции раздаточной печи, малая энергоемкость. Вместе с тем, они имеют недостатки: быстрое изнашивание мерного ковша; возможность захвата пленок окислов с зеркала расплава. Однако эти дозаторы просты в эксплуатации, поэтому их достаточно широко применяют для автоматизации заливки кокилей, а также при литье под давлением.



*Рис. 2.28. Схема работы черпакового дозатора: а – мерный ковш; б – отверстие в ковше.*

На рис. 2.28 представлена схема работы черпакового дозатора. Мерный ковш *А* цилиндрической формы с удлиненным носком выполнен из огнеупорного материала. В цилиндрической стенке ковша имеется отверстие *Б* 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 *Б* 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 распыливанием 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 форсунками. Устройства с неподвижными форсунками используют в основном для кокилей с неглубокими рабочими полостями, простой конфигурации, а 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, впрочем, и 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 второй задачи, как показывает практика, всегда оказывается более сложным, чем решение первой. 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 (температура заливки расплава, температура кокиля, свойства его материала, толщина и свойства огнеупорного покрытия, толщина стенки отливки, свойства 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, 19, 20].

Методы и средства решения задачи автоматизации управления технологическим процессом являются общими для различных способов 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.

Проф. Г. А. Шаумян, разрабатывая вопросы теории автоматизации машиностроения, выдвинул мысль, заключающуюся в 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.

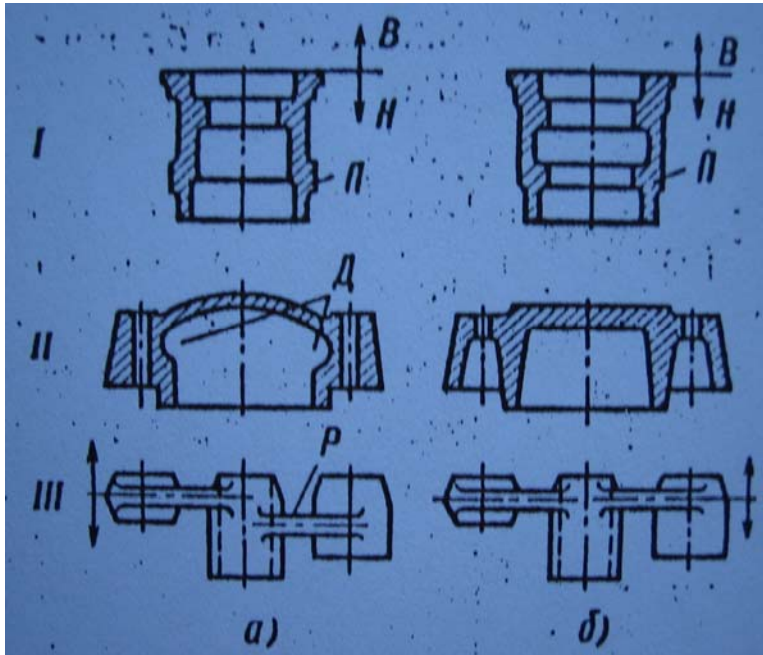
## 2.5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

**Анализ технологичности конструкции отливки** проводят с учетом общих требований, которым должны удовлетворять отливки, изготавливаемые в металлических формах.

1. Отливки должны иметь, 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 поясok П на отливке (рис. 2.29, а, I) препятствует ее извлечению из кокиля при горизонтальной плоскости разъема, а при разьеме по варианту, указанному на чертеже, удобно подвести расплав в форму и 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.



**Рис. 2.29.** Конструкции кокильных отливок: а – неправильные; б – правильные.

3. Отливки не должны иметь поднутренный Д в полости (рис. 2.29, а, II), так как при их отсутствии (рис. 2.29, б, II) возможно применение неразъемных металлических стержней.

4. Разъем кокиля должен быть плоским, что удешевляет его изготовление и повышает точность отливки (рис. 2.29, б, III).

Например, ребро Р на отливке (рис. 2.29, а, III) не позволяет сделать разъем кокиля плоским. Пло-

ский разъем кокиля можно сделать, изменив конструкцию отливки (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 таблице 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 округлений 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).

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** производят 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.

Выбор положения отливки в форме. Положение отливки в кокиле должно обеспечить: условия для ее направленного затвердевания и питания; возможность направленного удаления воздуха и газов из кокиля при заполнении его расплавом; извлечение отливки из кокиля при минимальном числе его разъемов, минимальном количестве стержней и вкладышей и надежном креплении частей и стержней кокиля перед заливкой; расположение баз для обработки резанием в одной половине кокиля. Предпочтительно располагать цилиндриче-



ские 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 нормальями.

**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, температуры заливки сплава и металлической формы корректируют и согласовывают на основе анализа качества отливки — заполняемости формы, наличия в отливке усадочных дефектов — раковин, пористости, трещин. Температуру заливки следует корректировать с учетом потерь теплоты при движении расплава в каналах дозатора или иного автомата 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 диаграммой (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 известные методы тепловой теории литья [1, 15].

**Таблица 2.6.** Рекомендуемые толщины стенок отливок

Сплавы	Площадь поверхности стенки, см <sup>2</sup>	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

**Таблица 2.7. 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
Сплавы			
Чугун при высоте 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.

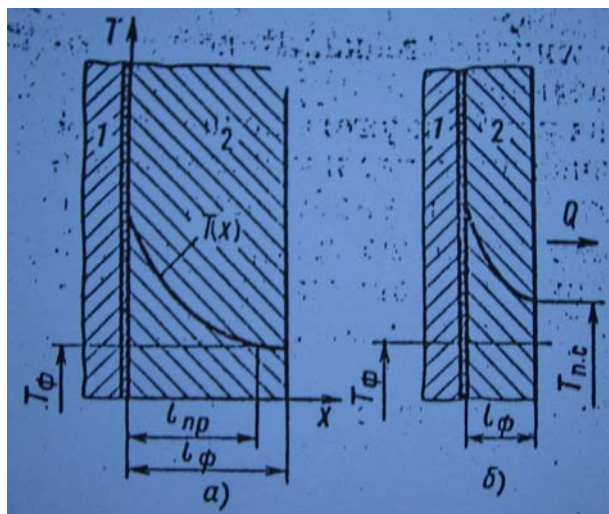
Конструирование кокиля. Разъем кокиля всегда стремятся выполнять плоским, обеспечивающим возможность точной пригонки частей, удобство и простоту обработки при изготовлении и эксплуатации. Число подвижных и съемных частей должно быть минимальным, иначе возрастает стоимость кокиля, усложняется его изготовление, 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 установки па машины) с воздушным охлаждением определены соответствующими ГОСТами.

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 друг к другу; места их сопряжения со стенкой кокиля выполняют галтелями большого радиуса. Размеры и расположение ребер жесткости оговорены ГОСТами.

Толщина стенок кокиля должна обеспечивать конструктивную прочность жесткость, а также необходимые условия охлаждения и затвердевания отливки.



**Рис. 2.30.** Схемы распределения температур в стенке кокиля:

*а* – массивного; *б* – тонкостенного; *1* – отливка; *2* – кокиль.

Если толщина  $l_\phi$  стенки кокиля равна глубине  $l_{пр}$  прогрева ее теплотой отливки и более ее, то температура  $T_\phi$  внешней поверхности кокиля практически не изменится (рис. 2.30,а). Если толщина стенки кокиля меньше глубины прогрева, то температура  $T_{п.с.}$  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, оно 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, ее не следует делать больше возможной глубины прогрева за время затвердевания отливки. Различное влияние толщины стенки кокиля объясняется соотношением способности формы аккумулировать теплоту и отдавать ее в окружающую среду.

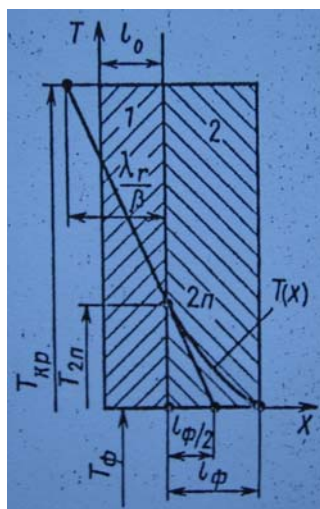
При затвердевании отливок из сплавов с относительно невысокой температурой плавления уменьшение толщины стенки кокиля заметно снизит теплоаккумулирующую способность формы, а увеличение передачи теплоты излучением и конвекцией в окружающую среду вследствие повышения температуры внешней поверхности  $T_{з.п.}$  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 конвекцией (практически пропорционально), по сравнению с уменьшением теплоаккумулирующей способности более тонкой стенкой 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.



**Рис. 2.31.** Схема к расчету толщины стенки кокиля: 1- отливка; 2 – кокиль ( $\lambda_r = \lambda_2$ )

Рассчитаем глубину прогрева стенки кокиля толщиной  $l_\phi$ , м, за время затвердевания отливки толщиной  $2l_0$ , м (рис. 2.31). В результате прогрева стенки кокиля в ней к концу затвердевания отливки установится некоторое распределение температуры  $T(x)$ . Касательная к кривой этого распределения в точке  $2n$  пересечет прямую  $T_{кр}=(1/2)(T_L+T_s)$  на расстоянии  $\lambda_2/\beta$  от внутренней поверхности формы. Количество теплоты, аккумулированное формой через единицу поверхности, выражается площадью под кривой распределения температуры. Если приближенно 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 [2], относительная температура  $T_{2n}$  внутренней поверхности кокиля составит

$$T_{2n}-T_\phi=3Q_1/(\rho_\phi c_\phi l_\phi), \quad (2.7)$$

где  $T_\phi$  — начальная температура формы,  $c_\phi$  — теплоемкость материала формы;

$Q_1$ —теплота, выделенная отливкой и аккумулированная формой за время затвердевания отливки

$$Q_1=l_0 \rho [c_1(T_{зал}-T_{кр})+L]. \quad (2.8)$$

Из геометрических соображений

$$T_{2n}-T_\phi=(T_{кр}-T_\phi)/[1+2\lambda_2/(\beta l_\phi)].$$

Приравняв правые части (2.7) и (2.8) и решив полученное квадратное уравнение относительно  $l_\phi$  находим

$$l_\phi=(1/2)D[1+\sqrt{1+(8/D)(\lambda_2/\beta)}]. \quad (2.9)$$

где

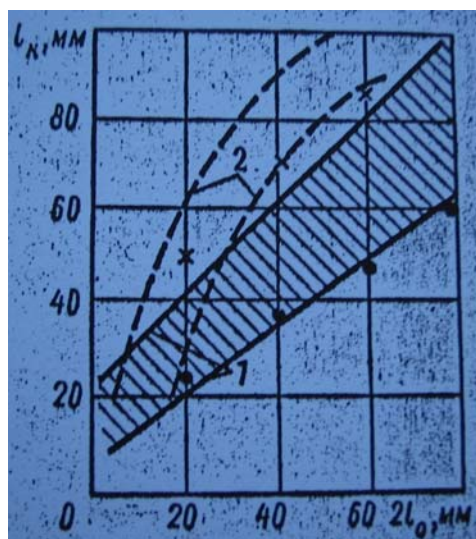
$$D=3l_0\rho[c_1(T_{зал}-T_{кр})+L]/[\rho_\phi c_\phi(T_{кр}-T_\phi)].$$

Толщину стенки кокиля с учетом глубины  $l_\phi$  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 предлагает определять толщину (мм) стенки кокиля для отливок из чугуна по формуле

$$l_k=13+0,6l_0. \quad (2.10)$$



Согласно ГОСТ толщина стенок кокиля определяется по графической зависимости (1), приведенной на рис. 2.32. Для кокилей из сталей и высокопрочного чугуна толщину стенки кокиля принимают ближе к нижней границе заштрихованной области.

**Рис. 2.32.** Диаграмма для выбора толщины стенки кокиля:  
1 – по ГОСТ 16237-70; 2 – по ГОСТ 21093-75;  
расчет по формулам \* - (2.9) и • - (2.10).

На этом же графике приведены результаты расчетов по формулам (2.9), (2.10). Как следует из сопоставления изложенных методов определения толщины  $l_k$  стенки кокиля формула (2.10) дает минимальные значения, а формула (2.9) максимальные значения, рекомендуемые ГОСТ. Для

мало теплонагруженных кокилей при изготовлении отливок из чугуна можно пользоваться формулой (2.10). Для отливок из легких сплавов целесообразно пользоваться методом расчета, рекомендованным проф. А. И. Вейником.

Определение усилия запираения 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 запираения кокиля должен предотвратить деформацию кокиля и образования 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; 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 по рисунку 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:

$$P=2g\rho HFk, \quad (2.11)$$

где  $\rho$  — плотность расплава;  $H$  — расстояние от уровня расплава в литниковой чаше до центра тяжести сечения отливки в плоскости разьема формы;  $k$  — коэффициент запаса,  $k=2\dots 3$ ;  $F$  — площадь этого сечения отливки.

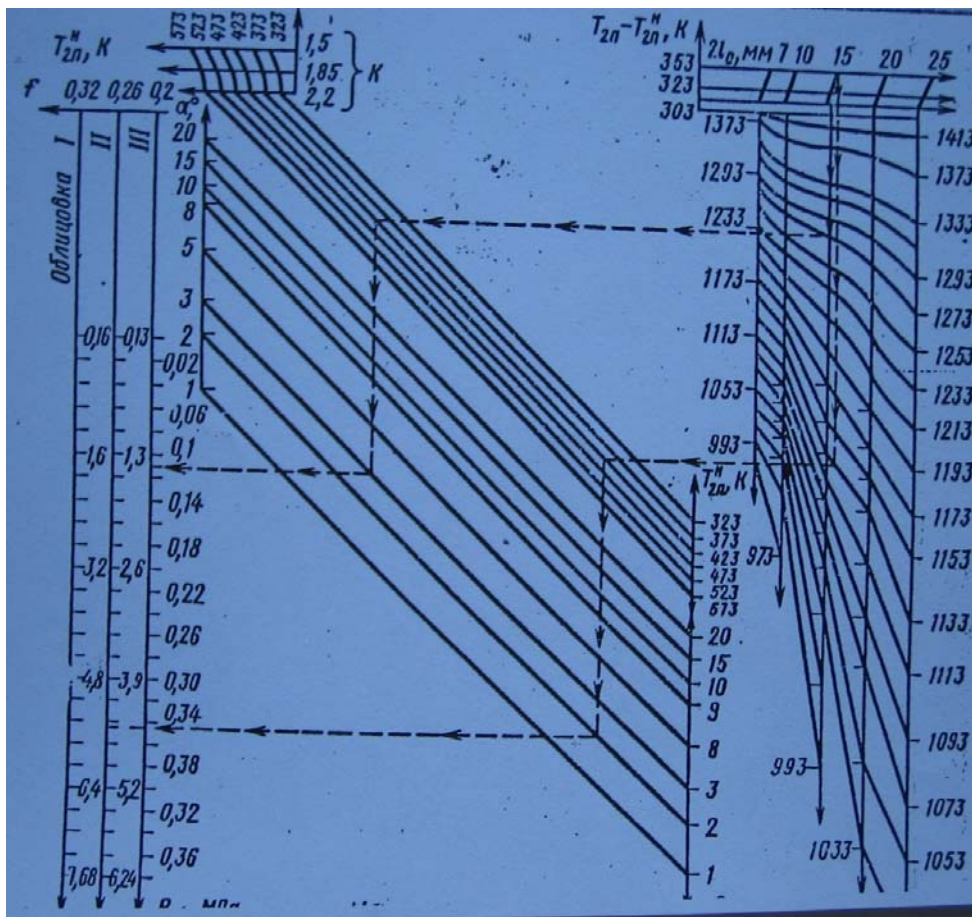
На основе результатов расчета проверяются возможность обеспечения необходимого усилия механизмом кокильной машины.

Вентиляционную систему кокиля 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 [15] показывает, что опасность возникновения газовой пористости в отливках по этим причинам не возникает, если площадь сечения вентиляционных каналов  $S_v = 1,25S_n$ . ( $S_n$  — площадь поперечного сечения питателей). Размеры и форму вентиляционных каналов и пробок выполняют по ГОСТам.

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 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 и температуры 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





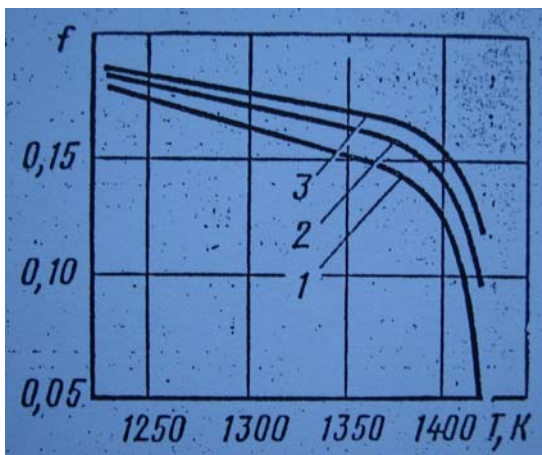
**Рис. 2.33.** Номограмма для определения усилий извлечения цилиндрических металлических стержней из отливок.

усилие извлечения возрастает.

Для расчетов усилий извлечения круглых металлических стержней из отливок из 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  $K$  средней толщины стенки кокиля к средней толщине стенки отливки; конусность  $\alpha^0$  стержня, градусы; 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 облицовки (стержень смазан машинным маслом). III—графит + бентонит. Коэффициенты трения для других составов облицовки приведены на рис. 2.34.



**Рис. 2.34.** Температурная зависимость коэффициентов трения для разных составов покрытий стержня: 1 — машинное масло; 2 — ацетиленовая копоть; 3 — маршалит, жидкое стекло.

Величины  $2l_0$ ,  $K$ ,  $\alpha^0$  определяют из чертежа отливки и кокиля; состав покрытия и соответственно значение  $T_{2n}$  — по рекомендациям таблицы 2.3; величину  $f$  — по рекомендациям рис. 2.34; величина  $T_1 = 1135 \dots 1273 \text{ K}$  ( $862 \dots 1000^\circ \text{C}$ ) и 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  $T_{2n}$  в пределах

303...353 K (30...80<sup>0</sup>C), так как  $T_{2n}$ , несущественно влияет на удельное усилие  $P_{уд}$  извлечения стержня.

Последовательность определения удельного усилия извлечения стержня показана на номограмме (см. рис. 2.33) стрелками для двух случаев:

- 1)  $2l_0=15$  мм;  $k=1,5$ ;  $\alpha^0=3^\circ$ ;  $T_{2n}^n=373$  K (100<sup>0</sup>C);  $T_{2n}=423$  K (150<sup>0</sup>C);  $T_1=1273$  K (1000<sup>0</sup>C);  $f=0,2$ ;
- 2)  $T_{2n}=453$  K (180<sup>0</sup>C);  $T_1=1133$  K (860<sup>0</sup>C);  $\alpha^0=2^\circ$ ;

остальные параметры находят по предыдущему примеру.

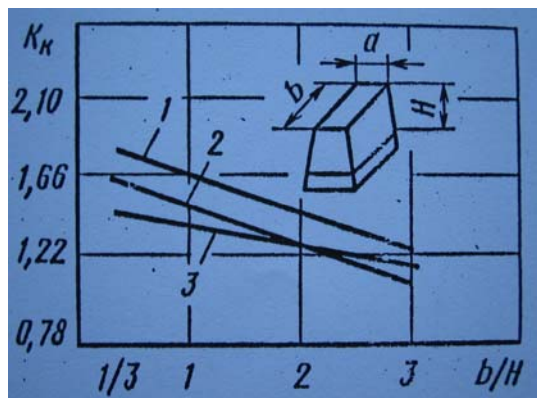
Анализ результатов расчета  $P_{уд}$  по номограмме (см. рис. 2.33) показывает, что наибольшее влияние на величину  $P_{уд}$  оказывает температура  $T_1$  отливки в момент извлечения стержня. Удельное усилие  $P_{уд}$  (МПа) отнесено к единице поверхности стержня. Фактическое усилие ( $P$ ) извлечения стержня  $P=P_{уд}F_{пов}$  (где  $F_{пов}$  — площадь поверхности стержня).

Для определения усилия извлечения призматических стержней найденную по номограмме (см. рис. 2.33) величину  $P_{уд}$  умножают на коэффициент  $K_k$  зависящий от конструкции и размеров стержня. На рис. 2.35 прямая 1 соответствует отношению  $1,5 > b/a > 1$ , прямая 2 — для круглых стержней; прямая 3 -  $b/a \geq 3$  ( $a$  — ширина,  $b$  — длина),  $H$  — высота стержня.

Значения  $P_{уд}$  могут быть использованы и для расчета усилий съема отливки с выступающих частей кокиля, например с цилиндрических или призматических.

Конструкции выталкивателей и контрвыталкивателей выполняют в соответствии с рекомендациями ГОСТов.

Материалы рабочих стенок кокиля и конструктивных деталей выбирают на основе рекомендаций, приведенных в разделе 2.2 и назначают технологию изготовления форм



**Рис. 2.35.** Графики для определения коэффициента формы  $K_k$  призматического стержня: 1 —  $1,5 > b/a > 1,0$ ; 2 — для круглых стержней; 3 —  $b/a \geq 3$ .

мообразующих деталей кокиля, соответствующие режимы термической обработки или повышения его 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 гаммы универсальных одно- или многопозиционных (карусельных) машин. Для оценки возможности использования машины он сопоставляет полученные им результаты расчетов и конструктивные данные о числе и направлениях разъема кокиля, числе стержней и направлениях их извлечения, габаритах кокиля, усилиях запиранья 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 выталкивателей, усилиями, развиваемыми механизмами перемещения плит и стержней, выталкивания отливки и т. д.

Средства автоматизации околос машинных 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 усилие съема отливки, ее извлечения из кокиля, определяющие надежность работы оборудования.

Наибольшую эффективность производства и высокое качество отливок можно достичь 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 (единой системы конструкторской и технологической документации; соответственно), соответствующих ГОСТов и СТП (стандартов предприятия).

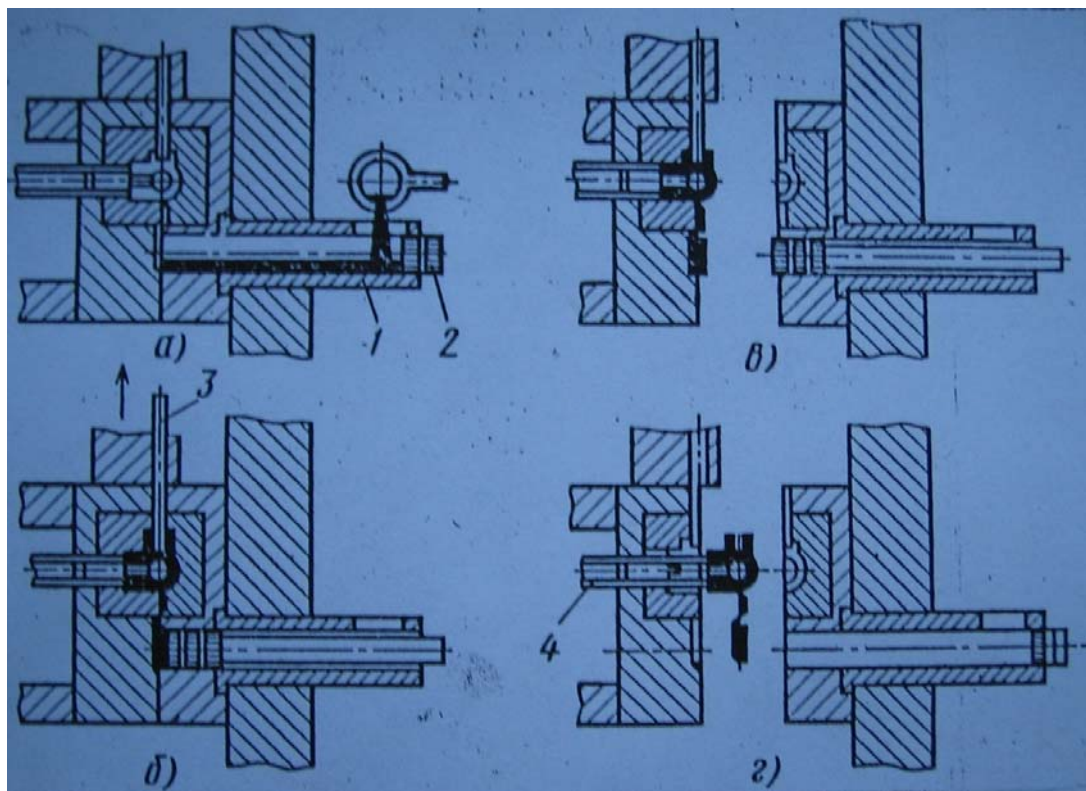


## ГЛАВА 3. ЛИТЬЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

### 3.1. СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА. ОСНОВНЫЕ ОПЕРАЦИИ. ОБЛАСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Сущность литья под давлением заключается в том, что принудительное заполнение рабочей полости металлической пресс-формы расплавом и формирование отливки происходит под действием пресс-поршня, перемещающегося в камере прессования, заполненной расплавом. В отличие от кокиля рабочие поверхности пресс-формы, контактирующие с отливкой, не имеют огнеупорного покрытия. Это требует кратковременного заполнения пресс-формы расплавом и действия на кристаллизующуюся отливку избыточного давления в сотни раз превосходящего гравитационное. Современный процесс реализуется на специальных гидравлических машинах и позволяет получать от нескольких десятков до нескольких тысяч отливок различного назначения в час, с высокими механическими свойствами, с низкой шероховатостью поверхности и размерами соответствующими или максимально приближенными к готовой детали. Толщина их стенки 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.

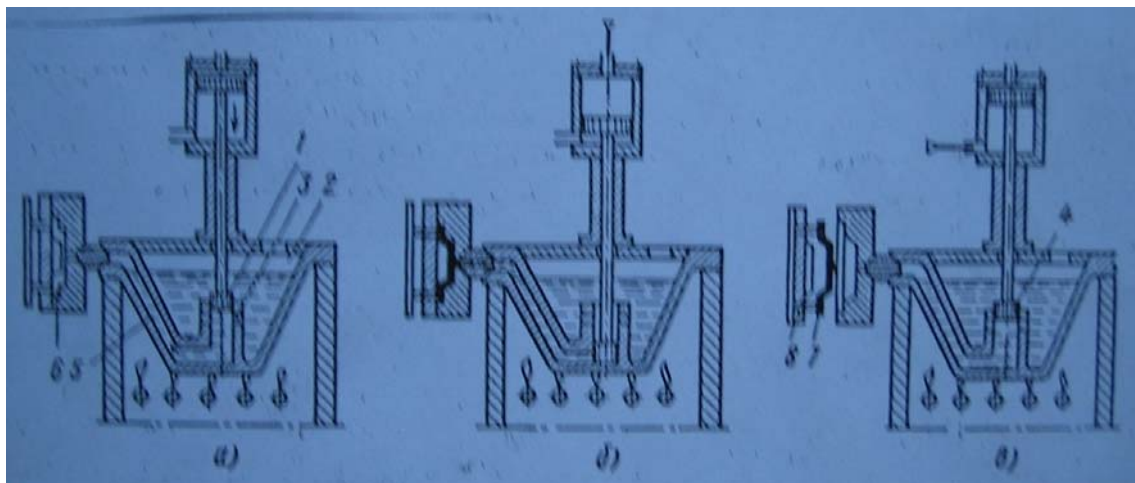


**Рис. 3.1.** Схема технологического процесса литья под давлением на машине с холодной камерой прессования: а - подача расплава в камеру прессования; б - запрессовка; в - раскрытие пресс-формы; г - выталкивание отливки; 1 - пресс-форма; 2 - камера прессования; 3 - пресс-поршень; 4 - стержень; 5 - выталкиватели.

Основные операции технологического процесса:

- 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 2 подается доза расплава. Затем под действием пресс-поршня 3, перемещающегося в этой камере посредством механизма прессования, через кана-

лы литниковой системы расплав заполняет рабочую полость пресс-формы (Рис.3.1, б). После затвердевания и охлаждения отливки до определенной температуры происходит извлечение стержней 4 и раскрытие пресс-формы (Рис.3.1, в), а затем механизмом выталкивания и толкателями 5 отливку удаляют из пресс-формы. Механизмы машины приходят в исходное состояние. Отделение от отливки литников и заливок происходит, как правило, с помощью обрезающего пресса расположенного около литейной машины, а может и механизмами пресс-формы. На этом рабочий цикл завершается;



**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 - тигель с расплавом; 3 - заливочное отверстие; 4 - пресс-поршень; 5 - обогреваемый канал; 6 - пресс-форма; 7 - отливка; 8 - выталкиватели.

- на машинах с горячей камерой прессования, особенность технологического процесса обусловлена тем, что камера прессования 1 (Рис.3.2, а) располагается в тигле 2 и сообщается с ним заливочным отверстием 3. Через это отверстие, при исходном положении пресс-поршня 4, расплав самотеком поступает из тигля в камеру прессования. После перекрытия пресс-поршнем заливочного отверстия расплав по обогреваемому каналу 5 поступает в рабочую полость пресс-формы 6 (см. Рис.3.2, б). Рабочий цикл завершается после возврата пресс-поршня в исходное положение, слива остатков расплава из канала 5 в камеру прессования, раскрытия пресс-формы и удаления из нее отливки 7 толкателями 8 (см. Рис.3.2, в).

Таким образом, процесс литья под давлением реализуется только на специальных машинах. Это создает предпосылки 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. В машиностроении этот процесс начали применять с 1849 г. для изготовления мелких деталей из оловянно-свинцовых, а с 60-х годов и цинковых 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 в машиностроении способствовало то, что процесс литья под давлением отличался малооперационностью и высокой производительностью, а получаемые при этом отливки низкой шероховатостью поверхности, мелкозернистой структурой и более высокими механическими свойствами по сравнению с отливками, получаемыми в песчаных формах.

В конце 19 века 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 20-е годы прошлого века литье под давлением стали применять в точном машиностроении и приборостроении. Появляются поршневые машины с горячей камерой прессования полуавтоматического и автоматического действия. Дальнейшее развитие получают компрессорные машины, в которых для повышения давления на расплав и снижения вероятности разрыва используется 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 значение. Затруднения при изготовлении отливок из алюминиевых сплавов на машинах с горячей камерой прессования привели к созданию в 1924 г. фирмой «Ekkert» (Германия) и в 1928 г. фирмой «Polak» (Чехословакия) машин с холодной камерой прессования. Их широкому распространению способствовало то, что они позволили повысить давление прессования, снизить вероятность заклинивания пресс-поршня в камере прессования (за счет меньшего проникновения 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 малооперационность, растущие потребности промышленности в массовом производстве высокоточных заготовок приводят к постоянному расширению номенклатуры получаемых литьем под давлением отливок как по материалам, так 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, изделий авиационно-космического назначения и др., в том числе и для отливок, подвергающихся упрочняющей термообработке и работающих при высоких температурах.

**Особенности формирования и качество отливок.** При литье под давлением основные показатели качества отливки — точность размеров, шероховатость поверхности, механические свойства, плотность и герметичность — определяются 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 от 0,02 до 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 способствует получению отливок с низкой шероховатостью поверхности.

2. Материал пресс-формы негазопроницаем. 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, препятствуют заполнению пресс-формы и попадают в расплав. Это приводит к образованию неслитин, неспаев, раковин и газовой пористости в отливках. Газовоздушная пористость уменьшает плотность отливок, снижает их герметичность и пластические свойства. Воздух, газы, продукты разложения смазочного материала, находящиеся в порах отливки под высоким давлением, затрудняют ее термическую обработку: при нагреве отливки ее прочность снижается, а давление

газов в порах повышается, что вызывает коробление отливки, на ее поверхности появляются пузыри.

Для снижения газовой пористости в отливках используют различные технологические приемы, а также специальные способы литья под давлением (см. раздел 3.2).

3. Высокая интенсивность теплового взаимодействия между материалом отливки и пресс-формой, обусловленная ее высокой 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. В момент окончания заполнения пресс-формы, давление на расплав в камере прессования, развиваемое пресс-поршнем, передается на расплав в полости формы. Это улучшает питание усадки отливки, способствует уменьшению усадочной пористости, сжатию газовоздушных включений. В результате возрастают плотность, герметичность и механические свойства отливки. Однако это давление на расплав в пресс-форме действует до тех пор, пока питатель не затвердеет, поэтому эффективность действия подпрессовки ограничена.

5. Использование металлической пресс-формы с точными размерами и низкой шероховатостью рабочих поверхностей, давление на затвердевающую отливку способствуют получению высокоточных отливок по массе, геометрии и размерам. Высокая точность размеров отливок (1...4 класс по ГОСТ 26645-85) 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  $R_z = 160...80$  мкм (из сплавов на основе меди) до  $R_a = 1,00...0,32$  мкм (из цинковых сплавов).

**Эффективность производства и область применения.** Эффективность производства отливок под давлением зависит от того, насколько полно используются его преимущества и как правильно учтены недостатки и особенности процесса в условиях конкретного производства.

Опыт производства отливок под давлением указывает на следующие его преимущества:

- 1) возможность изготовления отливок с малой толщиной стенок (менее 1 мм) значительной площади;
- 2) повышение качества отливок: отливка получается с высокой точностью размеров и низкой шероховатостью поверхности; практически не требует обработки резанием; механические свойства отливок получаются достаточно высокие;
- 3) металлическая пресс-форма используется многократно, сборка формы и извлечение из нее готовой отливки выполняются машиной, 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 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.

1. Габаритные размеры и масса отливок ограничены мощностью машины (усилием, развиваемым механизмом запитания).

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, а также 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 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. Неподатливая пресс-форма способствует появлению напряжений в отливках при усадке, что также ограничивает номенклатуру сплавов, из которых могут быть изготовлены отливки.

Преимущества и недостатки способа определяют рациональную область его использования. Экономически целесообразно вследствие высокой стоимости пресс-форм, сложности оборудования, высокой производительности 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 подвергают переплавке, а отходы в стружку малы. Наивысшие экономические показатели достигаются при изготовлении отливок под давлением на машинах с горячей камерой прессования [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 мкм и небольшое термическое сопротивление. Регулирование этого термического сопротивления может осуществляться в достаточно ограниченных пределах. Аналогично и возможности изменения температуры пресс-формы перед заливкой или температуры расплава также ограничены. Повышение температуры пресс-формы удлиняет технологический цикл в результате увеличения продолжительности охлаждения отливки, вызывает опасность ее схватывания с пресс-формой, поломки отливки и пресс-формы при выталкивании, может привести к попаданию расплава в вентиляционную систему и ухудшению условий удаления газов из пресс-формы, увеличению пористости отливок. Кроме этого повышение температуры сплава снижает стойкость пресс-форм. Поэтому возможности регулирования теплообмена между расплавом и формой путем изменения их температуры ограничены.

Однако приложение давления на расплав при заполнении формы позволяет 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  $t_{зан}$  заполнения формы возможно регулировать, изменяя объемный расход  $\dot{V}$  расплава, движущегося через питатель:

$$t_{зан} = V / \dot{V},$$

где  $V$  — объем полости пресс-формы.

Для получения отливки без неслитин и неспаев, вызванных охлаждением потока расплава в пресс-форме, продолжительность  $t_{зан}$  заполнения пресс-формы не должна быть более некоторой определенной величины  $t_1 : t_{зан} < t_1$ , 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 ограничены, 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 более полно воздух и газы могут удаляться из пресс-формы при соответствующей конструкции вентиляционной и литниковой систем. В этой связи расход  $\dot{V}$  расплава через питатель ограничен таким вторым 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):  $\dot{V} < \dot{V}_2$ .

Таким образом, для получения отливки без неслитин, неспаев, с хорошим качеством поверхности и требуемым уровнем плотности необходимо, чтобы расход  $\dot{V}$  расплава через питатель удовлетворял условию

$$\dot{V}_1 < \dot{V} < \dot{V}_2.$$

Оптимальный расход  $\dot{V}$  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, например, первое ограничение  $\dot{V}_1$  можно понизить путем использования сплава с большей жидкотекучестью (Al-Si сплав АК7 обладает значительно меньшей жидкотекучестью, чем АК12). Повысить допустимое значение  $\dot{V}_2$  можно используя смазочные материалы с меньшей газотворной способностью, удаляя газообразные продукты из пресс-формы до начала прессования и другими способами.

Расход  $\dot{V}$  расплава через питатель определяется скоростью  $u_{ен}$  потока и площадью  $f_n$  поперечного сечения питателя:  $\dot{V} = u_{ен} f_n$ . 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 более толщины стенки отливки в месте подвода расплава, а ширина питателя должна обеспечить легкое его отделение от отливки.

Скорость  $u_{ен}$  расплава в питателе регулируется изменением скорости движения пресс-поршня. Ее максимально допустимое значение имеет различные ограничения, одними из которых являются те, при которых расплав не должен смывать смазочный материал с рабочих поверхностей пресс-формы и вступать с ними в такое механическое взаимодействие, при котором вероятно эрозионное воздействие 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 за-



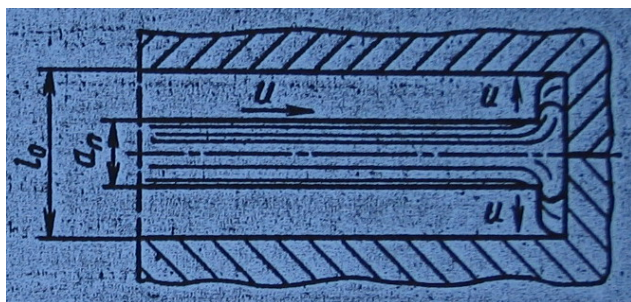
твердеет раньше отливки  $t_{затв}^{num} < t_{затв}^{омл}$ , давление на затвердевшую отливку будет действовать в течение времени от момента окончания заполнения пресс-формы до окончания затвердевания питателя:  $t_{дав} \approx t_{затв}^{num}$ . Если  $t_{затв}^{num} \approx t_{затв}^{омл}$ , то давление на расплав в пресс-форме будет действовать при затвердевании 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 обеспечивают благодаря высокой скорости впуска расплава 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 воздуха и газов от смазочного материала из пресс-формы, характер движения расплава в пресс-форме.

**Движение расплава в пресс-форме.** Характер движения расплава в пресс-форме влияет на процессы удаления воздуха и продуктов разложения смазочного материала из пресс-формы, на образование в отливках газовой пористости. Результаты исследований В.М. Пляцкого, А.К. Белопухова, Л. Фроммера, В. Брандта, В. Онезоргера [8,17] и других показали, что характер движения расплава в пресс-форме зависит от скорости его впуска, от геометрии и размеров питателя, вязкости и поверхностного натяжения расплава, условий его взаимодействия со стенками пресс-формы, условий удаления воздуха и газов из ее полости. Различное сочетание этих факторов создает разнообразные по характеру процессы 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.



*Рис. 3.3. Схема заполнения пресс-формы сплошным спокойным потоком.*

При заполнении сплошным спокойным потоком струя расплава со скоростью  $u$  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.

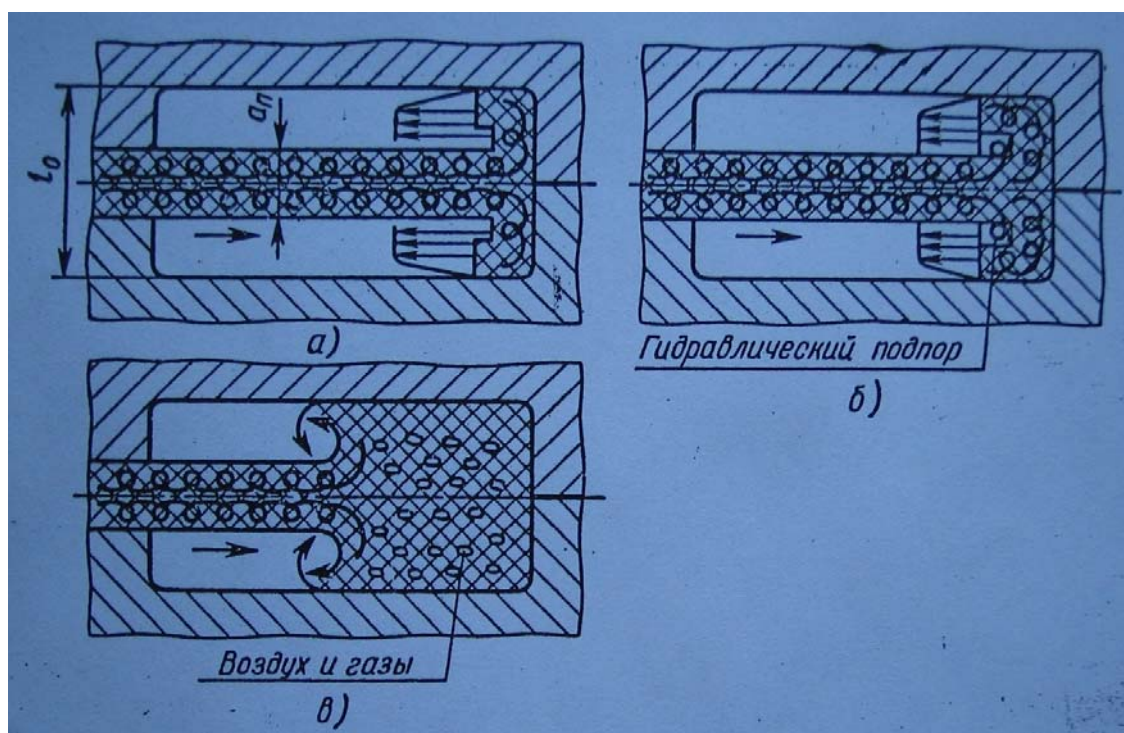
С увеличением толщины питателя критические скорости уменьшаются, турбулентность возрастает, что увеличивает пористость отливок.

При заполнении пресс-формы сплошным спокойным потоком создаются условия для ее последовательного заполнения расплавом и наиболее полного удаления газов из ее рабочей полости, что способствует уменьшению пористости и газовых включений в отливках.

Однако, такое движение расплава возможно реализовать и использовать на практике

только для толстостенных отливок простой конфигурации из сплавов с широким интервалом кристаллизации при литье в твердожидком состоянии.

Заполнение сплошным турбулентным потоком жидких сплавов происходит при скоростях впуска  $0.5 \dots 50$  м/с в зависимости от основы сплава и размеров питателя. При заполнении сплошным турбулентным потоком (рис. 3.4) расплав 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 включения. 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 практике используется лишь в тех случаях, когда к качеству отливки предъявляются низкие требования.

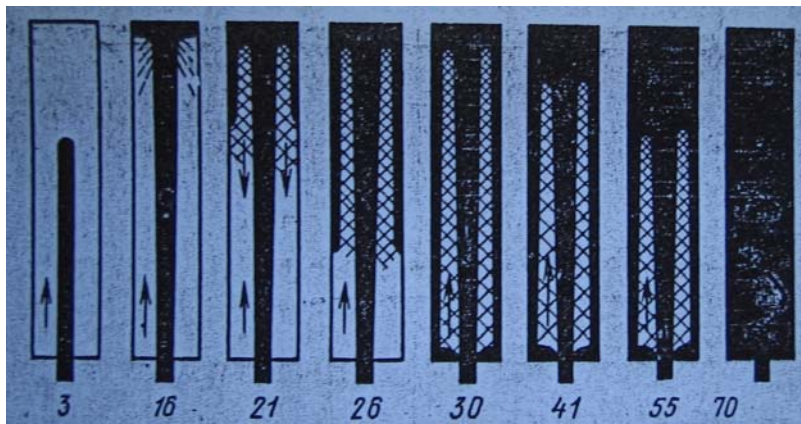


**Рис. 3.4.** Схема заполнения пресс-формы сплошным турбулентным потоком: а - удар струи в стенку; б - образование подпора; в - заполнение формы.

Дисперсное заполнение происходит при скоростях впуска расплава выше  $10 \dots 50$  м/с и толщине питателя  $3,0 \dots 0,25$  мм, соответственно, если расплав находится в жидком состоянии. При ударе о стенку формы (рис. 3.5) струя дробится на большое число отдельных капель, образующих смесь с воздухом и продуктами разложения смазочного материала — дисперсную систему. Воздушные и газовые включения остаются в отливке, образуя мельчайшую пористость. Такая пористость в значительно меньшей степени снижает механические свойства отливки, чем образующаяся при сплошном турбулентном заполнении.

Согласно гипотезе Л. С. Константинова наряду с отрицательным действием газовой и воздушной пористости, 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





*Рис. 3.5. Схема заполнения пресс-формы дисперсным потоком (цифры - время от начала заполнения пресс-формы расплавом в миллисекундах).*

нию на расплав со стороны пресс-поршня. Из-за небольшого сечения питатель затвердевает значительно быстрее, чем отливка, и давление пресс-поршня быстро перестает действовать на затвердевающую отливку. Газы, заключенные внутри отливки, находясь под давлением, стремятся расширяться, давят на кристаллизующийся расплав, способствуя четкому оформлению рельефа поверхности отливки, разнесению усадки и снижению вероятности образованию трещин. Однако, по мнению Л. Е. Кисиленко, вблизи пор в металле отливки возникает сложное напряженное состояние, при этом напряжения могут привести к появлению микротрещин и увеличению транзитной пористости, резко снижающей герметичность отливки.

При заполнении расплавом полости формы отливки сложной конфигурации рассмотренные механизмы движения расплава могут реализовываться на разных этапах заполнения и на разных участках формы одновременно: на одних участках формы может образовываться дисперсный поток, на других турбулентный, возможно образование и застойных зон, заполняющихся расплавом с малыми скоростями. Поэтому изложенные выше представления о моделях процесса заполнения пресс-формы, по существу, отражают лишь возможные преобладающие при том или ином режиме физические явления, их влияние на формирование качества отливки.

### **Газовый режим пресс-формы.**

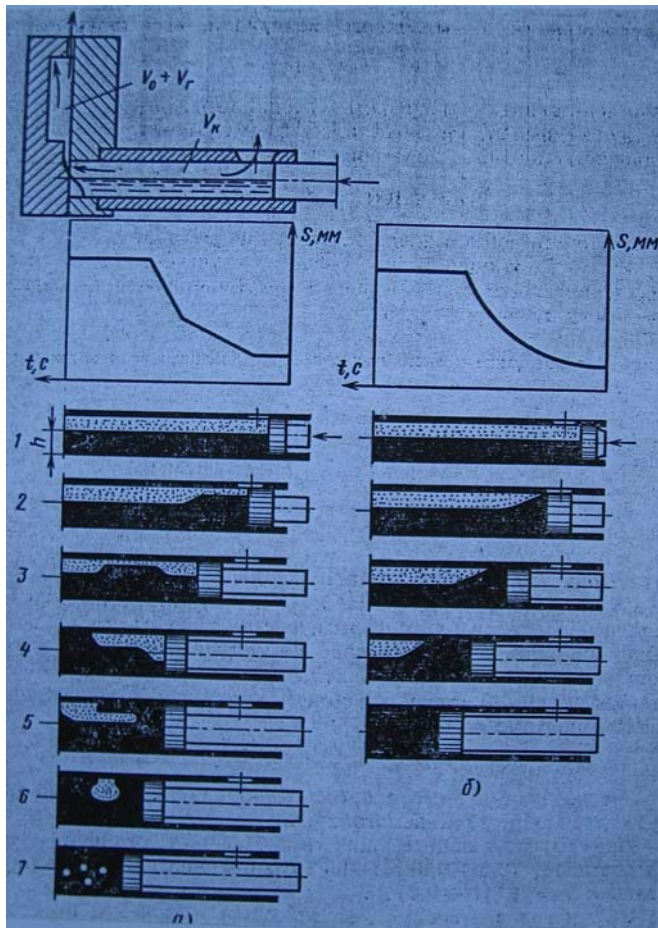
Для получения качественной отливки необходимо, чтобы при заполнении расплавом пресс-формы воздух и газы от разложения смазочного материала удалялись из нее, так как, попадая в отливку, они ухудшают ее свойства.

Суммарный объем  $V_{\Sigma}$  газов (рис. 3.6), 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, равного объему  $V_o$  отливки, и объемом  $V_r$  газообразных продуктов разложения смазочного материала пресс-формы:

$$V_{\Sigma} = V_k + V_o + V_r.$$

Объем газов, поступающего из камеры прессования в рабочую полость пресс-формы зависит от ее диаметра, дозы расплава, заливаемого в камеру, конструкции машины и других факторов. Так, для машин с горизонтальной холодной камерой прессования объем газового пространства над зеркалом расплава, стенками камеры и пресс-поршнем обычно составляет 0,25...0,4 от общего объема камеры прессования. Величина  $V_k$  для рассматриваемого случая 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 закона изменения ее в отдельных фазах прессования. Так при движении пресс-поршня с постоянной скоростью уровень расплава  $h$  может соответствовать положениям 1—4 (рис. 3.6, а) или 5—7, соответственно при скорости пресс-поршня меньше и больше скорости распространения волны на поверхности расплава. Однако в любом из этих случаев воздух и газы могут замешиваться в расплав и затем попадать в отливку. При ускоренном перемещении



**Рис. 3.6.** Схема удаления газов из пресс-формы и камеры прессования: а - при движении с постоянной скоростью; б - при ускоренном движении пресс-поршня.

(рис. 3.6, б) пресс-поршень постоянно догоняет волну расплава, образующуюся при трогании его с места, воздух и газы практически до начала заполнения литникового хода могут удаляться в пресс форму, а из нее через систему вентиляции в атмосферу.

Такой закон движения пресс-поршня впервые был реализован на машинах фирмы «Buhler» (Швейцария).

Для машин с вертикальной холодной или горячей камерой прессования величина  $V_k$  включает в себя лишь объем каналов литниковой системы.

Объем  $V_r$  паров и газов, выделяющихся при заполнении пресс-формы расплавом от разложения смазочного материала В.Н. Зеленов [13] предложил определять как зависимость от площади  $F_\phi$  поверхности рабочей полости пресс-формы, толщины  $h_{cm}$  слоя смазочного материала на этой поверхности, газотворной способности  $Z$  смазочного материала и его плотности  $\rho_{cm}$ :

$$V_r = k Z F_\phi h_{cm} \rho_{cm}$$

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,  $k=1$  - при полном разложении 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. Последнее позволяет снизить расход материала, его толщину  $h_{cm}$  на рабочей поверхности, повысить качество отливок и уменьшить выбросы в окружающую среду.

Анализируя приведенные соотношения и учитывая характер движения расплава в пресс-форме для литья под давлением, а также практические данные, можно сделать вывод о том, что получить отливку с низкой пористостью, только путем удаления газообразных продуктов из пресс-формы, задача весьма сложная. Поэтому на практике уменьшение объема пор чаще достигают путем повышения давления прессования. Это хорошо иллюстрируется тенденцией развития машин литья под давлением. Если в начале развития процесса они могли обеспечивать давление прессования в несколько МПа, затем в десятки МПа, то в настоящее время давление прессования достигает 500 МПа. Эта тенденция приводит к созданию весьма мощных, металлоемких и энергоемких машин. По-видимому, такой путь достижения низкой пористости и высокой плотности отливок не единственный.

Основная причина, вызывающая необходимость высоких давлений прессования, является недостаточная вентиляция пресс-формы.

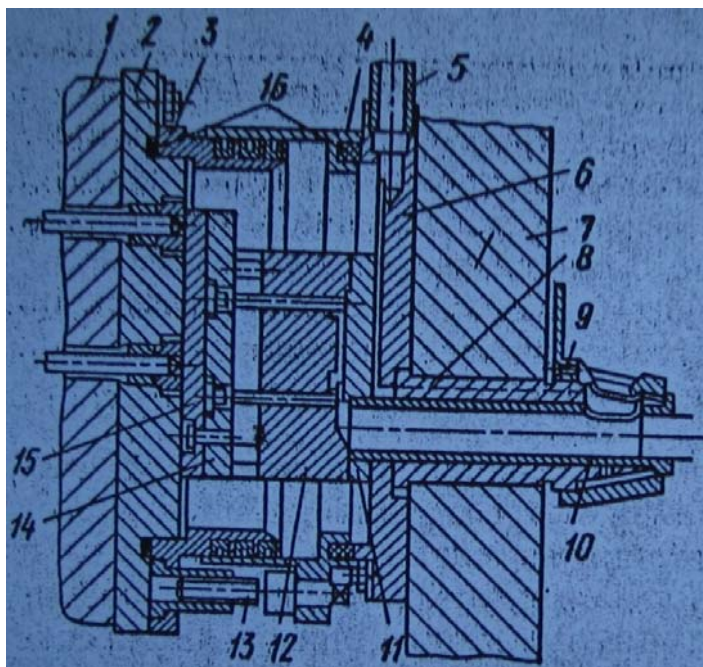


Для уменьшения газовой и воздушной пористости в отливках под давлением, кроме повышенных давлений прессования, создания рациональных конструкций литниковой и вентиляционной систем пресс-формы, выбора оптимальных режимов литья - скорости прессования, температуры расплава и пресс-формы, давления прессования, разработаны и используются в производственных условиях специальные способы литья под давлением, направленные на уменьшение газовой и воздушной пористости в отливках.

Производственная реализация этих специальных способов вызывает дополнительные затраты, усложнения конструкций пресс-форм, машин литья под давлением, организации производственного процесса. Такие затраты окупаются только при необходимости изготовления отливок под давлением с особыми требованиями к их качеству.

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** осуществляют, используя 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, 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, кожухов 3 и 4, неподвижной плиты 6, расположенной на неподвижной плите 7 машины. Внутри кожухов 3 и 4 находится пресс-форма, состоящая из неподвижной 11 и подвижной 12 полуформ, плит выталкивателей 14 и 15. Камера 8 прессования каналом (штриховая линия), проходящим между камерой 8 и сменной втулкой 10, соединяется с системой вакуумирования посредством трубопровода 5. При закрытии пресс-формы уплотнения 16 и упоры 13 обеспечивают герметичность вакуумной камеры.



**Рис. 3.7.** Установка для литья под давлением с вакуумированием пресс-формы: 1, 7 - подвижная и неподвижная плиты машины; 2, 6 - подвижная и неподвижная плиты вакуумной камеры; 3, 4 - подвижная и неподвижная части кожуха; 5 - трубопровод; 8 - камера прессования; 9 - поворотная муфта; 10 - сменная втулка; 11, 12 - неподвижная и подвижная полуформы; 13 - упоры; 14, 15 - плиты выталкивателей; 16 - уплотнения.

После заливки расплава в камеру прессования поворотной муфтой 9 закрывают заливное окно камеры, и она с помощью электромагнитного золотника соединяется через вакуум-провод 5 с вакуумным ресивером или воздушным насосом. В камере создается требуемое разрежение воздуха и продукты разложения смазочного материала пресс-формы удаляются из ее полости через вентиляционные каналы; одновременно или с некоторой задержкой осуществляется 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); обеспе-

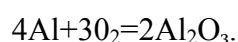
чивать быстрое и полное удаление воздуха и газов из полости пресс-формы; осуществлять отсос воздуха и продуктов разложения смазочного материала из мест пресс-формы, где они могут скапливаться; использовать смазочные материалы с низкой газотворной способностью; исключать натекание воздуха из атмосферы в рабочую полость пресс-формы и камеры прессования. Соблюдение этих требований позволяет уменьшить количество воздуха, паров и газов в полости пресс-формы, снизить их противодействие при заполнении формы расплавом и благодаря этому улучшить качество отливок; повысить их плотность и герметичность, прочность и относительное удлинение, улучшить заполняемость пресс-формы и получить крупные отливки с меньшей на 30...40 % толщиной стенок, в некоторых случаях осуществить высокотемпературную обработку отливок.

Однако при литье под давлением с использованием вакуума могут создаваться условия, при которых газы, растворенные в расплаве, вследствие понижения его температуры и увеличения разницы парциальных давлений газа, в расплаве и пресс-форме, начнут выделяться из раствора, что приведет к увеличению газовой пористости в отливках. Поэтому 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 разрежение в пресс-форме составляет лишь 25...50 кПа.

**Литье под давлением с регулированием состава газов** в полости пресс-формы также выполняют различными способами. Практическое применение получили процессы литья с замещением воздуха и газообразных продуктов разложения смазочного материала кислородом (O<sub>2</sub>-процесс), а также газами с низкой молекулярной массой, например, гелием.

Кислородный процесс разработан проф. А. А. Рыжиковым и С. З. Злотиним. Процесс осуществляется следующим образом. Перед заливкой расплава полость пресс-формы и камеры прессования продувается кислородом до полного вытеснения воздуха. При заполнении пресс-формы расплавом кислород вступает в реакцию окисления с частицами расплава, заполняющими полость пресс-формы. Реакция окисления расплава протекает с высокой скоростью, благодаря чему большая часть кислорода в объеме рабочей полости расходуется на окисление расплава а не на образование в нем пор:



Образующиеся частицы окисла Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> находятся в мелкодисперсном состоянии, и их удается обнаружить только при увеличении свыше 40 тыс. раз на электронном микроскопе. Теоретически содержание окислов в отливке, полученной по кислородному процессу, может в 4,5 раза превышать их количество при обычном литье под давлением, однако они не ухудшают механических свойств и обрабатываемости отливок. Вместе с тем газосодержание отливок и пористость в них значительно уменьшаются. Например, в отливках из алюминиевых сплавов содержание газов при кислородном процессе снижается до (0,5...1,0)10<sup>-5</sup> м<sup>3</sup> на 1 кг. Однако при использовании кислородного процесса исключается использование смазочных материалов, выделяющих при разложении продукты, способные взаимодействовать с кислородом. Смазочные материалы пресс-формы для кислородного процесса должны быть негазотворными. Иначе из-за взаимодействия кислорода с продуктами разложения смазочного материала в полости формы могут образоваться CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O и другие газы и пары, эффективность процесса снизится. Это ограничивает применение способа для отливок сложных "по съему", т. е. с большим числом стержней, выполняющих глубокие полости, отверстия большой протяженности и т.д.

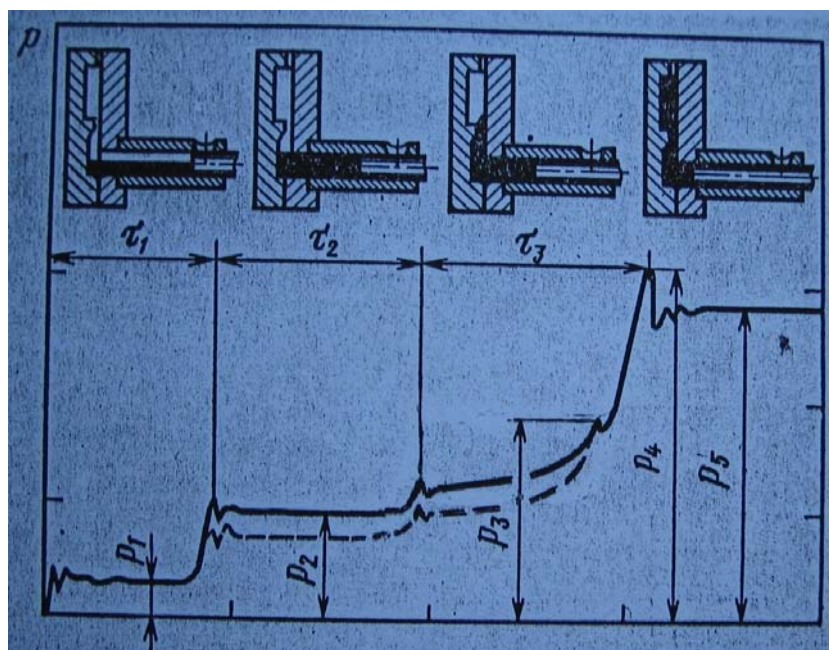
По сравнению с вакуумированием полости пресс-формы кислородный процесс обла-

дает 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. Однако при использовании кислорода повышается пожароопасность в цехе и требуется тщательное соблюдение правил техники безопасности и пожарной охраны.

**Гелиевый процесс** осуществляется по схеме, близкой к кислородному процессу. Перед заливкой расплава, полость камеры прессования и пресс-формы заполняется гелием так, чтобы весь воздух был вытеснен и замещен гелием. Поскольку скорость течения газообразных продуктов по различным каналам обратно пропорциональна корню квадратному из их молекулярной массы, а гелий имеет молекулярную массу  $M=4,003$  кг/кмоль, то его расход из пресс-формы 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, таких как подошва 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  $\tau$  рабочего хода пресс-поршня.



**Рис. 3.8.** Осциллограмма давления в поршневой полости гидроцилиндра механизма прессования.

В период времени  $\tau_1$  поршень, перемещающийся со скоростью обычно не превышающей 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 через систему вентиляции в атмосферу. Значение  $p_1$  соответствует давлению, необходимому для преодоления сил трения пресс-поршня и действующих в гидроцилиндре.

Период времени  $\tau_2$  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 противодавления в камере прессования и потерь в гидросистеме механизма прессования.

За время  $\tau_3$  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 (штриховая линия на рис. 3.8).

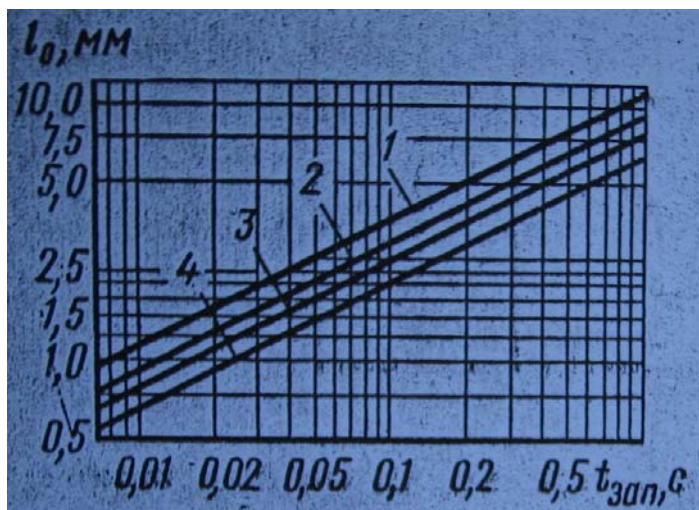
Рабочий ход завершается срабатыванием устройства для подпрессовки (им может быть, например, мультипликатор). Давление повышается до значения  $p_5$ . При этом во многих механизмах, в результате действия инерционных сил, может происходить гидроудар. Это приводит к кратковременному повышению давления до 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 путем уменьшения массы подвижных частей механизма прессования, включая массу рабочей жидкости, использованием 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 назначается в пределах 10...200 МПа. Рекомендуемые давления прессования для различных сплавов и отливок приведены в разделе 3.5.2. Если к моменту достижения давления  $p_5$  питатель не затвердевает, то это давление 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.

При заполнении формы расплавом, который подается сплошным турбулентным или дисперсным потоком, подпрессовка позволяет сжать воздушно-газовые включения в теле отливки, что резко уменьшает их размеры, повышает герметичность и прочность отливки. Однако отливки, полученные путем использования традиционной технологии, нельзя нагревать и обрабатывать термически при нормальном давлении из-за расширения газов в порах и как следствие этого, их коробления и возникновения пузырей на поверхности отливок. Поэтому термообработку таких отливок вели 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 компоновку 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 твердо-жидком 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  $t_{зан}$  заполнения пресс-формы расплавом; скорость впуска  $u_{en}$  расплава в пресс-форму; размеры и расположение вентиляционных каналов; количество и свойства смазочного материала пресс-формы; температура расплава и пресс-формы. Продолжительность заполнения пресс-формы в зависимости от толщины стенки отливки для разных сплавов приведена на рис. 3.9. Отметим, что по этим данным продолжи





**Рис. 3.9.** Зависимость времени заполнения  $t_{зап}$  от средней толщины  $l_{отл}$  отливки: 1 - из чистого магния; 2 - из магниевых сплавов; 3 - из алюминиевых сплавов; 4 - из цинковых сплавов.

тельность 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 теп-

лообмена между расплавом и пресс-формой время течения первых частиц расплава в ее рабочей полости ограничено длительностью, после которой вероятно образование неслитин и неспаев. В разделе 3.5.3 приведена методика Белопухова А.К. расчета оптимальной продолжительности заполнения пресс-формы, учитывающая не только толщину отливки, но и ее геометрию и давление прессования.

Скорость впуска  $u_{вп}$  расплава в пресс-форму определяя характер его движения (сплошной спокойный или с высокой турбулентностью, 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, эрозионного воздействия на ее стенки и, как следствие этого, приваривания отливки к пресс-форме. Во многих случаях 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. При этом меньшие значения используются при изготовлении отливок из сталей и медных сплавов, а большие для цинковых и свинцово-оловянистых сплавов.

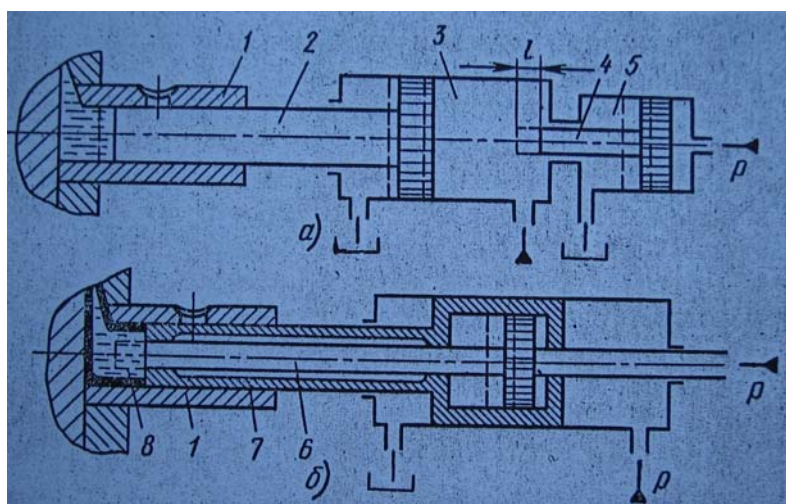
Температура пресс-формы перед заливкой назначается с учетом состава заливаемого сплава, конфигурации отливки, толщины ее стенки, а также других факторов. Температуру формы принимают для сплавов: цинковых 120...160 °С, алюминиевых 180...250 °С, магниевых 200...240 °С, латуни 280...320 °С, стали 200...280 °С. С уменьшением толщины стенки отливки и усложнением ее конфигурации температуру пресс-формы назначают ближе к верхнему пределу указанных интервалов, 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 предусматривают системы охлаждения или тепловой изоляции отдельных элементов пресс-формы (см. раздел 3.3).

Температура заливки расплава зависит от химического состава сплава, конфигурации, размеров отливки 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 незаполнению формы. Высокая температура расплава способствует увеличению объема усадочных пор в отливке; длительность затвердевания и охлаждения отливки возрастает, а это снижает 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. Это объясняет стремление литейщиков заливать расплав при возможно более низкой температуре: для цветных сплавов температура заливки расплава в камеру прессования обычно на  $10...30^\circ$  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 часто температуру расплава принимают в интервале ликвидус — солидус, т. е. производят заливку расплава в твердо-жидком 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 твердо-жидком 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. Количество 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 количество твердой фазы, при котором обеспечиваются хорошая заполняемость форм и удовлетворительные свойства отливок, лежит в пределах  $40...60\%$  по диаграмме состояния. Твердо-жидкими сплавами формы заполняют только на машинах с холодными камерами прессования, так как на машинах с горячими камерами такие режимы осуществить невозможно из-за замерзания расплава в мундштуке и невозможности его самопроизвольного перетекания из тигля в камеру прессования.



**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.

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 разделе 3.5.2. Для уменьшения усадочной пористости важно осуществление подпрессовки в конечный момент заполнения пресс-формы, для чего используют механизмы прессования с мультипликацией (усилением) давления на расплав в камере прессования машины. Применяют несколько вариантов таких конструкции, два из которых представлены на рис. 3.10). В первом случае (рис. 3.10, а) давление прессования увеличивается благодаря дополнительному гидроцилиндру 5. Шток 4 в момент окончания заполнения пресс-формы выдвигается в поршневую полость основного цилиндра 3 механизма прессования на некоторую величину  $l$  и увеличивает давление  $p$  рабочей жидкости на поршень основного цилиндра и усилие передаваемое штоком с пресс-



поршнем 2 на расплав в камере прессования 1. В результате этого осуществляется подпрессовка.

Во втором случае применяют двойной прессующий поршень (рис. 3.10, б). До момента образования корочки затвердевшего металла  $\delta$  на стенках камеры прессования 1 оба плунжера 6 и 7 перемещаются вместе, а затем после остановки основного плунжера 7 продолжает движение дополнительный плунжер 6 и давление на расплав увеличивается.

Подпрессовка способствует уменьшению пор в отливке, повышению ее плотности и герметичности. Однако ее действие эффективно только в 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 гидроудара.

Смазывание. Смазочные материалы, которые используются при литье под давлением по назначению делятся на две основные группы – смазочные материалы для рабочих поверхностей пресс-формы и материалы для смазывания пресс-поршня и камеры прессования. Кроме этих материалов используют и вспомогательные.

Смазывание пресс-форм позволяет защитить их рабочие поверхности от химического, механического, теплового воздействия струи расплава, предотвращает “приваривание” отливки к пресс-форме, а также снижает усилие извлечения из нее стержней и вставок во избежание их поломки и деформации 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 воздействовать на 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 сложны, механизм действия смазочных материалов при литье под давлением изучен еще недостаточно. Поэтому их выбор представляет сложную задачу. Чаще всего в производстве для автоматизированного нанесения 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 типов «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», имеющие в своем составе масляную основу (например, масло МС-20), химически активные добавки (трихлорэтилен и др.), а также керосиновую фракцию, выполняющую роль разбавителя. Однако по сравнению с «Прессолами» и «Графитолами» этот смазочный материал больше загрязняет атмосферу цеха, его конденсат в системе вентиляции цеха повышает пожароопасность процесса. По этим и другим причинам применение таких материалов 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 сма-

зочные материалы типа «Алюминол МГ» на масляной основе с добавками твердого наполнителя (графита, алюминиевого порошка) и 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 водорастворимые солевые смазочные материалы.

Для отливок из медных сплавов применяют «Графитолы», «Прессолы» и подобные им материалы.

При изготовлении стальных отливок используют смазочные материалы на основе дисульфида молибдена, не содержащие растворителей или разбавителей.

На машинах с холодной камерой прессования обязательно смазывается пресс-поршень и рабочая поверхность камеры прессования. Для этой цели используют консистентные смазочные материалы, имеющие в своем составе масляную основу, загустители, графит и другие материалы, повышающие их 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 материалов подобных воску, не имеющие в своем составе растворителей. С целью исключить выбросы 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.

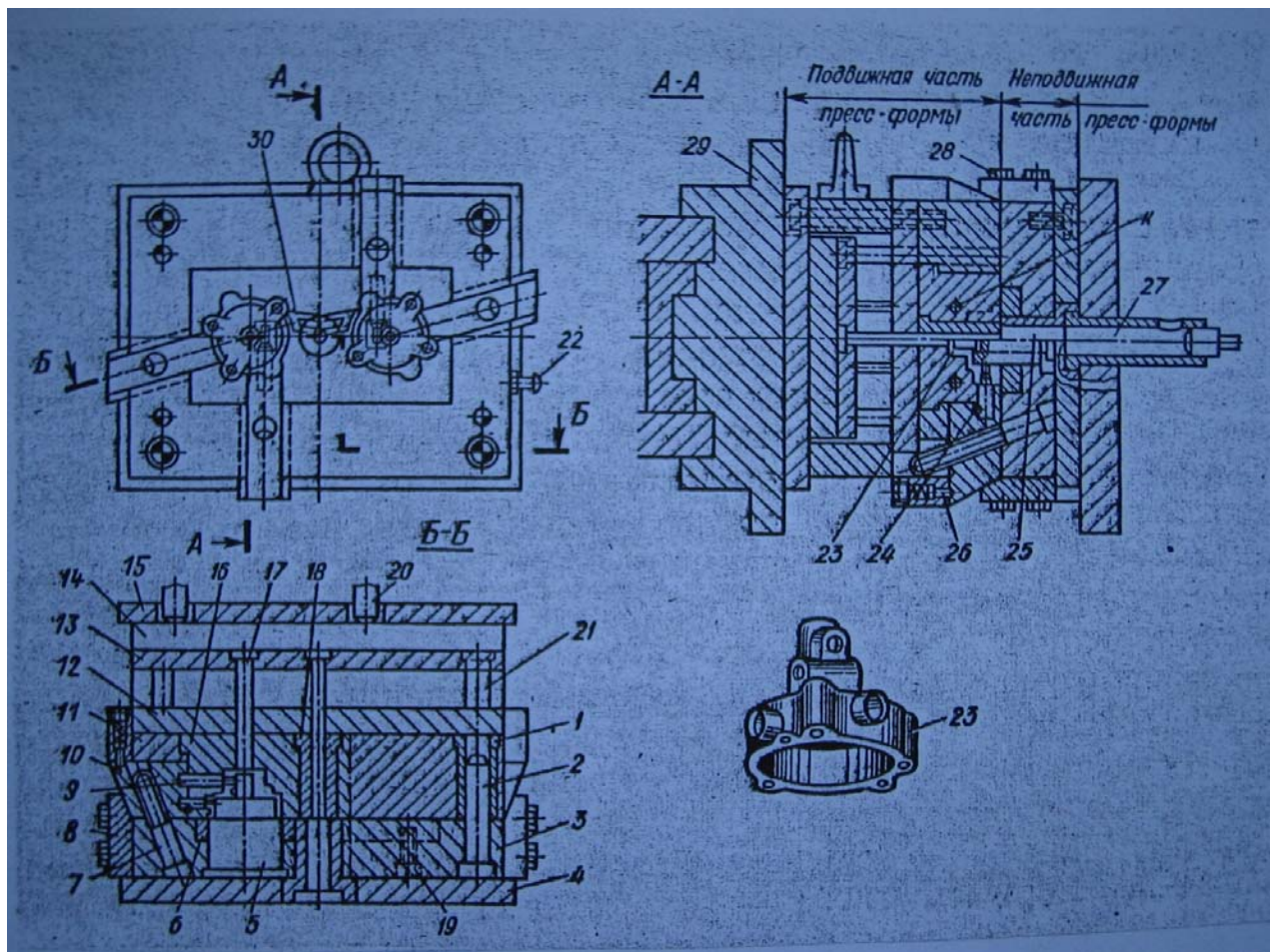
Вспомогательные смазочные материалы, упрощают обслуживание пресс-форм и продлевают срок их эксплуатации. К ним относятся, например, антипригарные смазочные материалы для крепежных деталей пресс-форм и материалы для направляющих колонок.

### 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, необходимые 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), а также устройство для выталкивания отливки из пресс-формы. В зависимости от теплонагруженности пресс-формы при работе, ее детали могут требовать либо охлаждения, либо подогрева. С этой целью в пресс-формах делают специальные каналы, а литейные комплексы оснащают системами термостатирования пресс-форм. Однако, чаще литейщикам приходится решать задачу об охлаждении пресс-формы. Это позволяет использовать в системах термостатирования 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, при котором большинство стержней и вставок, образующих ее внутренние и наружные поверхности, располагались таким образом, чтобы при раскрытии пресс-формы отливка оставалась в ее подвижной части. Для удаления отливки из подвижной части пресс-формы в последней делают систему выталкивателей.

На рис. 3.11 представлена двухгнездная пресс-форма для машины с горизонтальной



**Рис. 3.11.** Пресс-форма для литья под давлением: 1 - направляющие втулки; 2 - направляющие колонки; 3, 11 - обоймы; 4 - неподвижная плита крепления; 5 - неподвижный стержень; 6, 16 - вкладыши; 7 - клин-палец; 8 - замки; 9 - стержни; 10 - ползуны; 12 - подкладная плита; 13, 14 - плиты выталкивателей; 15 - подвижная плита крепления; 17 - выталкиватели; 18 - рассекатель; 19 - винты; 20 - штифты механизма выталкивания; 21 - контролкатели; 22 - штуцер; 23 - отливка; 24 - штифты; 25 - литниковая втулка; 26 - пружинные фиксаторы; 27 - камера прессования; 28 - болты; 29 - подвижная плита машины; 30 - литниковые каналы; **К** - каналы системы термостатирования.

холодной камерой прессования. Неподвижную часть пресс-формы с помощью плиты 4 крепят к неподвижной плите машины и соединяют с камерой прессования 27. Подвижную часть с помощью плиты 15 крепят к подвижной плите машины 29. Расплав, залитый в камеру прессования 27 и литниковую втулку 25, под действием пресс-поршня и направляемый рассекателем 18, по литниковым каналам 30 поступает в две рабочие полости, образуя отливки 23. Внешние поверхности отливок выполняются вкладышами 6 и 16, которые смонтированы в обоймах 3 и 11. Вкладыш 16 прижимается подкладной плитой 12 к обойме 11. Вкладыш 6 закреплен в обойме 3 винтами 19.

При раскрытии пресс-формы отливка остается в ее подвижной части. В начальный момент раскрытия пресс-формы стержни 9, закрепленные штифтами 24 в ползунах 10, удерживают отливку в подвижной части пресс-формы, вследствие чего происходит ее сьем с неподвижного стержня 5. При дальнейшем раскрытии пресс-формы ползуны 10 вместе со стержнями 9 перемещаются по наклонным клиньям-пальцам 7, благодаря чему стержни 9 извлекаются из отливки. После остановки подвижной плиты машины 29 срабатывает механизм выталкивания отливки, штифты 20 этого механизма воздействуют на плиты 13 и 14 выталкивателей, в результате выталкиватели 17 удаляют отливки с литниками из рабочих полостей. При закрытии пресс-формы контролкатели 21 упираются в неподвижную обойму 3 и возвращают плиты выталкивателей с толкателями в исходное положение. Неподвижная и

подвижная части пресс-формы центруются направляющими втулками 1 и колонками 2. Для предотвращения отхода ползунов 10 и стержней 9 под давлением расплава к обойме 3 болтами 28 крепятся замки 8. Чтобы при закрытии пресс-формы клин-палец 7 точно попадал в отверстие ползуна 10, в подвижной обойме имеются фиксаторы 26, фиксирующие положение ползунов 10 при раскрытом положении пресс-формы. Пресс-форма во время работы может охлаждаться деминерализованной водой, протекающей по каналам *K* во вкладыше 16. Вода подается по шлангам, подсоединяемым к штуцерам 22. Конструкция пресс-формы зависит от конфигурации отливки, свойств заливаемого сплава, типа машины и характера производства.

Пресс-формы для массового производства конструируют с полной автоматизацией всех операций по извлечению стержней и подвижных вкладышей, выталкиванию отливок, возврату стержней и выталкивателей в исходное положение. Извлечение подвижных стержней и выталкивание отливок часто осуществляется при раскрытии пресс-формы. Система выталкивания приводится в действие после полного извлечения подвижных стержней. Если машина для литья под давлением имеет гидровыталкиватель, то он срабатывает после остановки, то есть возврата подвижной плиты машины в исходное положение. Для изготовления сложных корпусных отливок используют дополнительные механизмы — гидростанции 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 мелких отливок, пресс-формы изготавливают многогнездными, 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 ее установки 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.

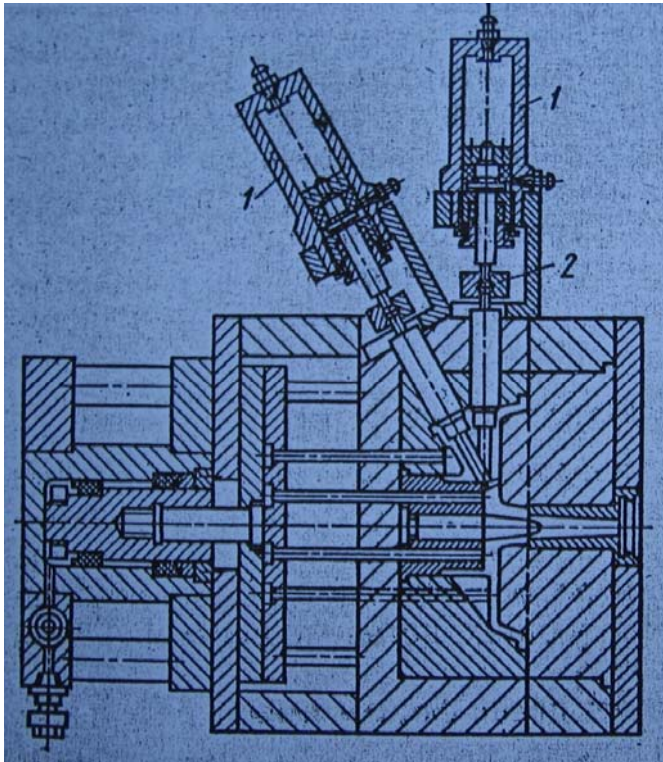
Механизмы и детали пресс-форм. Пресс-формы имеют механизмы извлечения подвижных стержней из отливок, фиксации подвижных стержней при открытом и закрытом положении пресс-формы, выталкивания отливок, а в некоторых случаях специальные механизмы: для обрезки литников и облоя, установки армирующих вставок, регулирования площади литниковой системы и др.

Во многих случаях механизмы пресс-формы имеют отдельный привод, как правило, гидравлический, питаемый от гидросистемы машины и управляемый с общего пульта управления литейной машиной или комплексом.

Для извлечения стержней наиболее широко используют клиновые механизмы. Конструкция такого механизма представлена на рис. 3.11. Использование клиновых механизмов позволяет совместить раскрытие пресс-формы и удаление стержней. Угол наклона клина-пальца 7 к продольной оси машины должен быть не более  $25^\circ$  (рис. 3.13, а). Длина рабочей части клина-пальца  $L$  зависит от максимального хода  $S$  ползуна:  $L = S / \sin \alpha$ .

Кроме клиновых, применяют реечные механизмы и реечно-клиновые. Эти механизмы используют для извлечения стержней, ход которых превышает 50 мм.

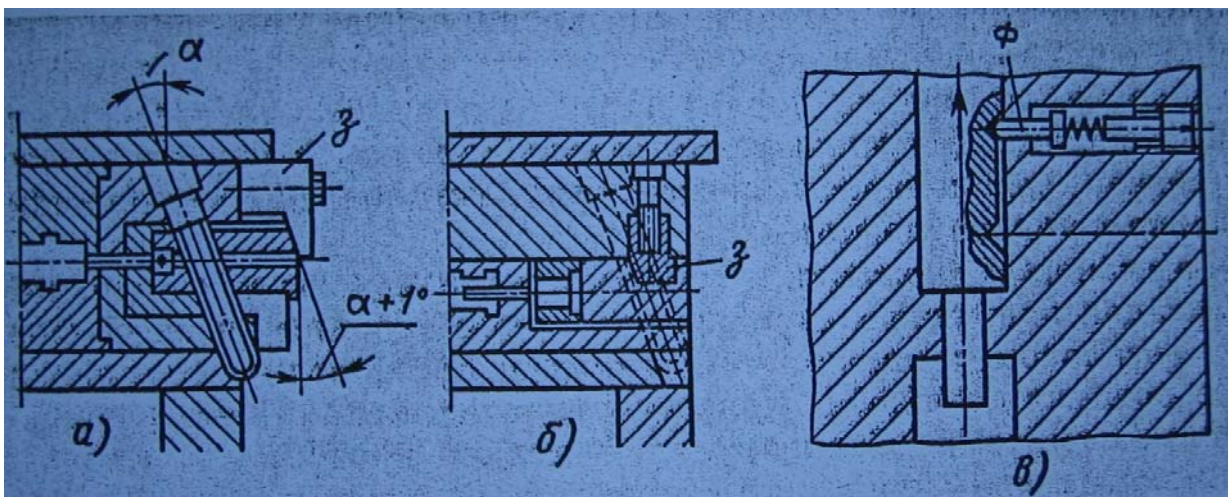




**Рис. 3.12.** Гидравлический стержне-извлекатель: 1 - гидроцилиндр; 2 - муфта.

Гидравлические приводы стержней обычно используют для извлечения длинных (более 50 мм) стержней и в конструкциях пресс-форм для сложных корпусных отливок. Гидравлический стержнеизвлекатель (рис. 3.12) имеет цилиндр 1 двойного действия, в который от специальной гидропанели литейной машины подается рабочая жидкость. Такие стержнеизвекатели устанавливают как на подвижной, так и на неподвижной части пресс-формы. Для исключения отхода стержня, соединенного со штоком цилиндра муфтой 2, под давлением расплава, заполняющего пресс-форму, в конструкциях таких пресс-форм предусматривают 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-форма имеет замок 3 (рис. 3.13, а), угол наклона его рабочей поверхности на  $1^\circ$  больше угла наклона клина-пальца. Такие замки используют при малых усилиях действующих на стержень. Врезные замки 3 (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  $\Phi$  (рис. 3.13, в), ограничители хода и другие устройства.



**Рис. 3.13.** Механизмы для фиксации стержней в пресс-форме: а - накладной; б - врезной; в - пружинный; 3 - замок;  $\Phi$  - фиксатор.

Механизмы выталкивания обычно срабатывают автоматически. После затвердевания и охлаждения отливки пресс-форма раскрывается, а затем толкатели машины или гидровыталкиватель перемещает плиту с выталкивателями, которые упираются в отливку и

выталкивают ее из пресс-формы.

Основные детали пресс-форм в зависимости от их назначения разделяют на три группы: формообразующие, конструктивные и 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.

При расположении рабочих полостей во вкладыше и выборе его размеров необходимо стремиться к 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  $R_a=2,5...1,25$  мкм, а остальные  $R_z=40...20$  мкм.

Стержни могут быть неподвижные, подвижные, отъемные (например, резьбовые) и разовые. Неподвижные стержни (см. рис. 3.11) устанавливают перпендикулярно к плоскости разъема и закрепляют во вкладышах подвижной и 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.

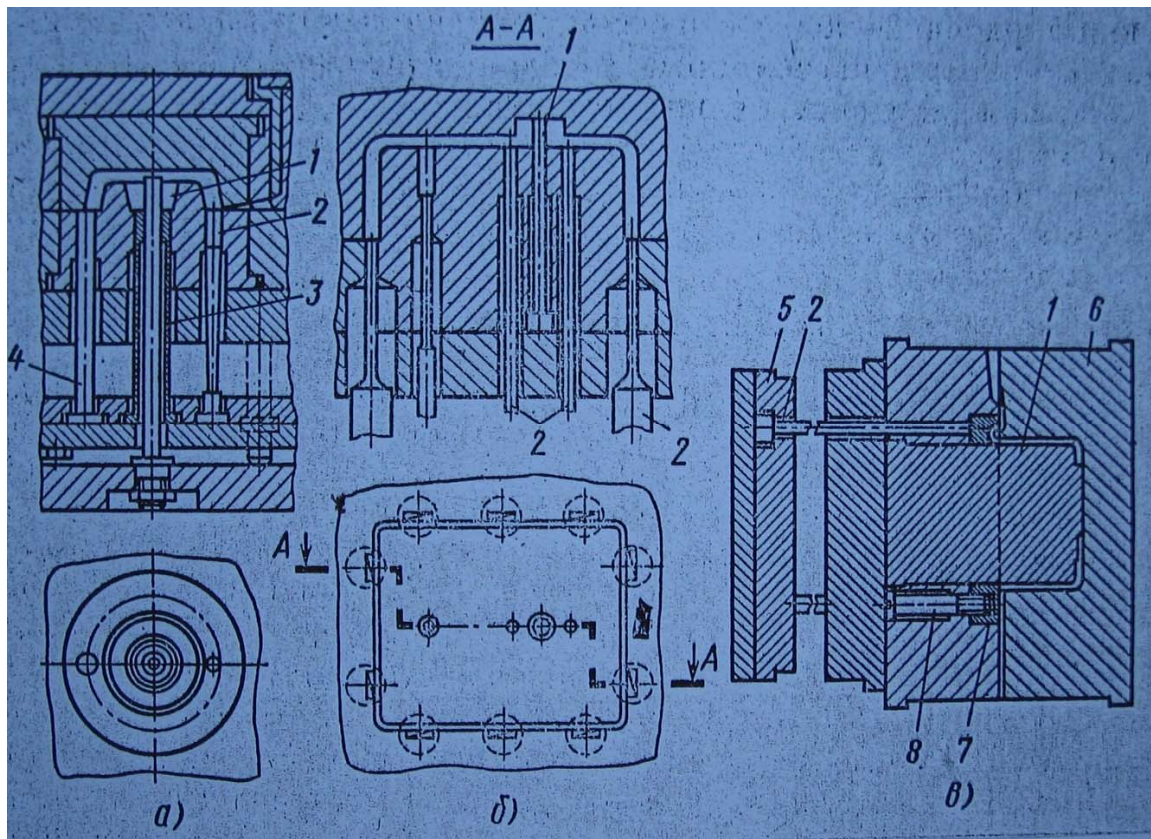
Для уменьшения усилия извлечения из отливки рабочие поверхности стержней имеют конусность. Конусность стержня назначают в зависимости от состава сплава, длины и диаметра стержней. Чем больше длина и меньше диаметр, тем больше делают конусность. Обычно конусность стержней составляет  $30' \dots 1^{\circ}30'$ .

Подвижные стержни должны иметь направляющую часть достаточных размеров, исключаящую возможность перекосов при извлечении. Размеры направляющей части стержней для литья алюминиевых, магниевых и цинковых сплавов выполняют по посадке с зазором  $H8/d8$ , для латуни — по  $H9/d9$ . Шероховатость поверхности посадочных частей стержня выполняют  $R_a=1,25...0,63$  мкм, а оформляющей части — от  $R_a=0,63...0,32$  мкм до  $R_a=0,16...0,08$  мкм.

Выталкиватели штифтовые (рис. 3.14, а) следует располагать равномерно по контуру отливки, а также в местах ее торможения в форме при извлечении, например, около стержней 1 (рис. 3.14, б), так, чтобы при выталкивании в отливке не возникли напряжения изгиба, среза, растяжения. Выталкиватели 2 в сечении могут быть круглые, прямоугольные, квадратные и др. в зависимости от конструкции отливки. Площадь поперечного сечения их должна быть максимальной, чтобы они не продавливали отливку и не ломались сами. В закрытом положении пресс-формы торцы выталкивателей должны располагаться на 0,3...0,5 мм выше или ниже оформляющей поверхности пресс-формы. На практике применяют выталкиватели, выходящие за пределы оформляющей полости, как, например, выталкиватель 4 (см. рис. 3.14, а).

Трубчатые и сегментные выталкиватели применяют при изготовлении отливок типа втулок, колец или там, где штифтовые выталкиватели установить трудно, например выталкиватель 3 (см. рис. 3.14, а).





**Рис. 3.14.** Конструкции выталкивателей: а - штифтовые; б - призматические; в - рамочные; 1 – стержень; 2, 3, 4 – выталкиватели; 5 – плита крепления; 6 – неподвижный вкладыш; 7 – съемник; 8 – направляющие.

Выталкивание плитой или рамкой обеспечивает равномерное удаление отливки (рис. 3.14, в). При открывании пресс-формы выталкиватели 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.

Выталкиватель в плите крепится с помощью буртика, высота которого выполняется по переходной посадке  $H8/h8$  и  $H9/h8$ . Это ограничивает осевое смещение выталкивателей.

Литниковые втулки предназначены для сопряжения пресс-формы с камерой пресования 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, выталкивателей, постаменты, ползуны, бруски, упоры, контролкатели (обратные выталкиватели), 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 вступать в физико-химическое взаимодействие 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 их специальных неметаллических материалов.

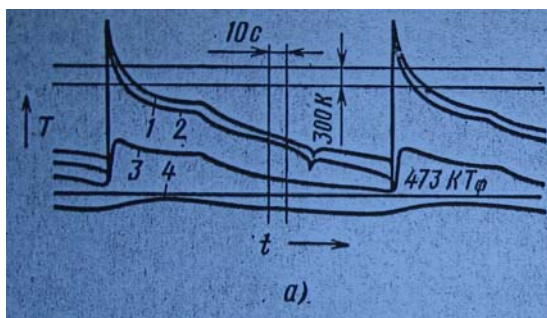
Для придания необходимых служебных свойств формообразующие детали пресс-форм подвергают термической и химико-термической обработке — низкотемпературному цианированию на глубину 0,05...0,2 мм. После закалки и отпуска они должны иметь твердость на поверхности  $HRC\ 58...62$ .

Конструктивные детали пресс-форм (плиты, обоймы и т. д.) изготавливают из конструкционных сталей 35, 40, 40Х, 45. Они подвергаются улучшающей термообработке, а твердость их поверхности должна составлять  $HRC\ 30...34$ .

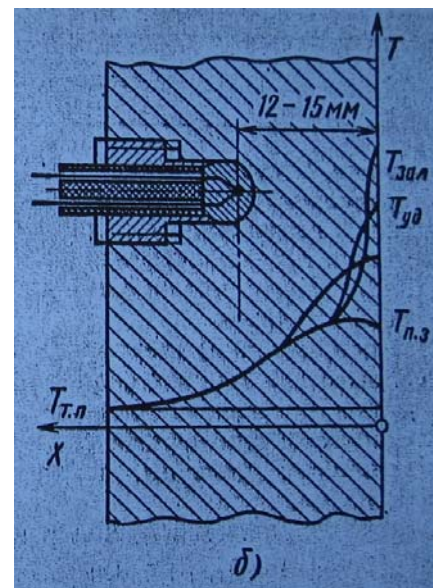
Детали, работающие в условиях износа (выталкиватели, замки ползунов, направляющие втулки и колонки и т. д.) изготавливают из стали У8А и У10А с твердостью  $HRC\ 48...52$  [17].

### Системы регулирования температуры пресс-форм.

Качество отливок, срок службы пресс-формы, производительность процесса во многом зависят от температуры пресс-формы. Температура пресс-формы в течение рабочего цикла изготовления отливки изменяется во времени, как по толщине, так и по поверхностям ее деталей. Эта температура не остается постоянной и от запрессовки к запрессовке и может повышаться или понижаться.



**Рис. 3.15. а** — изменение температуры пресс-формы за рабочий цикл (1,2 — вблизи рабочей поверхности; 3 — в средней части матрицы; 4 — на тыльной стороне матрицы), б — устройство терморпары в матрице.



За рабочий цикл изготовления отливки происходит следующее изменение температуры пресс-формы (рис. 3.15, а):

1) при заполнении расплавом пресс-формы температура вблизи ее рабочей поверхности (кривые 1, 2 рис. 3.15, а), контактирующей с расплавом, близка к температуре заливаемого расплава  $T_{зал}$  (рис. 3.15, б);

2) за период охлаждения отливки в закрытой пресс-форме температура на рабочей поверхности достигает значений, практически равных температуре удаления отливки  $T_{уд}$  (рис. 3.15, б), а на тыльной стороне —  $T_{т.з}$ ;

3) после удаления отливки, раскрытия пресс-форма охлаждается быстрее, особенно при обдувке ее воздухом для удаления частиц облоя и нанесения смазочного материала; в конце этого периода она должна иметь температуру, необходимую 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 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  $T_{н.з.}$ . Температуру рабочей поверхности пресс-формы измеряют переносными контактными термомпарами или оценивают по показаниям термомпар, установленных в пресс-форму (см. рис. 3.15, б). Как среднюю за цикл температуру пресс-формы обычно принимают  $T_{\phi} = T_{н.з.}$ .

При повышении темпа работы машины температура поверхности пресс-формы повышается от запрессовки к запрессовке. Это может привести к схватыванию поверхности пресс-формы и отливки в отдельных, наиболее разогретых местах и в результате к появлению задиров (дефектов в виде царапин и выровов на поверхности отливок) и даже к поломкам 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 – термомпары; систему термостатирования отдельных частей или пресс-формы в целом; систему регулирования подачи теплоносителя в пресс-форму.

Наиболее распространены термомпары, встроенные в пресс-форму (см. рис. 3.15, б) Чаще всего пресс-формы охлаждают деминерализованной водой, циркулирующей по каналам во вкладышах, вставках, а в некоторых случаях, и в массивных стержнях. Деминерализацию воды осуществляют с целью исключить образование накипи на стенках каналов, так как накипь, обладающая низкой теплопроводностью, снижает эффективность их работы. Рациональное расположение каналов может быть определено различными методами моделирования, раньше с этой целью чаще всего использовался метод электрической аналогии. Охлаждение пресс-формы позволяет осуществлять последовательное затвердевание отливки.

**Нормализация пресс-форм.** Нормализация сокращает цикл подготовки производства и снижает стоимость пресс-формы. Нормализация заключается в максимально возможном применении минимального числа конструкций форм, для которых используются заранее подготовленные и скомплектованные детали, узлы и механизмы. 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 прес-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. По поступившему в инструментальный цех чертежу подбирают готовый УФП и дорабатывают его до готовой пресс-формы.

Специальные формы-пакеты (СФП) используют в массовом производстве отливок, имеющих определенную, мало изменяющуюся от изделия к изделию конфигурацию (трой-

ники, краны, угольники и т. д.). СФП изготавливают с несколькими комплектами запасных частей, оформляющих рабочую полость. При изготовлении пресс-формы остается только выполнить во вкладышах рабочую полость и установить подвижные и неподвижные стержни.

Универсальные блок-формы (УБФ) для пресс-форм используют в условиях опытного и мелкосерийного производства. 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 часто, систему УБФ совмещают с УФП и СФП. Это позволяет резко сократить стоимость изготовления пресс-форм, длительность подготовки производства и повысить 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. Затем оформляют паспорт на пресс-форму, с которым ее направляют в литейных цех.

Установку новой пресс-формы на машину выполняют в наладочном режиме работы машины. После установки настраивают механизм запираения машины и механизм выталкивания. Во-первых, запирающий механизм должен обеспечивать требуемое усилие запираения пресс-формы и во-вторых, он и механизм выталкивания должны иметь хода достаточные для открытия пресс-формы и удаления отливки (определяются по общему виду пресс-формы). Затем, проверяют точность центровки частей пресс-формы и плавность срабатывания механизмов извлечения стержней и выталкивания отливки. После разогрева и смазывания проводят опытные заливки. Установленную партию отливок проверяют внешним осмотром, контролем геометрии и измерением размеров, разрезкой или рентгеноскопией определяют наличие внутренних дефектов и т.д. При необходимости 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.** Различают текущий, профилактический и капитальный ремонт пресс-форм. Текущий ремонт включает замену изношенных деталей, тщательную очистку и смазывание движущихся частей и механизмов. Профилактический производят при смене пресс-формы. Он включает 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. 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, тщательно смазанными, в сухом помещении, в комплекте с запчастями и двумя-тремя отливками, полученными из последней партии.

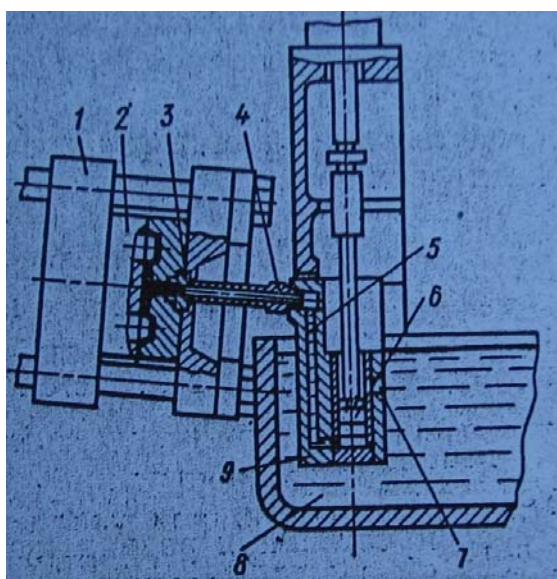
### 3.4. МАШИНЫ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ.

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 холодной гори-

зонтальной камерой прессования и машины с вертикальной горячей камерой прессования. Компрессорные машины в процессе совершенствования выделены в самостоятельную группу машин для литья под низким (регулируемым) давлением.

**Машины с горячей камерой прессования.** Основными узлами поршневых машин с вертикальной горячей камерой прессования являются: узел прессования и узел запирания. При работе машины камера прессования 9 (рис. 3.16) погружена в тигель 8 и сообщается с ним отверстием 7, через которое в нее поступает расплав. При движении прессового поршня 6 вниз отверстие 7 перекрывается и расплав по обогреваемому каналу 5 через мундштук 4 и литниковую втулку 3 поступает в полость формы 2. После затвердевания отливки прессовый 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-форма очищается от остатков облоя, ее рабочая поверхность смазывается. Гидроцилиндр приводит в движение механизм запирания, половины пресс-формы смыкаются и цикл повторяется.



*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.*

Основное преимущество машин с горячей камерой прессования - отсутствие ручной операции заливки расплава в камеру прессования или устройства для ее автоматического выполнения: при каждом рабочем цикле расплав самотеком заполняет камеру прессования, расположенную в тигле раздаточной печи, а величина дозы определяется объемом рабочей полости и пресс-формы. Благодаря этому большинство машин с горячей камерой прессования работают в автоматическом режиме. Производительность машины высока – 600...720 запрессовок в час для машин с усилием запирания до 0,4 МН, а для малых автоматов достигает 1000...3600 запрессовок в час и определяется продолжительностью затвердевания отливки и ее охлаждения до температуры удаления из пресс-формы, так как длительность остальных операций относительно мала.

Основной недостаток машин с горячей камерой - камера прессования и пресс-поршень работают в тяжелых условиях: высокая температура и агрессивная среда жидких металлов. Поэтому горячекammerные 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 гузнека, мундштука, наконечников) огнеупорных материалов: карбидов, нитридов, окиси алюминия, боридов, обладающих высокой прочностью и стойкостью к расплаву при высоких температурах.

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, что зависит от требований, предъявляемых к отливкам и состава сплавов, из которых они изготовлены.



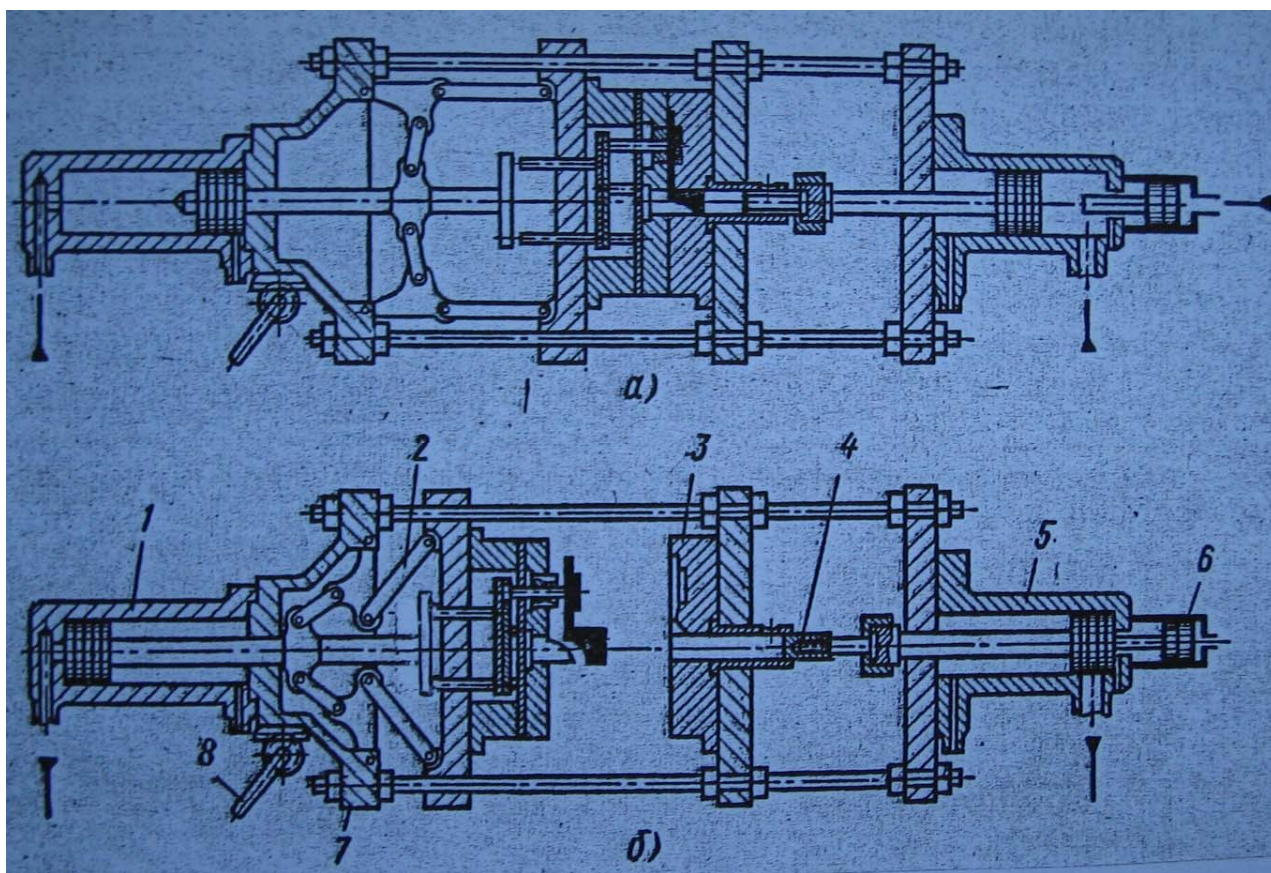
Для отливок с повышенными требованиями по плотности, прочности и герметичности используют давление прессования до 100 МПа.

Машины малой мощности имеют запирающее усилие от 0,1 МН до 0,4 МН, средней 0,63...4,0 МН, а машины большой мощности 4,0...10 МН. Машины с усилием запирания 10 МН позволяют получать отливки, из сплавов с плотностью  $6,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ , при давлении прессования 12 Мпа, массой не менее 28 кг.

Благодаря малым потерям теплоты 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 запирающим усилием 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 (см. рис. 3.17) трущиеся части – пресс-поршень и камера прессования – работают в более благоприятных условиях, чем в машинах с горячей камерой.



**Рис. 3.17.** Машина для литья под давлением с горизонтальной холодной камерой прессования: а – во время запрессовки расплава; б – после выталкивания готовой отливки; 1 – гидроцилиндр и 2 – рычажная система механизма запирания; 3 – прессформа; 4 – пресс-поршень; 5 – основной гидроцилиндр и 6 – мультипликатор механизма прессования; 7 – плита крепления механизма запирания; 8 – механизм настройки усилия запирания.

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...4,0 МН, тяжелые - 6,3...10,0 МН, а уникальные с горизонтальной камерой прессования могут развивать усилие запираания от 12,5 до 63,0 МН. Уникальные машины позволяют получать отливки массой более 50 кг.

Гамма унифицированных машин такого рода выпускается предприятиями нашей страны. Эти машины используют для изготовления отливок, в основном, из алюминиевых, магниевых, медных сплавов, реже из стали и других сплавов.

Машины с холодной камерой прессования выполняют 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.

Специальные машины для литья под давлением предназначены для изготовления одной или нескольких однотипных отливок или осуществления особых видов 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 подвергать их закалке при нормальном давлении. Их устройство аналогично тому, которое имеют машины с горизонтальной холодной камерой прессования.

Машина с горизонтальной холодной камерой прессования (рис. 3.17) состоит из следующих основных механизмов: запираания пресс-форм, прессования, гидравлического привода и системы управления. Во многих случаях машины оснащены системой для автоматического смазывания пресс-формы.

Запирающий механизм должен обеспечить надежное соединение половин пресс-формы, исключать возможность ее раскрытия и прорыв расплава по плоскости разъема во время подпрессовки. Наиболее распространены рычажные механизмы запираания.

Рабочая жидкость поступает в гидроцилиндр 1, посредством которого перемещается система рычагов 2 до соединения половин пресс-формы 3. В конечном положении рычажная система механизма запираания должна обеспечивать требуемое усилие запираания 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 изменяется не только толщина пресс-формы, но и размеры колонн, плит, рычажной системы и других деталей литейной машины, определяющих усилие запираания. На современных машинах усилие запираания контролируется специальными датчиками и может регулироваться автоматически.

Механизм прессования имеет гидроцилиндр 5, на штоке которого крепят пресующий поршень 4. Механизм прессования должен развивать требуемое для получения качественной отливки усилие 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, он имеет аккумуляторную установку высокого давления, представляющую собой газовый баллон и разделитель сред. Поршневой или разделитель другого типа исключает растворение азота в рабочей жидкости гидросистемы. Аккумуляторная установка соединена с насосом через обратный клапан, который препятствует снижению давления в аккумуляторе при падении давления в гидросистеме литейной маши-

ны, например, в результате срабатывания механизма запираания. Перед запрессовкой аккумуляторная установка должна быть полностью заряжена и рабочая жидкость в ней, 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 которого происходит перемещение пресс-поршня и запрессовка расплава в пресс-форму.

Запрессовка расплава производится в три фазы. В первой фазе пресс-поршень движется с небольшой скоростью (0,05... 0,5 м/с) для того, чтобы воздух из пресс-камеры успевал вытесняться через заливочное окно. Стремятся поддержать эту скорость такой, чтобы расплав не выплескивался из заливочного окна, а газы из свободного объема камеры прессования последовательно вытеснялись в атмосферу. Во второй фазе пресс-поршень движется со скоростью, обеспечивающей требуемую по технологии скорость впуска расплава в полость пресс-формы и длительность ее заполнения: скорость пресс-поршня составляет 1,5...7,0 м/с. В третьей фазе, начинающейся в момент окончания заполнения рабочей полости пресс-формы, происходит подпрессовка. В этой фазе прессования давление в системе обычно в 2...4 раза выше, чем во второй фазе прессования.

Для повышения давления на затвердевающую отливку механизмы прессования машин имеют специальные устройства различных конструкций. Так на схеме, изображенной на рис. 3.17 в качестве такого устройства использован мультипликатор. В момент окончания заполнения пресс-формы шток *б* мультипликатора выдвигается в поршневую полость основного цилиндра механизма прессования и увеличивает в ней давление рабочей жидкости, соответственно увеличивается 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 питатель затвердевает и давление не будет передаваться на затвердевающую отливку.

Гидравлический привод машины обеспечивает функционирование основных узлов машины. Обычно машины литья под давлением имеют встроенный индивидуальный привод, отличающийся компактностью, достаточной надежностью и малыми потерями.

Для обеспечения надежной и стабильной работы машины рабочая жидкость должна иметь высокую стабильность вязкости при изменении температуры, стойкость к окислению и образованию пены, не растворять газы, иметь высокую огнестойкость. Для стабилизации свойств рабочей жидкости машины для литья под давлением имеют систему регулирования температуры рабочей жидкости.

Системы управления. Универсальные машины для литья под давлением с холодной камерой прессования - 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 не только в условиях массового, но и серийного производства.*

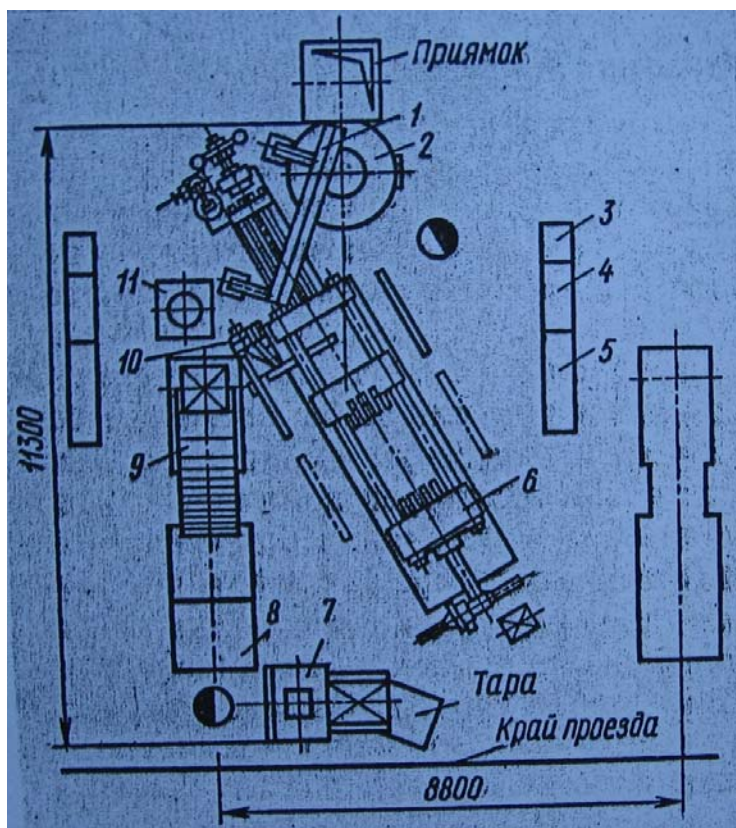
Современные литейные комплексы литья под давлением позволяют автоматически осуществлять все технологические операции процесса от заливки расплава в камеру прессования до отделения литников и облоя от отливки.

При использовании машины без средств автоматизации, обслуживающий ее оператор, выполняет ряд транспортных и манипуляторных, контрольных и управляющих функций.



Эти функции при выполнении той или иной операции совмещены. Например, при обдуве пресс-формы и нанесении смазочного материала на ее рабочие поверхности оператор контролирует наличие остатков облоя на ее плоскости разъема и удаляет эти остатки. Контролируя отливку внешним осмотром, оператор, на основе заключения о ее качестве, регулирует 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, требует 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 принятие решения о возможности начала очередного цикла. Поэтому автоматизация литья под давлением требует высокой надежности и стабильности выполнения отдельных операций процесса, работы оснастки и машины, вспомогательных и устройств контроля и регулирования параметров технологического процесса.

Автоматически действующие комплексы литья под давлением условно можно разделить на три системы: машина для литья под давлением; устройства для автоматизации манипуляторных и транспортных операций; 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 от отливок литников и облоя; системы для обдувки и смазывания рабочих поверхностей пресс-формы и камеры прессования; других механизмов (средств автоматизации околос машинных операций).

**Рис. 3.18.** Планировка автоматизированного комплекса для литья под давлением: 1 – заливочно-дозировующее устройство; 2 – раздаточная печь; 3 – система регулирования температуры расплава в печи; 4 –

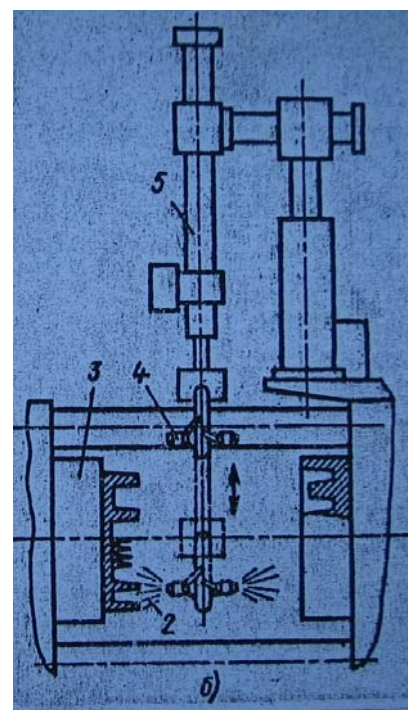
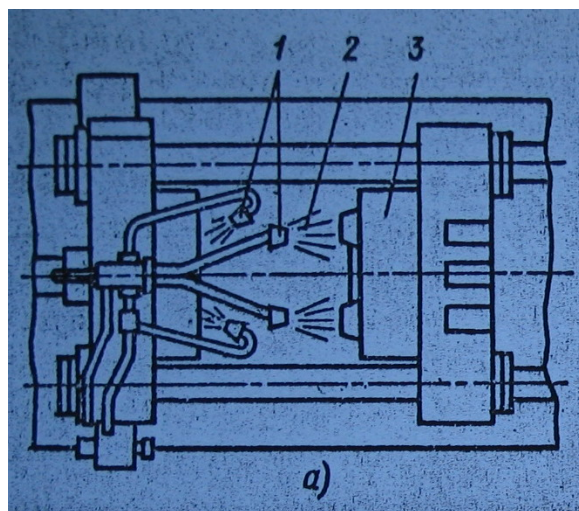
система контроля и регулирования температуры пресс-формы; 5 – система управления механизмами комплекса; 6 – литейная машина; 7 – обрубной пресс; 8 – приемный стол; 9 – конвейер; 10 – манипулятор; 11 – устройство для смазывания пресс-форм.

На рис. 3.18 представлена планировка автоматизированного комплекса машин для литья под давлением. Основа комплекса - 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 производится автоматическим устройством 11. Расплав подается из раздаточной печи 2 заливочно-дозировующим устройством 1 в камеру прессования машины. После

затвердевания и охлаждения отливки происходят раскрытие пресс-формы, выталкивание отливки и ее съем манипулятором 10, который может помещать отливку в ванну с охлаждающей водой. Далее отливка по конвейеру 9 перемещается на приемный стол 5 и после осмотра 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 охлаждения 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 одним, реже двумя операторами: один из них следит за работой машины, заливочно-дозировочного устройства, за раскрытием пресс-формы, за полнотой извлечения отливки из пресс-формы и т. д.; другой - за работой охладительного конвейера, транспортировкой отливок к обрубному прессу, контролирует качество отливок и обрубку их на прессе. Это связано с достаточно высокой вероятностью сбоев в системе управления современных комплексов для литья под давлением, которые могут привести к выходу из строя дорогостоящей оснастки и оборудования.

Для нанесения смазочного материала на рабочие поверхности пресс-формы, пресс-поршня и камеры прессования машины оснащают системами автоматического смазывания.



**Рис. 3.19.** Устройства для автоматического смазывания пресс-форм: а – неподвижными форсунками; б – подвижными форсунками; 1 – стационарные форсунки; 2 – аэрозоль смазочного материала; 3 – пресс-форма; 4 – подвижные форсунки; 5 – механизм перемещения форсунок.

Для смазывания поверхности пресс-формы используют стационарные форсунки 1 (рис. 3.19, а), которые обеспечивают подачу смазочного материала 2 в распыленном виде 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, подвижные - со сложной. Способы нанесения смазочного материала на поверхность открытой пресс-формы ухудшают условия труда, так как значительная его доля теряется в атмосфере цеха. Более прогрессивны устройства для смазывания пресс-форм в закрытом состоянии смазочными материалами без растворителей или с ограниченным их содержанием. Они способствуют экономии смазочных материалов, улучшению условий труда и повышению качества отливок.

Для автоматизации заливки расплава в камеру прессования используют дозирующие устройства, рассмотренные выше (в разделе 2.4).

Основные требования к дозаторам для литья под давлением - высокая надежность работы и точность дозирования. Это связано с тем, что изменение дозы расплава оказывает влияние на качество отливок, на интенсивность износа литниковой втулки и пресс-поршня, на 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 - надежное удаление отливки 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 достаточной точностью позиционирования (до  $\pm 0,1$  мм), скоростью перемещения схватов (до 0,5 м/с), необходимой грузоподъемностью.

Автоматизация манипуляторных операций съема отливки и обрубки требует дополнительных затрат на оборудование, площади и обслуживание, поэтому она выгодна в условиях массового, крупносерийного или гибкого быстро переналаживаемого производства отливок, когда такие затраты окупаются.

Автоматизация управления технологическим процессом предназначена для стабильного получения отливок заданного качества, повышения эффективности производства и является нижним уровнем АСУ ТП. Сущность задачи состоит в управлении качеством отливки путем регулирования технологических параметров процесса, определяющих качество. Для решения этой задачи необходимо располагать надежной и достоверной информацией о закономерностях влияния параметров технологического процесса на качество отливок, т. е. должны быть известны зависимости вида  $ПК=f(TП)$ , где  $ПК$  — показатели качества отливки (масса, точность, герметичность, внешние дефекты, дефекты объема и т. д.);  $TП$  — 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 осуществляется на нескольких этапах: внешним осмотром после ее извлечения из пресс-формы; 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, 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 улучшения качества, если показатель качества не соответствует уровню технических требований. В последнем случае оператор по указанию технолога изменяет параметры процесса, например скорости прессования, температуру заливаемого сплава или температуру пресс-формы.

Для контроля параметров технологического процесса, определяющих показатели качества отливки, машины литья под давлением оснащают специальными датчиками. Теория и практика литья под давлением показывают, что наиболее существенными параметрами технологического процесса, определяющими качество отливок при литье под давлением, являются: температура и доза заливаемого сплава; температура пресс-формы; усилие запирающего; 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 термопарами в тигле автоматического дозирующего устройства или раздаточной печи.

Доза заливаемого сплава определяется точностью автоматического дозатора и контролируется, чаще всего, по высоте пресс-остатка или перемещению пресс-поршня.

Усилие запираения 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 запираения не соответствует требуемому.

Для измерения скорости прессования применяют датчики различных конструкций (реохордные, индуктивные, импульсные и другие).

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 преобразователи. Переносные преобразователи - это контактные термопары, используемые для периодического контроля температуры. Они просты, но точность их показаний невелика и зависит от навыка оператора. Стационарные преобразователи - это термопары, вмонтированные 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 требовать изменения 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.

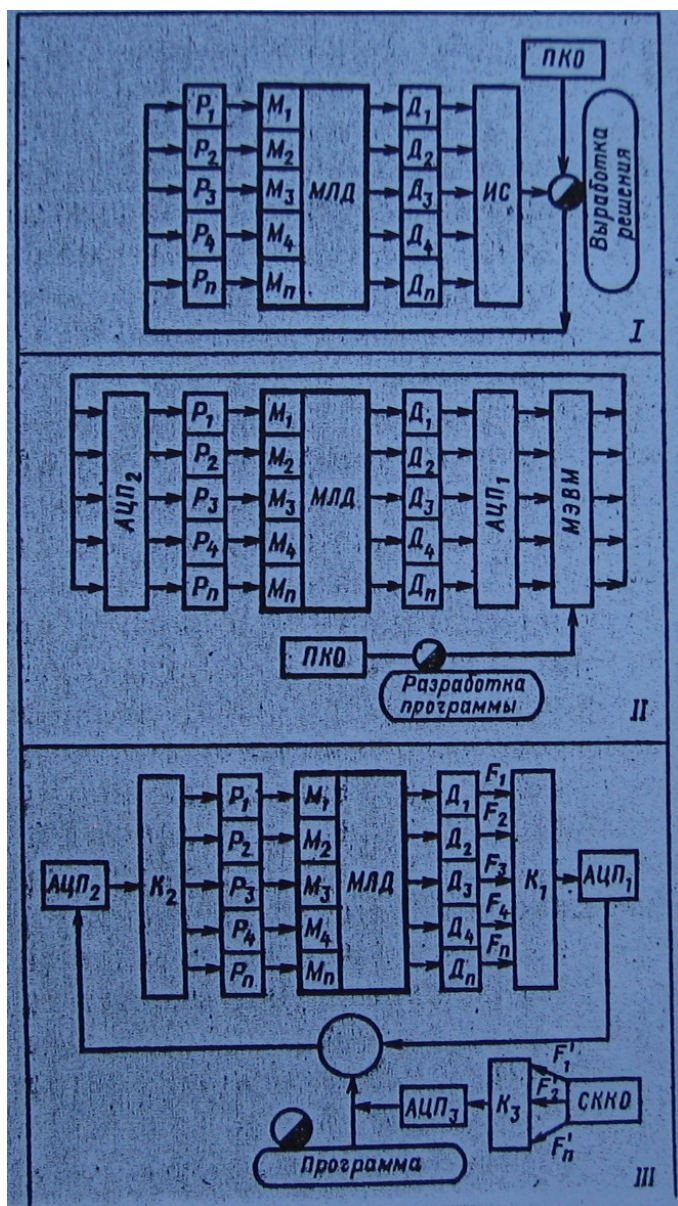
Стенды для контроля технологических параметров литья под давлением бывают стационарные, которые используют в составе каждого литейного комплекса и передвижные, с помощью которых можно обслуживать несколько машин для литья под давлением. Эти стенды позволяют контролировать все основные параметры: скорость прессующего поршня и подвижных частей машины; давление рабочей жидкости в гидросистеме машины; время нарастания давления подпрессовки; усилия прессования и выталкивания отливки; усилие запираения и температуру пресс-формы; длительность выдержки отливки в пресс-форме. Такие стенды могут иметь выход на ЭВМ, управляющую работой автоматического литейного комплекса.

Системы контроля параметров технологического процесса позволяют управлять качеством отливок на основе сопоставления результатов контроля их качества 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 различных уровнях [23].

На первом уровне механизмы  $M_1$ — $M_n$  машины МЛД оснащаются системой преобразователей  $D_1$ — $D_2$  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.





**Рис. 3.20.** Схемы автоматизации управления технологическим процессом литья под давлением: I – первый уровень; II – второй уровень; III – третий уровень управления.

На основе заключения о показателях качества отливки (ПКО) оператор выработывает 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.

На втором уровне (рис. 3.20, II) литейный комплекс оборудуется, кроме системы контроля параметров технологического процесса, ЭВМ, обрабатывающей сигналы системы контроля и вырабатывающей управляющие команды на регуляторы механизмов машины, для оптимизации параметров технологического процесса.

В этом случае на основе статистической обработки результатов контроля качества отливок, разрабатывают математические модели связи показателей качества и параметров технологического процесса. На основе таких математических моделей разрабатывают управляющие программы. ЭВМ, получая информации от

датчиков  $D_1, D_2, D_3, \dots$  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 третьем, высшем уровне (рис. 3.20, 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 по-

мощью систем второго уровня более проста и мобильна, требует меньших затрат, чем создание систем третьего уровня.

Создание систем второго и третьего уровней потребовало решения ряда научно-технических проблем. Первая проблема заключалась в создании высоконадежных и быстродействующих механизмов литейных комплексов: механизмов запирания и прессования, вспомогательных устройств, приборов управления исполнительными механизмами машины и преобразователей контроля параметров технологического процесса. Вторая проблема состоит в разработке быстродействующих и надежных систем автоматического контроля качества отливок.

Автоматизация управления технологическим процессом литья под давлением при использовании систем второго и третьего уровней требует создания математических моделей процесса, связывающих показатели качества отливок и параметры технологического процесса. Разработка таких моделей составляет третью проблему. Над решением этих проблем работают многие научные и производственные коллективы.

### 3.5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.

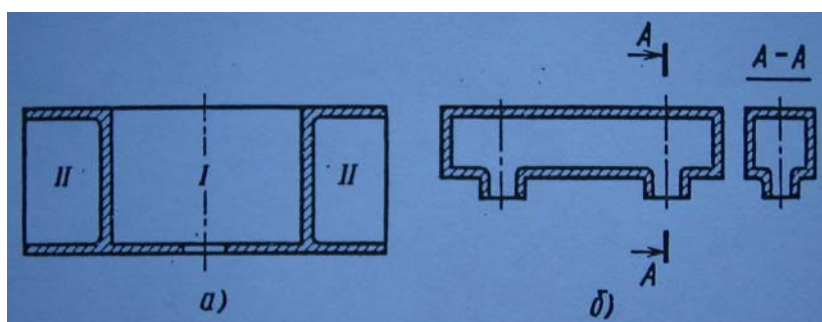
Проектирование технологического процесса осуществляется в несколько этапов и, как правило, на каждом из них возможные решения согласуются с конструктором изделия или заказчиком отливки, например, ее окончательная геометрия, объем последующей механической обработки (получаем отверстия литьем или механической обработкой, величина допустимых уклонов и т. д.), марка сплава и другие вопросы. Все это направлено на 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 этапом при разработке любого технологического процесса. Оценку начинают с изучения чертежа детали, технических требований, предъявляемых к ней. При этом обращается внимание и на условия эксплуатации будущей детали в изделии. Так, например, деталь может эксплуатироваться в морской воде или в климатической зоне с повышенной температурой и т.п. Это учитывается не только при выборе сплава, но и при назначении технологических режимов ее литья и финишной обработки.

Сплавы для литья под давлением.

Обычно технолог-литейщик имеет возможность выбора марки сплава лишь в тех случаях, когда в технической документации на деталь указан лишь его тип и не указана марка. В цехах литья под давлением чаще используют не первичные, а вторичные сплавы, что обусловлено экономическими соображениями. Наилучшими литейными свойствами обладают 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, АЛ2, АЛ9 и АЛ4, сплавы АК12, АК9 и АК7 в основном отличаются большим содержанием примесей и меньшей пластичностью.

Наружные очертания отливки должны быть такими, 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.



**Рис. 3.21.** Полости в отливках, полученных литьем под давлением: а – конструкция отливки, позволяющая использовать постоянные стержни; б –

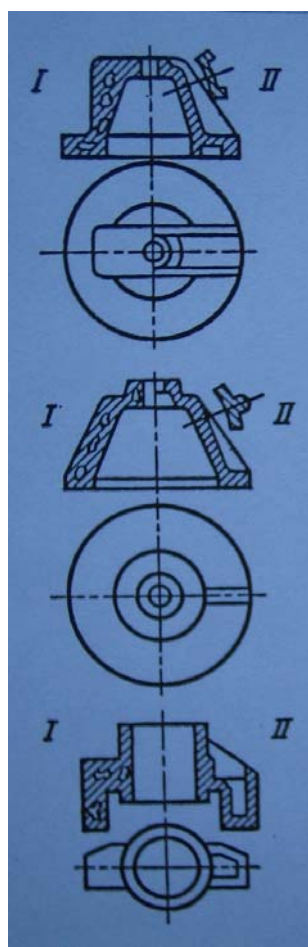


конструкция, требующая использования выплавляемых стержней или армирования.

Полости в отливках под давлением различают двух видов (рис. 3.21, а). Для получения первых *I* необходимы стержни и вкладыши, направление извлечения которых перпендикулярно к плоскости разъема пресс-формы. Для получения вторых *II* требуются стержни, направление движения которых не совпадает с направлением движения подвижной полуформы. Полости первого вида более технологичны, полости второго вида выполнить труднее.

Особый случай представляют полости с малыми выходными отверстиями (рис. 3.21, б). Для их получения необходимо использовать стержни специальной конструкции, чаще всего выплавляемые, или 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.



**Рис. 3.22.** Варианты конструкций отливок: *I* – неправильно; *II* – правильно.

Отливка, изготавливаемая литьем под давлением, должна быть равностенной (рис. 3.22). Это создает предпосылки для соблюдения принципа *одновременного затвердевания*. В противном случае, в массивных узлах отливки образуются крупные газо-усадочные поры и раковины. Создать при литье под давлением условия для направленного затвердевания, чаще всего не представляется возможным.

Обычно толщина стенки и конфигурация отливки назначаются из условия обеспечения необходимой жесткости и прочности ее конструкции. При этом следует обращать внимание, что, как правило, с увеличением толщины стенки отливок, получаемых литьем под давлением, плотность и механические свойства их материала падают, а 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  $l_{отл}$  стенок зависит от марки сплава, габаритов отливки, эксплуатационных характеристик литейного оборудования и других факторов. Так, например, для Zn-сплавов она может быть равной 0,5...2,0мм, для Mg- 1,0...3,0мм, для Al- 0,8...3,0мм, для Cu- 2,0...3,5мм.

Толщина ребер жесткости должна составлять (0,8...0,9)  $l_{отл}$ , а высота обычно не превышает 10  $l_{отл}$ .

Литейные уклоны.

Стенки и ребра отливки, перпендикулярные плоскости разъема, получаемые извлекаемыми стержнями должны иметь литейные уклоны. На внешних поверхностях 10...30 минут, а на внутренних от 30 минут до 2°. При назначении уклонов необходимо стремиться к тому, чтобы окончательный размер отливки не выходил за пределы поля допуска и учитывать то, что с уменьшением уклона усложняется ее извлечение 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 0,5мм. Так, например, если у отливки из алюминиевого сплава радиус сопряжения равен 0,5мм, то у такой же отливки из магниевых сплавов он должен быть не менее 1,5мм. Чем меньше радиус, тем более вероятно образование в местах сопряжения



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 их механическая обработка может быть исключена. Ниже приведены максимально допустимые глубины  $h$  глухих (в числителе) и сквозных (в знаменателе) отверстий в отливках из различных типов сплавов при минимально возможном их диаметре.

Zn-  $h=6/12$ мм;  $\varnothing_{\min} 1,0$ .

Mg-  $h=5,0/10$ мм;  $\varnothing_{\min} 1,5$ .

Al-  $h=3,0/6,0$ мм;  $\varnothing_{\min} 1,5$ .

Cu-  $h=3,0/4,0$ мм;  $\varnothing_{\min} 2,5$ .

*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 выборе литого варианта повышаются. Ведь перед запиранием пресс-формы мы должны каждый раз устанавливать в ее рабочую полость резьбовую сменную вставку (конструктивно она напоминает метчик, используемый в этих целях при механической обработке), а после извлечения отливки из пресс-формы вместе с этой вставкой, вывинчивать ее из отливки. Очевидно, что таких вставок необходимо несколько, а для их извлечения потребуются либо дополнительный рабочий, либо специальный автомат.

Ниже приведены минимально допустимый шаг  $H$  резьбы и ее диаметр  $\varnothing_{\min}$  в зависимости от основы материала отливки. В числителе наружный шаг (диаметр), а в знаменателе внутренних.

Zn-  $H=0,7/1,0$ мм;  $\varnothing_{\min}=4,0/10$ мм.

Mg-  $H=1,0/2,0$ мм;  $\varnothing_{\min}=6,0/25$ мм.

Al-  $H=1,0/2,0$ мм;  $\varnothing_{\min}=6,0/25$ мм.

Cu-  $H=1,0/-$ мм;  $\varnothing_{\min}=8,0/-$  мм.

Следует заметить, что литье под давлением позволяет получать отверстия и со специальной резьбой, получить которую механической обработкой сложно, и в условиях массового производства экономически не оправдано.

Зубчатые колеса.

Литье под давлением позволяет получать зубчатые колеса без механической обработки рабочей поверхности зубьев с минимально допустимыми размерами: диаметр 12...15мм; ширина 1,5...20мм; 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. Это технологический прием может быть использован для решения следующих конструкторских и технологических задач:

-местное увеличение прочности, износостойкости, электропроводности и других служебных свойств отливок;

-получение отливок со сложными каналами и полостями;

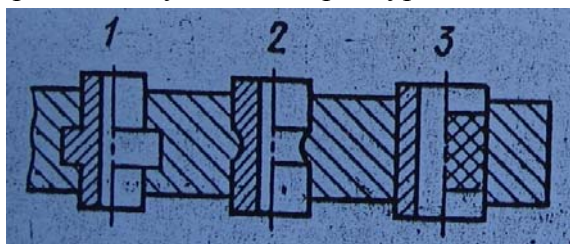
-экономия цветных металлов и т.д.;

-создание необходимых условий затвердевания в массивных частях отливки, когда арма-

тура 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 снаряженных, а в другие происходит установка арматуры.



*Рис. 3.23. Варианты разделки заливаемой части арматуры: 1 – внешний бортик; 2 – кольцевой паз; 3 – накатка.*

Примеры отливок: подошва утюга с залитым ТЭНом (термоэлектрическим нагревателем); ротора некоторых электродвигателей; колеса различного назначения со стальными втулками под запрессовку в них подшипников; корпусные детали, армированные стальными 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  $R_z 40$  до  $R_a 0,63$  мкм и точностью размеров до 10 квалитета, что соответствует 1 классу точности размеров отливок по ГОСТ 26645-85. Неоправданно завышенные требования к точности размеров отливки и шероховатости ее поверхности увеличивают себестоимость литья под давлением в результате больших затрат на изготовление пресс-формы, необходимости точного соблюдения технологических режимов процесса.

Шероховатость поверхности отливки зависит от многих факторов, одними из них являются: основа сплава, из которого она изготавливается; начальная шероховатость рабочих поверхностей пресс-формы и количество 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 Cu-сплавов это происходит после 250, из Al- и Mg-сплавов после 500, а из Zn-сплавов после 5000 запрессовок.

Точность размеров отливки 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  $\pm 0,15\%$  от 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 Al- сплавов его значение может быть принято равным 0,3...0,6; для Zn- сплавов 0,2...0,5; для Mg- сплавов 0,4...0,7, а для Cu-сплавов 0,5...0,8. На

практике меньшие значения коэффициента усадки назначают для тонкостенных отливок, а большие для толстостенных.

**Выбор машины.** Выбор типа литейной машины определяется материалом отливки и требованиями, предъявляемыми к ее качеству. Машины с горизонтальной холодной камерой прессования могут быть использованы для изготовления отливок из всех перечисленных выше сплавов. Их использование, при производстве отливок из Zn- и Mg-сплавов, менее рентабельно, чем машин с вертикальной горячей камерой прессования.

Машины с вертикальной холодной камерой прессования используются при изготовлении отливок из Al-, Zn- и Mg-сплавов.

Существующие технические возможности позволяют использовать машины с вертикальной горячей камерой прессования лишь для Zn- и Mg-сплавов. Перспективность использования этих машин для сплавов других типов объясняется самопроизвольным выполнением операции заливки расплава в камеру прессования, которая на них установлена в тигле и погружена в расплав.

При изготовлении отливок из Al-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 термообработке при нормальном давлении и их использование при повышенных температурах.

Выбор параметров литейной машины начинают с анализа требований, предъявляемых к отливке, что позволяет оценить минимально необходимое давление  $(p_{np})_{min}$  прессования, используя, например, приведенные ниже данные. При этом, чем больше толщина стенки отливки, тем более высокое давление прессования требуется для обеспечения ее качественных характеристик. Так в таблице, меньшие значения соответствуют толщине стенки около 3мм, а большие 5...7мм.

Рекомендуемое давление прессования (МПа).

Требования, предъявляемые к отливке	Материал основы сплава		
	Al	Mg	Zn
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

Далее, задавшись количеством отливок одновременно получаемых в пресс-форме (количеством 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 указываются их максимальные значения.

Определив минимально необходимое давление прессования, задавшись количеством рабочих гнезд в пресс-форме и определив площадь проекции (суммарную площадь проекции, смоченной расплавом поверхности рабочих полостей пресс-формы, включая каналы

литниковой системы) куста отливок на ее плоскость разъема, рассчитывают усилие  $P_{рас}$  раскрытия пресс-формы. Принимая коэффициент запаса равным  $1,0 \dots 1,5$ , определяют необходимое усилие  $P_{зап}$  запираания, которое должна обеспечивать литейная машина  $P_{зап} \geq (1,0 \dots 1,5)P_{рас}$ . 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 запираания модель литейной машины, из ее паспортных характеристик узнаем усилие  $P_{пр}$  прессования, которое развивает данная модель. Далее можно, например, выбрать диаметр  $D_{кп}$  (площадь  $F_{кп}$  поперечного сечения) камеры прессования исходя из условия  $(p_{пр})_{min} \leq P_{пр} / F_{кп}$  обеспечения необходимого давления прессования и произвести 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 использования машины другой модели (например, с большим усилием запираания), либо об изменении диаметра камеры прессования и получения отливок при меньшем давлении прессования и т.д.

Все эти несложные инженерные расчеты выполняются, чаще всего, в несколько приемов и направлены на обеспечение условия нераскрытия пресс-формы ( $P_{зап} > P_{рас}$ ) и требуемого давления прессования, достаточности объема камеры для заливки в нее требуемой дозы расплава.

При использовании 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  $70 \dots 75\%$  от ее рабочего объема). В пресс-формах с глубокими неподвижными вставками, решая противоположную задачу, для уменьшения рабочего объема камеры прессования и увеличения степени ее заполнения расплавом в подвижной полуформе устанавливают рассекатель. Эта деталь при запираании 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 раскрытии пресс-формы и выталкивании пресс-остатка из камеры.

В соответствии с размерами пресс-формы и ее конструкции определяют другие необходимые технические характеристики машины: расстояние между колоннами по горизонтали и вертикали, допустимую наибольшую и наименьшую толщину формы, ход подвижной плиты машины, наибольший ход гидровыталкивателя, 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 ее плоскости разъема, места подвода расплава, разработку конструкции литниковой и вентиляционной систем, назначение припусков на обработку резанием, уклонов и допусков на размеры отливок.

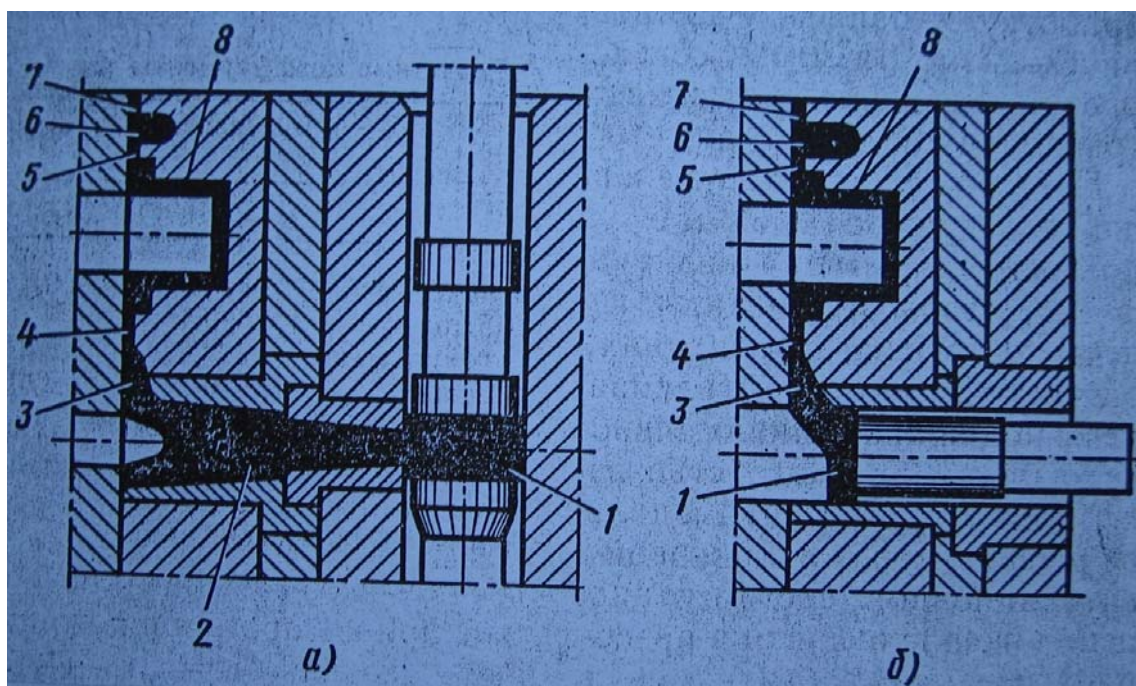
Положение отливки в пресс-форме и ее плоскость разъема выбираются исходя из следующих основных условий. При раскрытии пресс-формы отливка и литниковая система должны оставаться в ее подвижной половине, а после срабатывания механизма выталкивания покидать пресс-форму самопроизвольно (при изготовлении 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 рациональный подвод расплава в ее рабочую полость, расположение каналов литниковой и вентиляционной систем. При этом необходимо стремиться к тому, чтобы центр действия усилия раскрытия пресс-формы как можно ближе располагался к силовой оси литейной машины (к центру действия усилия запираения). В противном случае на подвижную плиту машины будет действовать изгибающий момент, что повышает вероятность раскрытия пресс-формы при запрессовке расплава, снижает долговечность литейной машины.

При выборе положения отливки в пресс-форме необходимо учитывать и возможность ее последующей механизированной или автоматической финишной обработки. *Специальные пресс-формы позволяют производить многие финишные операции (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.



**Рис. 3.24.** Литниковые системы при литье на машинах с камерами прессования: а – вертикальной; в – горизонтальной; 1 – пресс-остаток; 2 – литниковый ход; 3 – подводящий канал; 4 – питатель; 5 – соединительный канал; 6 – промывник; 7 – вентиляционный канал; 8 – рабочая полость пресс-формы.

Припуски на обработку резанием назначают в соответствии с рекомендациями ГОСТ 26645-85 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 2, соединяющего камеру прессования с полостью формы, подводящего канала 3, питателя 4. При литье на машинах с горизонтальной камерой прессования (рис. 3.24, б) - из подводящего канала 3 и питателя 4. Сокращение пути расплава в литниковой системе является основным преимуществом машин с горизонтальной

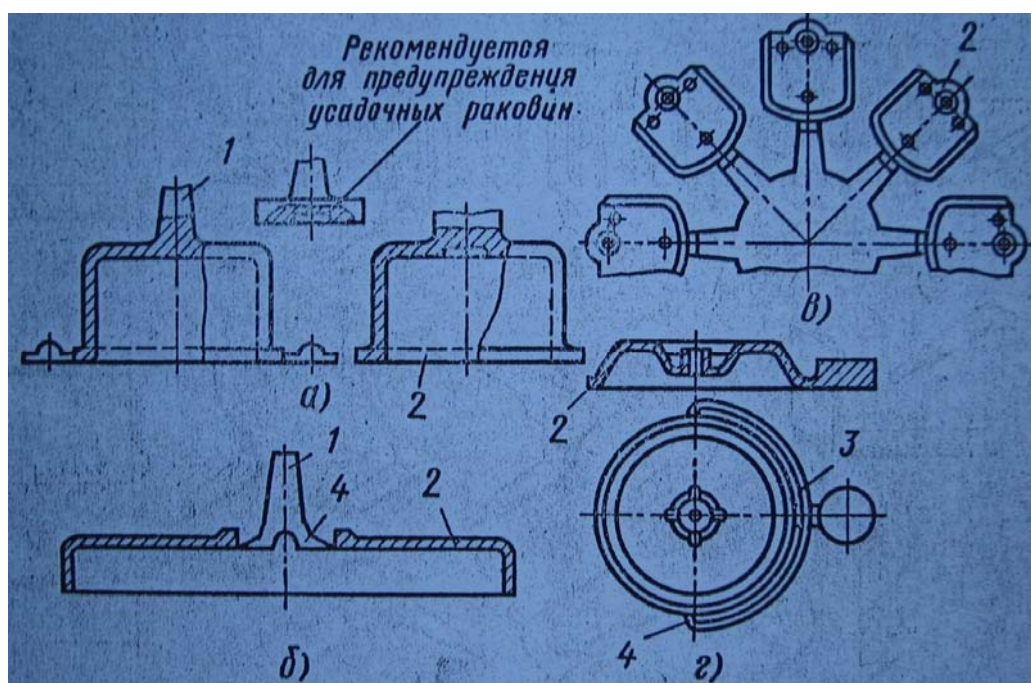


камерой прессования.

К литникам относят также пресс-остаток *1*. 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  $0,5 \dots 0,7$  от диаметра  $D_{кп}$  камеры прессования, причем высота тем меньше, чем выше температура камеры прессования и пресс-формы.

Вентиляционная система пресс-формы состоит из каналов *7* в виде щелей глубиной  $0,05 \dots 0,3$  мм и шириной  $5 \dots 30$  мм. Вентиляционный канал *7* может сообщать полость формы непосредственно с атмосферой или через промывник *6*, соединенный с полостью формы *8* каналом *5*. Промывник *6* устанавливают для слива первых порций расплава, загрязненных воздухом, окисными 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 литниковые системы трех типов: прямая, внутренняя и боковая.



**Рис. 3.25.** Литниковые системы: а – прямая; б – внутренняя; в, г – боковые; 1 – литниковый ход; 2 – отливка; 3 – коллектор; 4 – питатель.

Прямая литниковая система (рис. 3.25, а) не имеет подводящего канала, литниковый ход *1* непосредственно соединяется с полостью формы. Эта литниковая система обеспечивает направленное заполнение формы сплошным потоком, чаще применяют ее для отливок, не имеющих в центре отверстий. Тепловые и гидравлические потери расплава в таких системах минимальны, поэтому такую систему используют для заполнения формы твердо-жидким сплавом с небольшой скоростью впуска. Это позволяет уменьшить газовую, воздушную и усадочную пористость в отливках, повысить их механические свойства и плотность, 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 *4*, 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) наиболее распространена 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 3 (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 следующие принципы:

-исключать 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 задиров на отливке, способствует повышению долговечности пресс-формы;

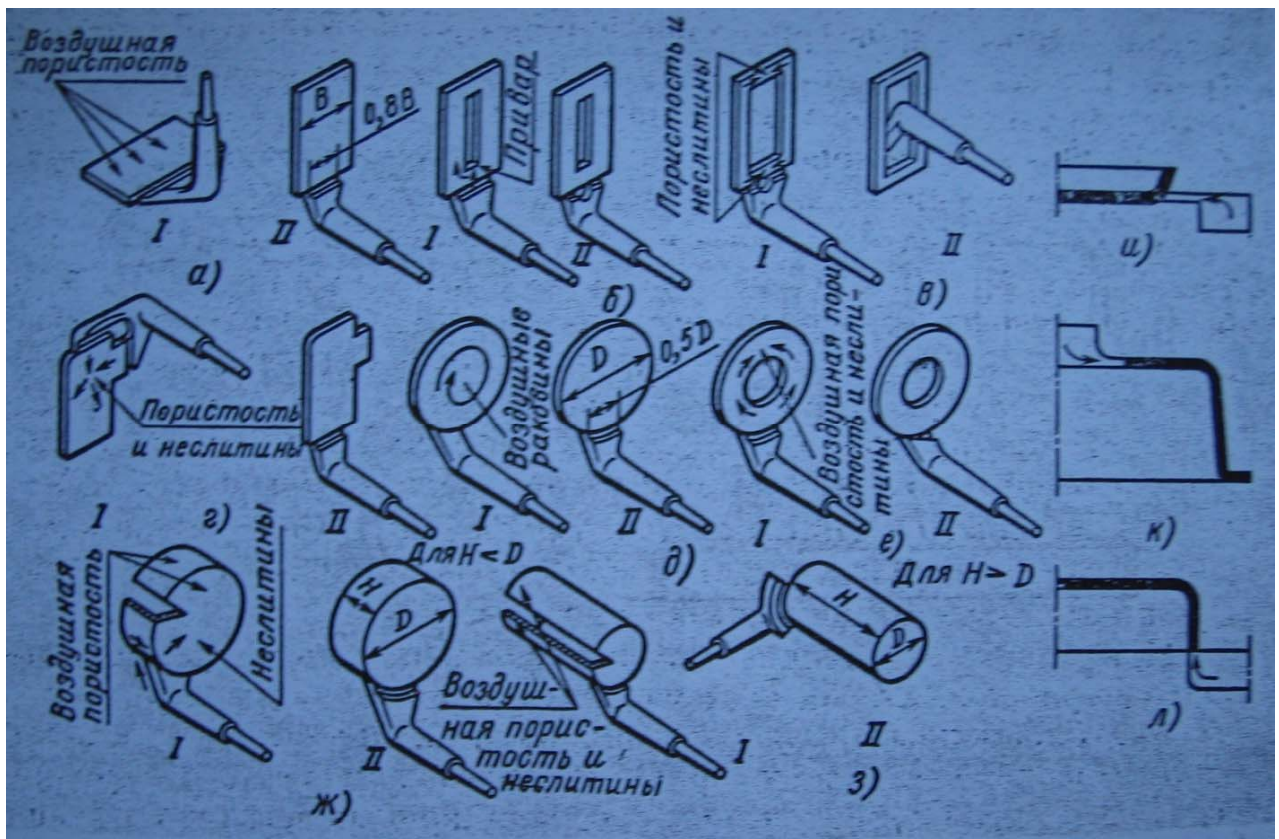
-избегать встречи потоков расплава в форме;

-расплав должен поступать параллельными струями;

-располагать питатель так, чтобы движение потока расплава способствовало последовательному вытеснению воздуха и продуктов разложения смазочного материала через вентиляционные каналы из полости пресс-формы на обрабатываемых поверхностях отливки (последнее относится и к соединительным каналам промывников и направлено на снижение трудоемкости зачистки отливок).

Для соблюдения принципа одновременного затвердевания, расплав чаще всего подводят в тонкие сечения. При изготовлении толстостенных отливок и использовании прямой литниковой системы расплав подводят в массивное место.

Большое влияние на качество отливки - наличие неспаев, пористости оказывает расположение питателя по ширине рабочей полости пресс-формы. В отливках типа прямоугольной пластины (крышки, плато приборов и т. д.) питатель необходимо подводить к меньшей стороне отливки, ширина питателя должна составлять 0,8 ширины  $B$  отливки (рис. 3.26, а). При подводе расплава к длинной стороне воздух и продукты разложения смазочного материала не успевают выйти из пресс-формы, в результате в отливке образуются раковины, неслитины. При изготовлении отливки типа рамки с небольшим отверстием расплав лучше подводить двумя потоками (рис. 3.26, б), при подводе через один широкий питатель возможно выпаривание тонкого стержня к отливке. В отливках типа рамок 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.



**Рис. 3.26.** Подвод расплава к отливкам различной конфигурации: I - неправильный; II – правильный.

Следует избегать столкновения в отливке потоков расплава из двух питателей (рис. 3.26, г). Для отливок типа кольца целесообразно применять тангенциальный подвод расплава (рис. 3.26, д, е).

К отливкам типа цилиндрических корпусов (диаметр  $D$  больше высоты  $H$ ) расплав следует подводить через питатель, примыкающий к донной части (рис. 3.26, ж, з), соблюдая при этом правила подвода питателя к плоским круглым пластинам (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.

Для создания сплошного направленного потока большое значение имеют конструкция питателя и направление выхода из него струи в полость формы. Для отливок типа невысоких крышек 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.

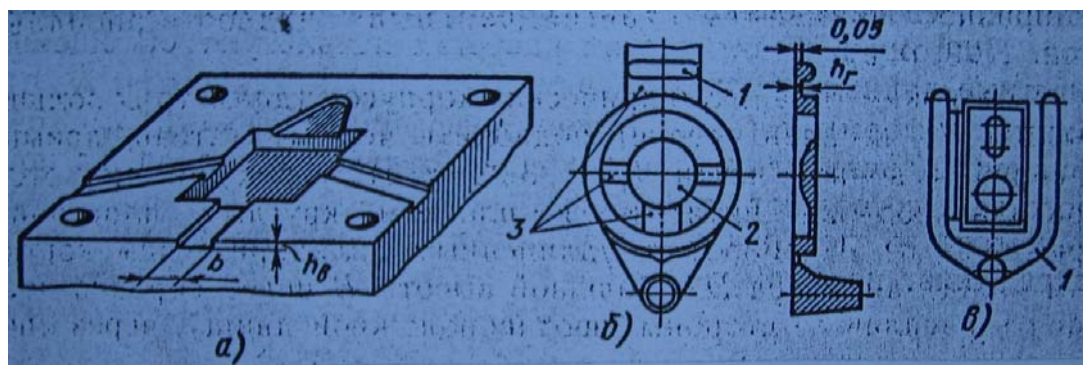
При заполнении формы сплошными потоками вентиляционные каналы устанавливаются в местах, наиболее удаленных от питателя, или местах соединения потоков расплава.

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 ( $h_в$ , мм), вентиляционных каналов принимают в следующих пределах в зависимости от основы заливаемого сплава:

Pb-	0,05...0,10;
Zn-	0,08...0,12;
Al-	0,10...0,12;
Mg-	0,10...0,15;
Cu-	0,15...0,20;
стали и чугуны-	0,20...0,30.

Меньшие значения принимаются для сплавов с большей жидкотекучестью.



**Рис. 3.27.** Конструкции вентиляционных каналов (а) и промывников (б), (в) в пресс-форме: 1; 2 – промывники; 3 – соединительные каналы.

Ширина  $b$  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  $(0,5 \dots 0,6) h_g$ , так как они могут быть закупорены, а удаление облоя из них задача сложная, так как требует полной или частичной разборки пресс-формы.

Для удаления первых порций расплава, загрязненного продуктами разложения смазочного материала, воздухом, газом, окислами, 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

$$h_r = (0,8 \div 0,9) (l_{отл})_{\min},$$

где  $(l_{отл})_{\min}$  – минимальная толщина (стенки отливки, размера её микрорельефа 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 заполнения ее расплавом. 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 оправдано увеличение объема промывников. Повышение плотности, прочности и герметичности сложных корпусных достигается как использованием местных, небольших по объему промывников, так и других технологических приемов, например вакуумированием пресс-формы.

Определение размеров каналов литниковой и вентиляционной системы

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:

$$f_{\text{п}} u_{\text{вп}} = V_0 / t_{\text{зап}}, \quad (3.1)$$

где  $f_{\text{п}}$  - площадь поперечного сечения питателя;  $u_{\text{вп}}$  - скорость расплава в выходном сечении питателя;  $V_0$  - объем отливки с промывниками;  $t_{\text{зап}}$  - время заполнения формы. Поскольку

$$V_0 = G / \rho, \quad (3.2)$$

где  $G$  — масса отливки с промывниками;  $\rho$  — плотность расплава, то подставив (3.2) в (3.1), получим

$$f_{\text{п}} = G / (\rho u_{\text{вп}} t_{\text{зап}}). \quad (3.3)$$

При определении скорости впуска расплава  $u_{\text{вп}}$  и продолжительности  $t_{\text{зап}}$  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  $K = u_{\text{вп}} t_{\text{зап}}$ . Коэффициент  $K$  зависит от конфигурации отливки и сплава, из которого ее изготавливают. Так для Al- сплавов его значение может быть принято равным 4,41...6,09; для Zn- сплавов 1,57...2,16; для Mg- сплавов 4,78...7,32, а для Cu-сплавов 1,37...1,89. Большие значения 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 [4, 17], 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 продолжительность их заполнения  $t_0 \approx 0,06$  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 коэффициенты:  $K_1 = 0,75 \dots 2,0$  и принимается тем больше, чем меньше толщина отдельных элементов отливки (ребер, микрорельефа надписей на ней и т.д.) и сложнее ее конфигурация;  $K_2 = 2,5 \dots 1,0$  учитывает давление прессования (при давлении прессования свыше 100 МПа  $K_2 = 1,0$ ).

Продолжительность заполнения формы  $t_{\text{зап}}$  находят, исходя из условий обеспечивающих соединение отдельных струй расплава в момент окончания заполнения пресс-формы, по формуле

$$t_{\text{зап}} = K_3 K_4 t_0, \quad (3.6)$$

где коэффициенты:  $K_3 = 1,1 \dots 0,5$  учитывает тип заливаемого сплава и уменьшается с повышением температуры плавления и снижением его жидкотекучести ( $K_3 = 1,0$  для отливок из Zn-сплавов);  $K_4 = 0,5 \dots 1,5$  учитывает толщину стенки отливки (для толщин более 9,0 мм  $K_4 = 1,5$ ).

Подставляя (3.5) и (3.6) в уравнение (3.3) зависимость для расчета площади поперечного сечения питателя для одного гнезда пресс-формы принимает вид

$$f_{\text{п}} = G / (\rho K_1 K_2 u_0 K_3 K_4 t_0). \quad (3.7)$$

После подстановки значений скорости выпуска  $u_0$  и времени  $t_0$  заполнения в формулу (3.7) получим:

$$f_{\text{п}} = 1,12(G / (\rho K_1 K_2 K_3 K_4)). \quad (3.8)$$

Определив скорость выпуска по формуле (3.5), из уравнения неразрывности находим скорость перемещения прессующего поршня (скорость прессования):

$$u_{\text{пр}} = u_{\text{вп}} f_{\text{п}} / F_{\text{кп}}, \quad (3.9)$$

где  $F_{\text{кп}}$  - 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 толщину питателя: для Zn-сплавов равной 0,6...1,7 мм; для Mg- 1,0...2,5 мм; для Al- 0,8...2,0 мм, соответственно.

Площадь поперечного сечения трапецевидного подводящего канала принимают  $F_{\text{пк}} = (1,2 \dots 1,5) f_{\text{п}}$ .

Глубину  $H_{\text{пк}}$  и ширину по средней линии  $B_{\text{пк}}$  подводящего канала определяют по эмпирическим формулам

$$H_{\text{пк}} = 0,77 \sqrt{f_{\text{п}}}, \quad B_{\text{пк}} = (1,55 \dots 1,95) \sqrt{f_{\text{п}}}.$$

Кромки питателя и подводящего канала, выходящие на плоскость разъема формы, не должны иметь округлений, 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  $f_{\text{в}}$  поперечного сечения вентиляционных каналов, 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  $v_{\text{зв}} = \sqrt{(kR T/M)}$  - скорость звука, максимальная скорость истечения газов из пресс-формы;  $k$  - показатель адиабаты;  $R$  - универсальная газовая постоянная;  $T, M$  - температура и средняя молекулярная масса газов в рабочей полости пресс-формы (для обычного процесса  $M = 30 \dots 40$  кг/кмоль);  $\mu_{\text{в}}$  - коэффициент расхода вентиляционного канала (для обычного щелевого канала  $\mu_{\text{в}} = 0,1 \dots 0,2$ ).

Из приведенного соотношения видно, что полнота удаления газов из пресс-формы зависит не только от площади  $f_{\text{в}}$ , но и от молекулярной массы газов в пресс-форме ( $M \geq 4,0$  кг/кмоль для гелиевого процесса), от длины вентиляционного канала ( $\mu_{\text{в}} \approx 0,5$ , если длина не превышает 2...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 её рабочую полость. При этом эффективное управление газовым режимом процесса может происходить путём уменьшения количества газообразных продуктов, подлежащих удалению из рабочей полости пресс-формы после начала её 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, оптимизация 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 воспользоваться вакуумированием пресс-формы и камеры прессования или кислородным процессом.

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 разделе 3.2.

Продолжительность выдержки отливки в пресс-форме до извлечения определяют, пользуясь методами расчета, известными из теории формирования отливки [1].

**Средства автоматизации околomашинных операций.** Эти и устройства управления технологическим процессом выбирают в зависимости от характера производства (опытное, серийное, массовое) в соответствии с рекомендациями, изложенными в разделе 3.4.



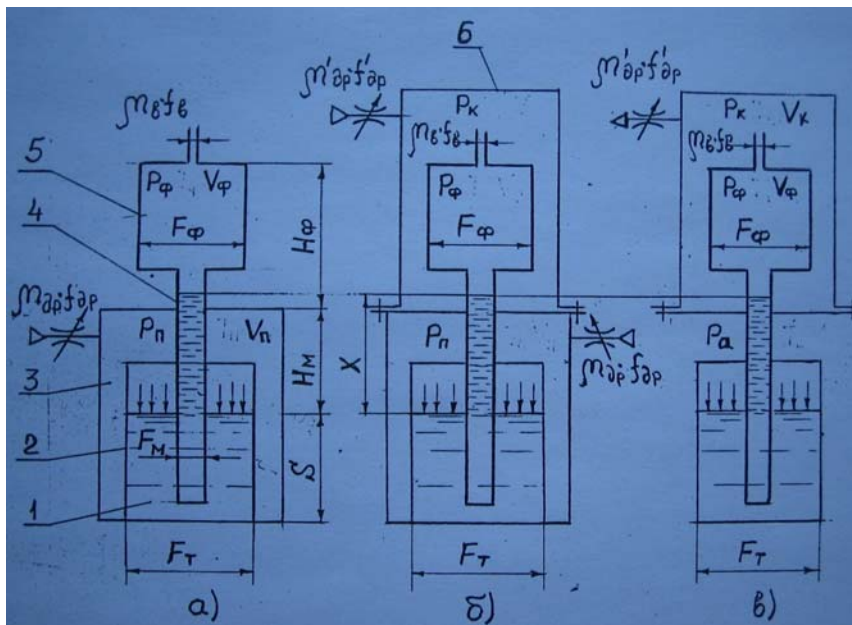
## ГЛАВА 4. ЛИТЬЕ ПОД РЕГУЛИРУЕМЫМ ДАВЛЕНИЕМ

### 4.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Методы литья под регулируемым низким давлением (ЛРД) используют при заполнении формы и кристаллизации расплава разницу давления газа, который действует на зеркало расплава в печи установки и в полости литейной формы (регулируемое газовое давление – ЛРГД) или давление в металле, создаваемое электромагнитным насосом. По величине скоростей течения металла в форме они занимают промежуточное место между обычным заполнением формы при литье в кокиль и литьем под давлением.

Способы ЛРГД относительно молодые, появились в промышленности после II мировой войны, хотя идея их высказывалась ранее, в частности академиком А.А. Бочваром и профессором А.Г. Спасским.

Общим технологическим признаком этих методов является заполнение формы расплавом, путем выдавливания его снизу вверх из тигля установки через металлопровод, под действием перепада газового давления  $\Delta p$ . На рис. 4.1. представлены упрощенные схемы установок для литья под регулируемым газовым давлением.



**Рис. 4.1.** а – под низким давлением; б – с противодавлением; в – вакуумным всасыванием; 1 – расплав; 2 – тигель с расплавом; 3 – герметичная печь установки; 4 – металлопровод; 5 – литейная форма; 6 – камера герметизирующая форму.

$\mu_b, \mu_{др}, \mu'_{др}$  – коэффициенты расхода вентиляционной системы формы, дросселя камеры печи, дросселя

камеры формы;

$f_b, f_{др}, f'_{др}$  – площади сечения вентиляционной системы формы, дросселя печи, дросселя камеры формы;  $P_a$  – атмосферное давление;  $P_\phi, V_\phi, P_n, V_n, P_k, V_k$  – давление и объем формы свободного пространства печи, камеры для размещения формы;  $F_\phi, F_m, F_m$  – площади поперечного сечения рабочего пространства формы, металлопровода и зеркала металла в тигле;  $S$  – высота металла в тигле;  $H_m$  – высота металлопровода, не заполненного металлом к началу процесса.

Если давление газа в полости формы ( $p_\phi$ ) равно атмосферному ( $p_a$ ), а заливка формы осуществляется благодаря созданию избыточного давления газа над поверхностью расплава в тигле установки ( $p_n = p_{изб}$ ), такой процесс называется *литье под низким давлением* (ЛНД рис. 4.1а). При этом:

$$\Delta p = p_n - p_\phi = p_{изб} - p_a.$$

Термин «низкое давление» используют потому, что для заполнения расплавом формы требуется избыточное давление обычно не более 0,05 МПа.

Положим, что вначале в камерах, где расположена форма и тигель с металлом создано одинаковое, но больше атмосферного, давление воздуха или газа  $p_k = p_\phi = p_n = p_a$ .

Затем подача воздуха в камеру формы прекращается, а в камеру печи продолжается. Тогда расплав будет подниматься по металлопроводу вследствие разницы давлений  $\Delta p$  (рис. 4.1.б)

$$\Delta p = p_{\text{п}} - p_{\text{ф}} = p_{\text{изб}} - (p_{\text{а}} + \Delta p_{\text{ф}})$$

По-видимому, того же результата можно достичь, если на втором этапе понижать давление в камере формы, оставляя постоянным давление в камере печи. Такие процессы называют литье под низким давлением с противодавлением, или сокращенно *литье с противодавлением* (ЛПрД).

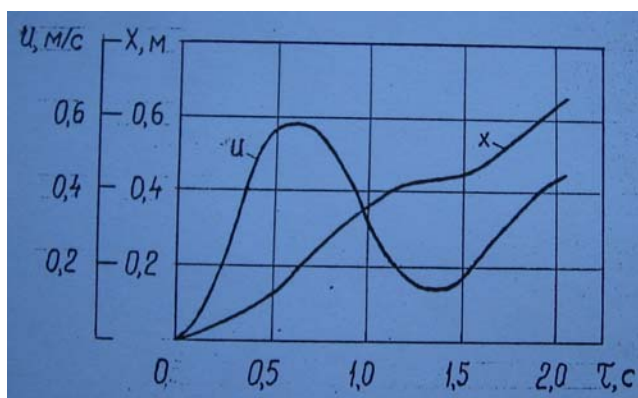
Если в герметичной камере с формой *б* создавать вакуум, а над металлом в тигле сохранять атмосферное давление, то заполнение формы произойдет за счет разницы давлений:

$$\Delta p = p_{\text{а}} + p_{\text{ф}}$$

Такой способ литья называют *литьем вакуумным всасыванием* (ЛВВ) (рис. 4.1.в).

Очевидно, пневматические и гидравлические процессы при заполнении формы рассмотренными способами имеют единую физическую природу.

Анализ этих процессов показывает, что при определенных режимах наблюдается ярко выраженное колебание скорости заполнения расплавом литейной формы. В качестве примера на рис. 4.2 показаны изменения уровня металла ( $x$ ) и скорости течения металла в форме при заполнении панели размером 350x550x5 мм их сплава АЛ4 на установке ЛНД.



**Рис. 4.2.** Изменение высоты заполнения  $X$  и скорости заполнения  $u$  при литье панели ЛНД.

Уменьшить отрицательный эффект пульсации скорости заполнения металлом формы можно:

- использованием для работы первого периода колебательного процесса, что приемлемо для небольших, невысоких отливок с малым временем заполнения формы;
- уменьшением амплитуды колебательного процесса для 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  $V_{\text{п}}/V_{\text{ф}}$ , отношения  $F_{\text{т}}/F_{\text{ф}}$ , площади сечения  $f_{\text{др}}$ , повышения давления воздуха или газа в ресивере (магистральной). Для ЛВВ имеет большое значение параметр  $\omega = \mu_{\text{в}} f_{\text{в}} / (\mu_{\text{др}} \cdot f_{\text{др}})$  и отношение  $V_{\text{к}}/V_{\text{ф}}$ .

Характерные общие черты всех этих способов следующие:

1) для подъема расплава из тигля установки до верхней точки полости формы на высоту  $H_{\text{м}} + H_{\text{ф}}$  необходимо приложить к расплаву в тигле избыточное относительно формы давление  $p_{\text{зап}} = \rho g (H_{\text{м}} + H_{\text{ф}} + \Delta H) + \Delta p_{\text{пот}}$ , (где  $\Delta H$  - понижение уровня расплава в тигле при заполнении формы;  $\Delta p_{\text{пот}}$  - гидравлические потери в системе);

2) скорость подъема расплава можно регулировать, изменяя скорость нарастания давления  $p_{\text{зап}}$ ; при большой скорости нарастания давления  $p_{\text{зап}}$  скорость подъема расплава

может стать настолько большой, что расплав будет фонтанировать из металлопровода, при оптимальной скорости расплав быстро, но плавно заполнит 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; свободных объемов камер *б* и *з*, объема формы, процессов прогрева газа, подаваемого в камеру установки и т. д.;

4) движение расплава в металлопроводе и полости формы — неустановившееся, характер его и скорость движения расплава 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 гидравлических сопротивлений ее звеньев — металлопровода, полости формы, литниковой системы.

Таким образом, *установки литья под регулируемым давлением — сложные динамические системы, позволяющие регулировать скорость заполнения формы расплавом.* Использование таких установок позволяет заполнить формы тонкостенных отливок, изменить 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 позволяет улучшить условия питания отливки, повысить ее качество — механические свойства и герметичность. Положительное влияние давления газов на процесс формирования отливки, возможность благодаря этому повысить качество литого металла отмечал еще Д. К. Чернов [1].

В рассматриваемых процессах после заполнения формы давление действует на расплав, который из тигля через металло-провод 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, используя способ заполнения формы по схеме показанной на рис. 4.1, *в*, возможно после заполнения форм перекрыть металлопровод в верхнем сечении специальным затвором, а затем создать в камере установки давление, существенно большее атмосферного. Тогда 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. Благодаря действию всестороннего давления газа объем отливки уменьшается на некоторую малую величину по ее внешним контурам, а поскольку объем расплава в форме остается прежним, то питание отливки протекает более интенсивно, объем усадочных пор в ней также уменьшается.

Используя ту же схему установки (см. рис. 4.1, *б*) возможно вначале 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 понизит содержание растворенных в расплаве газов и уменьшит пористость в отливках. Возможен и другой процесс:

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 был разработан Н. Н. Белоусовым и получил название «*вакуумно-компрессионное литье*» (ВКЛ). Этот способ литья позволяет 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 обеспечивают также автоматизацию операций сборки и раскрытия форм, выталкивания отливки и ее удаления из

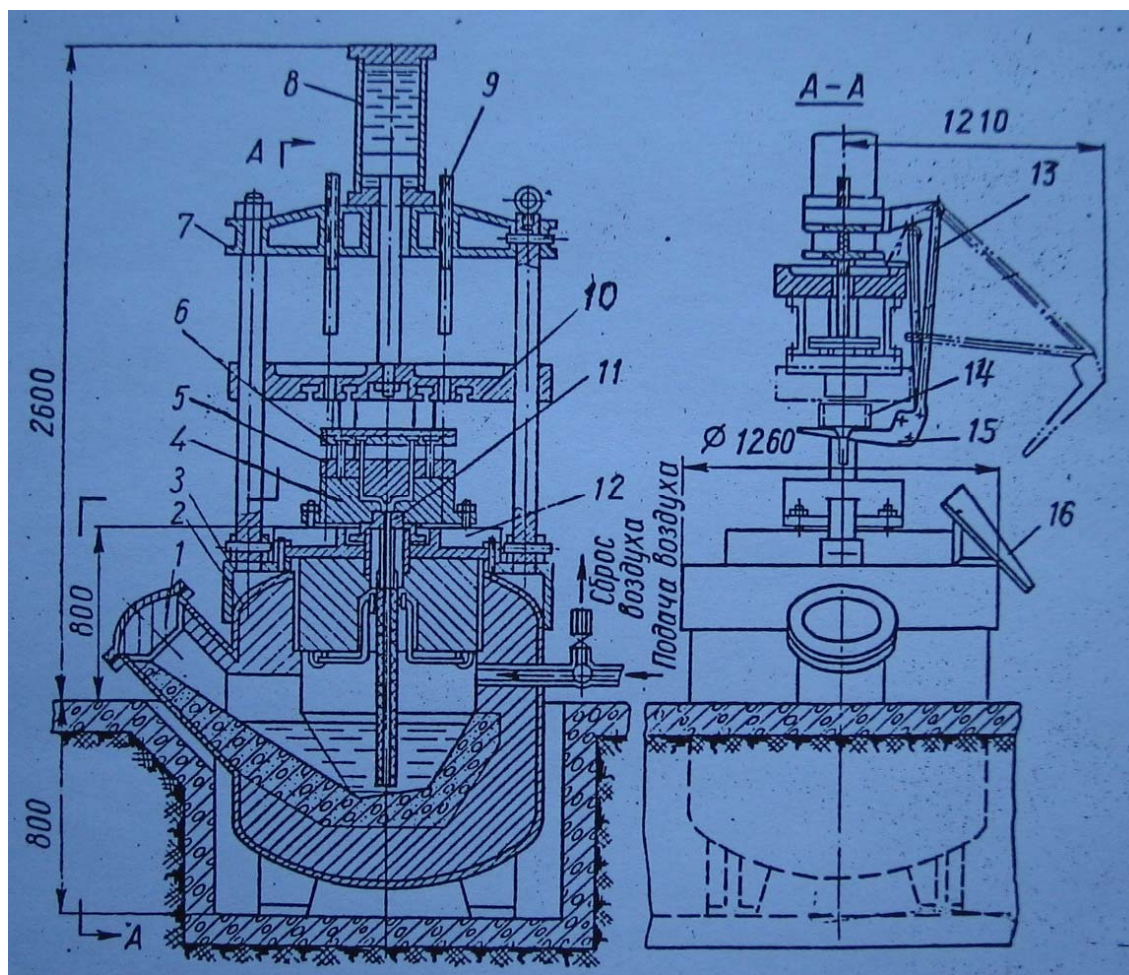


формы. Таким образом, процессы литья под регулируемым давлением позволяют повысить качество отливок и обеспечить автоматизацию их производства.

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 (вакуумно-компрессионное литье).

#### 4.2. ЛИТЬЕ ПОД НИЗКИМ ДАВЛЕНИЕМ (ЛНД)

Установки ЛНД обычно состоят из механизмов сборки и разборки форм, отделения отливок от формы и стержней (по существу состав 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 ЛНД для получения отливок из алюминиевых сплавов.

- 1- крышка заливочного окна, 2 – металлораздатчик, 3 – рама печи, 4 – нижняя половина формы, 5 – верхняя половина формы, 6 – плита толкателей, 7 – неподвижная траверса, 8 – гидроцилиндр, 9 – штанги для движения плиты толкателей, 10 – подвижная траверса, 11 – металлопровод, 12 – плита, 13 – рычажный механизм, 14 – отливка, 15 – приемный лоток, 16 – склиз.

На рис.4.3. показана одна из установок ЛНД для получения отливок из алюминиевых сплавов в металлических формах с горизонтальной плоскостью разъема. Металлораздатчик 2 установки - герметезированная электропечь сопротивления ванного типа с заливочной горловиной, закрываемой футерованной крышкой 1 на паралоновой прокладке. На раме 3 печи, расположена плита 12 с металлопроводом 11 из жаростойкого материала. К нижней стороне этой плиты на болтах подвешен свод печи с нагревателями, а на верхней плоскости закреплена нижняя неподвижная половина формы 4. Верхняя половина формы 5 крепится в пазах подвижной траверсы 10. На неподвижной траверсе 7 размещен гидроцилиндр 8, предназначенный для перемещения верхней половины формы. Регулируемые по высоте штанги 9 служат для выталкивания отливки плитой толкателей 6 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 7 погружают в расплав так, что конец его не достает до дна тигля на 40...60 мм. Полость в отливке может быть выполнена металлическим, оболочковым или песчаным стержнем 1.

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 разницы между давлением в камере установки и атмосферным давлением расплав поступает в форму снизу через металлопровод 11, со скоростью, регулируемой давлением в камере установки. По окончании заполнения формы давление в системе может быть увеличено 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 извлекается и цикл повторяется.

ЛНД применяется самостоятельно и как дополнение к другим способам литья в качестве эффективного метода автоматического заполнения формы жидким металлом. Удобство способа, в последнем случае, связано с отсутствием необходимости герметизации формы. Его используют для получения отливок в песчаные, металлические, графитовые формы. В последнее время появились варианты заливки под низким давлением алюминиевых сплавов на автоматических линиях формовки безопочных форм типа Disamatic и другие. Самостоятельно ЛНД чаще используют для литья в кокили или кокили с песчаными оболочковыми стержнями, так как процесс сборки кокиля легче автоматизировать.

Способ ЛНД характеризуется следующими основными преимуществами, определяющими области его распространения и конструктивные особенности установок:

- управление гидродинамическими параметрами течения металла позволяет заполнить форму с минимальными потерями тепла, 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 литниково-питающей системы, сократить расход жидкого металла на нее, так как часто отсутствует необходимость устанавливать приливы;
- 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...2,0 раза;
- подача металла в форму снизу позволяет обеспечить ее плавное заполнение, уменьшить эффекты разбрызгивания и перемешивание металла, способствующие его окислению и захвату воздуха;
- уменьшена возможность окисления металла в печи и исключена вероятность попа-

дания 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 не только металлические, но 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: невысокая стойкость части металлопровода постоянно погруженной в расплав, что затрудняет использование способа для сплавов с высокой температурой плавления – чугуна и стали; сложность регулирования скорости потока расплава в форме, вызванная скоротечностью 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 производства ЛНД составляют отливки из алюминиевых сплавов. Реже 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 – 1,5 мм, средняя толщина для крупных отливок 3...6 мм; для медных сплавов минимальная толщина стенок отливок – 3 мм.

В характерную номенклатуру входят:

- 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 моховика и др.).

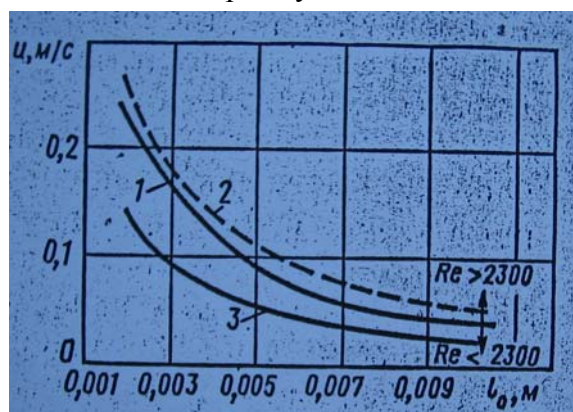
Причем, в крупносерийном и массовом производстве часть создают специализированные установки для изготовления одной или однотипных деталей. При этом динамические характеристики системы изменяются незначительно и процесс литья становится более устойчивым.

**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 качественное заполнение формы и исключая захват воздуха расплавом, образование в отливках газовых раковин, попадание в них окисных плен и неметаллических включений (см. раздел 3.3). Однако уменьшение скорости потока, необходимое для сохранения его сплошности, может вызвать преждевременное охлаждение и затвердевание расплава, то есть до полного заполнения формы. Поэтому, как и в других литейных процессах, *важно согласовывать гидравлические и тепловые режимы заполнения формы расплавом.*

Известно, что при литье алюминиевых сплавов нарушений сплошности потока в полость формы не происходит, если критерий Рейнольдса  $Re = uR/\nu < 2300$  (см. раздел 2.3) (где  $u$  — скорость потока,  $R$  — гидравлический радиус полости формы;  $\nu$  — кинематическая вязкость жидкости). Положим, что в простейшем случае полость формы — плоская щель толщиной  $2l_0$  достаточно большой ширины. Гидравлический радиус  $R = F/\Pi$  (где  $F$  — площадь сечения потока в плоскости, перпендикулярной вектору скорости;  $\Pi$  — периметр



сечения). Для плоской щели  $R=l_0$ , то есть половине толщины стенки отливки. Полагая, что отливка изготавливается из алюминиевого сплава ( $\nu=0,2 \cdot 10^{-6}$  м/с), построим зависимость  $u=f(Z)$  при  $Re=2300$ . Результаты расчета приведены на рис. 4.4. Область, лежащая над кривой 1, соответствует турбулентному режиму движения расплава, область под кривой 1 — ламинарному.



**Рис. 4.4.** Зависимость скорости подъема металла в форме от толщины стенки отливки.

1 — для  $Re = 2300$ ; 2 — при  $Z = 0,3$  м;  $\varepsilon = 0,0002$  м; 3 — при  $Z = 0,3$  м;  $\varepsilon = 0,0004$  м.

Связь между скоростью потока  $u$  в металлической форме — кокиле, расстоянием  $Z$ , которое проходит расплав, пока температура его поверхности не становится равной температуре кристаллизации, теплоемкостью  $c_1'$  расплава,

плотностью  $\rho$ , его коэффициентов  $\beta$  теплообмена между движущимся потоком расплава и стенкой формы, температурой  $T_\phi$  формы, температурой  $T_{кр}$  кристаллизации сплава, температурой его заливки  $T_{зал}$  и толщиной  $2l_0$  стенки отливки, выражается зависимостью [24]

$$Z = (c_1' \rho l_0 u / \beta) \ln[(T_{зал} - T_\phi) / (T_{кр} - T_\phi)] \quad (4.1)$$

Положим далее, что отливка имеет высоту  $Z = 0,3$  м и изготавливают ее из алюминиевого сплава, для которого

$$c_1' = 1,254 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K}), \quad \rho = 2500 \text{ кг}/\text{м}^3, \quad T_{зал} = 923 \text{ K}, \quad T_\phi = 473 \text{ K}, \\ T_{кр} = (T_L + T_S) / 2, \quad T_L = 873 \text{ K}, \quad T_S = 793 \text{ K}, \quad T_{кр} = 863 \text{ K}.$$

Кокиль покрыт огнеупорной краской толщиной  $\varepsilon = 0,0002$  м и теплопроводностью  $\lambda_{кр} = 0,3$  Вт/(мК), тогда  $\beta = \lambda_{кр} / \varepsilon = 1500$  Вт/(м<sup>2</sup>К).

Используя приведенные выше данные, построим зависимость  $u=f(Z)$ . Результаты расчета приведены на рис. 4.4 (кривая 2). Кривая 2 располагается несколько выше кривой 1. Это значит, 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 снижать скорость потока расплава, однако это может привести к его чрезмерному охлаждению. Тогда необходимо в допустимых пределах поднять температуру формы  $T_\phi$ , температуру заливки  $T_{зал}$  расплава или изменить условия теплообмена, увеличив, например, толщину слоя огнеупорного покрытия. Кривая 3 отражает результаты расчета зависимости  $u=f(Z)$  при  $\varepsilon = 0,0004$  м. Как видно на рис. 4.4, кривая 3 располагается в области ламинарного движения расплава, что создает лучшие условия для удаления газов и воздуха из полости формы, способствует более плавному ее заполнению, исключает замешивание окисных плен в расплав.

Для случая заполнения литьем под низким давлением песчаных форм согласовать гидравлические и тепловые режимы течения потока расплава в форме возможно, воспользовавшись уравнением

$$Z = \{ [c_1' \rho l_0 \sqrt{u} / 1,13b_2] \ln[(T_{зал} - T_\phi) / (T_{кр} - T_\phi)] \}^2 \quad (4.2)$$

где  $b_2$  — коэффициент тепловой аккумуляции формы.

Как видно из приведенного примера согласовать тепловые и гидравлические режимы процесса заполнения формы вполне возможно, используя общие положения теории формирования отливки.

Гораздо сложнее обеспечить движение расплава в форме с необходимой технологической скоростью, особенно, для получения 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 представляют 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 и его температура и другие параметры системы. По мере производства отливок от цикла к циклу работы уменьшаются масса расплава в тигле и его уровень, что также изменяет скорость движения расплава в форме.

Математическое описание поведения этой системы включает 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 этой системы. Наиболее важные практические выводы, вытекающие из результатов теоретических и экспериментальных исследований, сводятся к следующему.

В зависимости от сочетания конструктивных и пневматических параметров установки движение расплава в металлопроводе и литейной форме *при заполнении может происходить как при постоянной 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 пространства камеры печи ( $V_n$ ) площадь поперечного сечения отверстия металлопровода ( $F_m$ ), площадь зеркала расплава в тигле ( $F_T$ ) рис. 4.1а.

Увеличение объема рабочего пространства камеры печи увеличивает скорость потока, способствует гашению колебаний, но полностью их не исключает.

Уменьшение площади сечения 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 отверстия металлопровода не влияет на характер движения потока и скорость расплава на входе в форму. Это объясняется совместным влиянием размеров металлопровода и конструктивных параметров установки: отношения площади  $F_m$  сечения отверстия в металлопроводе и объема  $V_n$ , 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.

Увеличение площади зеркала расплава в тигле ( $F_T$ ) 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.

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.

Важное значение для обеспечения постоянства заданной скорости от заливки к заливке, т. е. по мере понижения уровня расплава в тигле, имеет система управления подачей воздуха в камеру установки. Наиболее удовлетворительные результаты можно получить 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  $0,01 \dots 0,02 \text{ МПа}$ ; это обеспечивает поддержание скорости заливки с погрешностью

10...15 %. Для установок ванного типа и с уравновешенным тиглем используют дроссельные системы регулирования подачи воздуха.

Конструкция полости формы и конструкция ее вентиляционной системы также оказывают влияние на характер движения расплава в полости формы. При заполнении форм сложных отливок с ребрами, бобышками создаются условия для захвата воздуха потоком расплава, попадания окислов с его зеркала внутрь отливки. Гидравлическое сопротивление полости формы оказывает существенное влияние на характер движения потока.

Конструкция вентиляционной системы влияет на характер движения потока расплава в полости формы и металлопроводе. Уменьшение площади вентиляционных каналов приводит к возрастанию противодавления воздуха в полости формы, способствует гашению колебаний и снижает скорость потока расплава. Площадь щелевых вентиляционных каналов для удаления воздуха из полости формы может быть найдена по формуле, предложенной В. Н. Майоровым

$$f_v \geq (1,7 \div 2,4) F_{отл} \cdot u \cdot \sqrt{T_v}, \quad (4.3)$$

где  $F_{отл}$  — площадь сечения отливки в направлении, перпендикулярном к потоку расплава,  $m^2$ ;  $T_v$  — начальная температура воздуха в полости формы,  $T_v \cong T_{ф}$ ,  $u$  — скорость расплава,  $m/c$ .

**Тепловые условия формирования отливки** при литье под низким давлением 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 часть формы. 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; вверху же формы располагают части отливки, не требующие питания.

**Статическое давление на расплав** по окончании заполнения формы улучшает контакт затвердевающей корочки и поверхности формы, вследствие чего увеличивается скорость затвердевания отливки. Вместе с тем давление воздуха на расплав в тигле способствует постоянной подпитке усаживающейся отливки, в результате чего уменьшается усадочная пористость, возрастает плотность и повышаются механические свойства отливки.

Однако, избыточное давление в потоке расплава при заполнении формы больше, чем при гравитационной заливке, и гидравлический удар, который возникает при окончании 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 стремятся заполнить форму расплавом с возможно меньшим перегревом, достаточным, однако, для хорошего заполнения формы. С уменьшением толщины стенки отливки и увеличением ее размеров температуру заливки принимают большей. Температуру кокиля также назначают с учетом свойств сплава, толщины стенки и размеров отливки, руководствуясь правилами, известными из практики кокильного литья.

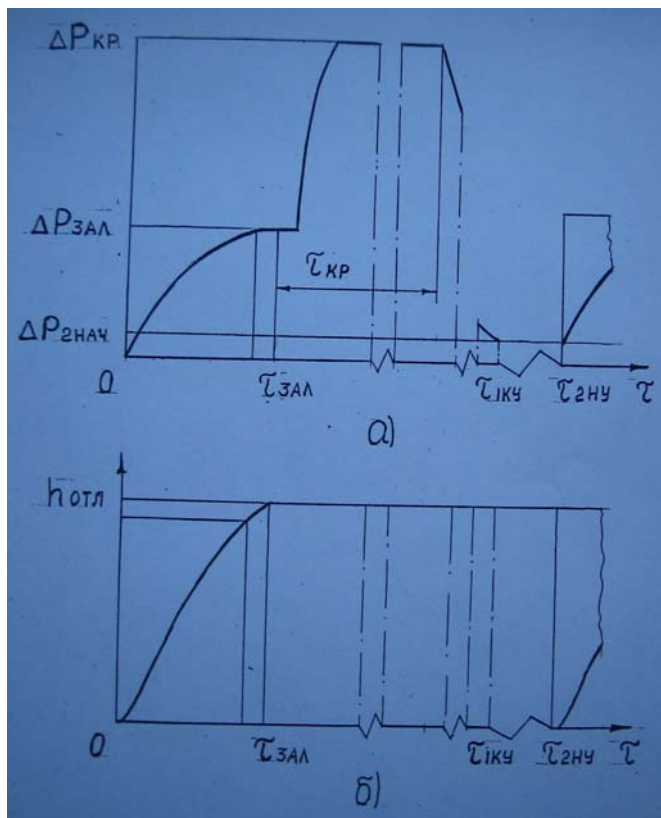
Литниковые системы конструируют с учетом литейных свойств сплава и конструкции отливки. Для отливок простой конфигурации литниковая система может состоять из одного элемента, непосредственно примыкающего к массивной части, для более сложных тонкостенных отливок — из литниковых ходов, коллектора и питателей.

**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 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.

1. Повышение избыточного давления воздуха в печи до максимально необходимо-го перепада давлений для заполнения формы  $\Delta p_{\text{зал}} = p_{\text{п.зал.}} - p_{\text{ф}}$  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).



**Рис. 4.5.** Режимы изменения параметров при ЛНД

а. Изменение избыточного давления  $\Delta P$  в цикле.

б. Изменение высоты заполнения формы.

Скорость течения металла в форме зависит от скорости нарастания давления в металлораздатчике и соотношения площадей поперечного сечения отливки на различных участках металлпровода 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. После достижения в системе  $\Delta p_{\text{зал}}$  необходима некоторая выдержка, так как заполнение формы сплавом про-

исходит с запаздыванием (рис. 4.5 б) из-за инерционности системы. Кроме того, после заполнения формы перед повышением давления целесообразна небольшая задержка для начала формирования корочки металла на поверхности формы, чтобы избежать появления пригара на отливке при использовании песчаных элементов формы.

3. Быстрое повышение избыточного газового давления до перепада  $\Delta p_{\text{кр}}$  (рис. 4.5 а) для периода затвердевания отливки.

4. Выдержка при этом давлении длительностью достаточной для затвердевания отливки.

5. Уменьшение давления для удаления жидкого металла из верхней части металлпровода. Чтобы исключить сильное колебание и перемешивание расплава в тигле, обеспечить идентичность условий заливки следующей отливки, избыточное давление сбрасывают плавно ( $\sim 0,01$  МПа/с) и не до конца, а до необходимого значения  $\Delta p_{2\text{зал}}$  для поддержания такого же уровня металла в металлпроводе, как в начале первого цикла. С этого значения избыточного давления, после удаления охладившейся отливки до температуры, обеспечивающей манипуляторной прочности и подготовки формы начинается новый цикл.

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 не существенно (достигнутая точность регулирования уровня металла в металлпроводе  $\pm 10$  мм) учет этого явления осуществляют через несколько циклов.

Рассмотренный режим пригоден для многих мелких и средних простых отливок, когда заполнение продолжается несколько секунд и из-за инерционности системы регулирование давления в этот период неэффективно.

Для крупных, разностенных, высоких отливок целесообразен более сложный режим, который предусматривает регулирование изменения скорости повышения давления



в печи на первой стадии, в соответствии с рациональной скоростью  $u$  течения металла в форме на разных участках по высоте.

Принципы определения рациональной скорости течения металла в форме, согласования гидравлических и тепловых параметров литья изложены ранее в подразделе: «Особенности формирования отливки при ЛНД».

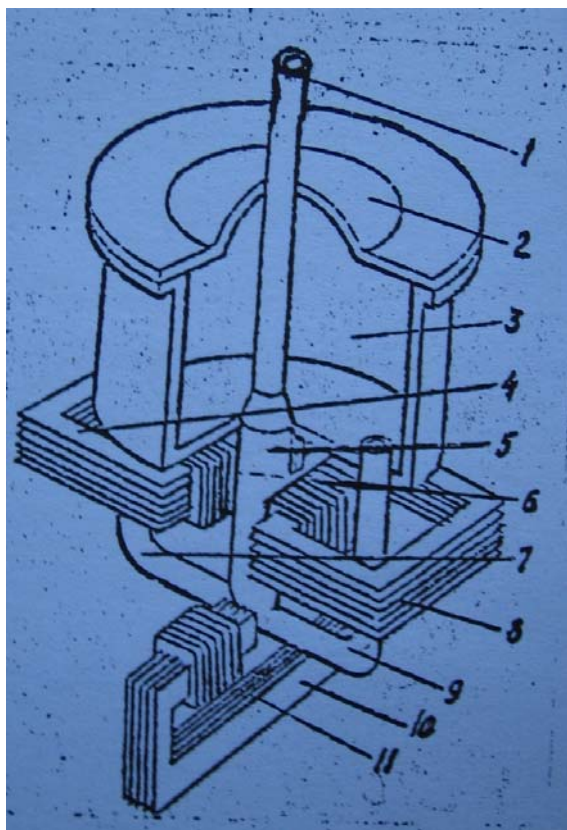
Для целесообразной номенклатуры отливок массового и крупносерийного производства, во многих случаях, достаточно металлической формы с одной горизонтальной плоскостью разъема и одной подвижной частью кокиля. Однако существуют и установки с возможностями по сборке и разборке форм сопоставимыми по сложности с кокильными машинами (рис. 2.4). Исключено лишь применение подвижных стержней снизу и сложно размещать систему выталкивания отливок в нижней половине кокиля.

Типаж оборудования ЛНД, разработанный АО НИИТАвтопром включает универсальные установки с максимальными размерами пространства для размещения форм от 400x320x250 до 1600x1250x1000 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 ЛНД осуществляют, используя магнитодинамический принцип подачи расплава в форму. Этот способ литья разработан в институте проблем литья АН Украины.

Схема варианта магнитодинамического насоса показана на рис. 4.6. Расплав из тигля 3 попадает в центральный канал 1 через два боковых вертикальных 7 и 9 и 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.



**Рис. 4.6.** Схема магнитодинамического насоса.

1 – металлоотвод, 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.

Наличие двух индукторов и отдельное управление электромагнитными системами позволяет реализовать различные режимы движения металла:

1. Насоса. При синфазном включении индукторов и электромагнита металл из печи по боковым каналам поступает в центральный канал – магнитопровод под некоторым давлением. Его величина определяется электрическими параметрами индукторов и электромагнита.

2. «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. 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 поддержи-

вать необходимый уровень металла в металлопроводе.

вать необходимую температуру металла в печи.

Объединяет этот процесс с ЛНД величины скоростей течения металла в форме и сходная методика определения гидравлических и тепловых параметров литья.

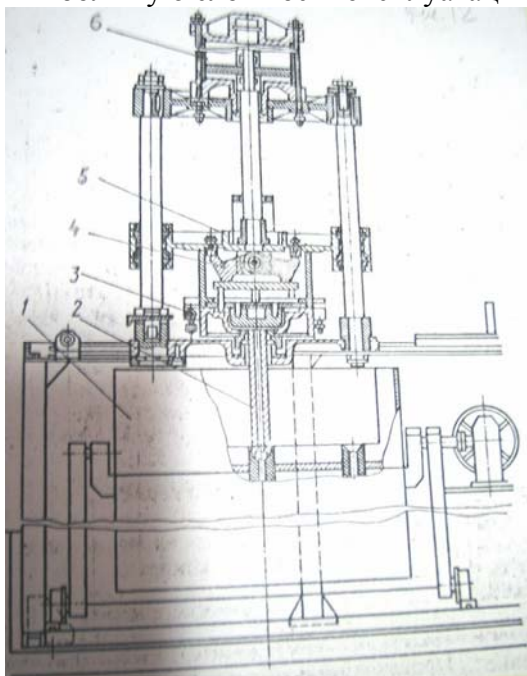
В отличие от установок с газовым давлением при этом способе не требуется герметизация металлораздатчика, что позволяет доливать металл в металлораздатчик без остановки процесса литья.

Дополнительные преимущества процесса:

- отсутствие сжимаемой газовой среды в камере установки упрощает реализацию необходимых режимов литья;
- повышается точность выполнения заданных режимов из-за меньшей инерционности электромагнитного воздействия;
- улучшаются условия регулирования тепловых условий литья – можно обеспечить перегрев расплава непосредственно в канале металлопровода.

Среди отрицательных отличий следует отметить:

- большую опасность выделения растворенного газа в расплаве и попадания его в отливку из-за отсутствия избыточного давления в ванне расплава;
- большую сложность эксплуатации установок.



**Рис. 4.7.** Установка модели ЛЭМД – 002 для получения отливок из алюминиевых сплавов.

1 – магнитодинамическая заливочная установка МДН-6А; 2 – металлопровод; 3 – кокиль; 4 – рычажное устройство, 5 – подвижная траверса, 6 – цилиндр подвижной траверсы.

На рис. 4.7 представлена установка модели ЛЭМД – 002 для литья алюминиевых сплавов в металлическую форму с типом магнитодинамического насоса, показанного на рис. 4.6. В установке использован рычажный механизм, увеличивающий усилие выталкивания отливок из верхней половины кокиля.

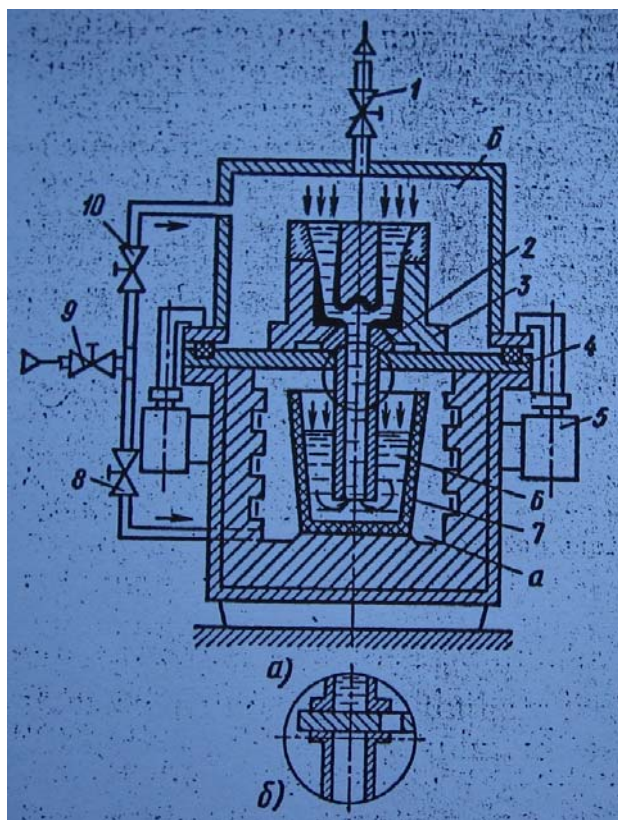
### 4.3. ЛИТЬЕ С ПРОТИВОДАВЛЕНИЕМ (ЛПрД)

Развитием способа литья под низким давлением является литье с противодавлением. Установка для литья с противодавлением (рис. 4.8 а) состоит из двух камер **а** и **б**. В камере **а**, устройство которой подобно герметической камере установки литья под низким давлением, располагается тигель 7 с расплавом **б**. В камере **б** находится форма 3, обычно



металлическая. Камеры **а** и **б** разделены герметической крышкой 4, через нее проходит металлопровод 2, соединяющий тигель 7 и форму 3. Камеры **а** и **б** прочно соединены одна с другой зажимами 5.

В начальный момент, сжатый воздух или инертный газ при требуемом по технологии давлении, например 0,12 МПа, поступает через вентили 8—10 в камеры **а** и **б**. 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 **б** понижается, и под действием разности давлений в камерах **а** и **б** расплав поднимается по металлопроводу и заполняет форму. Можно наоборот повысить давление в камере печи через вентиль 8. После заполнения формы давление в камерах **а** и **б** можно повысить, сохраняя их перепад, равный такому как в период заполнения формы. Обычно значение давления при кристаллизации отливки выше, чем в ЛНД (0,4...0,6 Мпа),



**Рис. 4.8.** Схема установки ЛПрД (а) и устройства для перекрытия металлопровода (б).

1, 8, 9, 10 – вентили пневмосистемы установки; 2 – металлопровод, 3 – форма, 4 – крышка печи, 5 – зажим, 6 – расплав; 7 – тигель.

что улучшает питание отливки, уменьшает усадочную и газовую пористость, 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. раздел 4.1).

Давление воздуха, под которым происходит заполнение формы расплавом, будет соответственно равно разнице давлений в нижней  $p_a$  и верхней  $p_b$  камерах установки:  $\Delta p = p_a - p_b$ . Скорость подъема распла-

ва в металлопроводе и полости формы так же, как и при литье под низким давлением, будет зависеть от всей совокупности рассмотренных выше конструктивных и пневматических характеристик системы, определяющих скорость нарастания разницы давлений  $\Delta p$ , во время работы установки. Поэтому закономерности процессов заполнения формы и расчетные зависимости, приведенные выше, справедливы и для процесса литья под низким давлением с противодействием.

Необходимо только учитывать, что под давлением повышается плотность используемого газа, сопровождающаяся ростом его теплопроводности. В результате время охлаждения и затем затвердевания отливок при ЛПрД может сократиться на 10...20%. Схемы изменения разности давлений  $\Delta p$  в период заполнения формы аналогичны показанной на рис. 4.5 и другим вариантам для ЛНД.

На производстве наряду с рассмотренным вариантом конструкции установок для литья с противодействием 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, после окончания 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 ЛНД при ЛПрД и 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 течении расплава. Отмеченное явление вместе с кристаллизацией отливки под более высоким газовым давлением и с увеличенной скоростью приводят к измельчению структуры металла, повышению его физико-механических и эксплуатационных свойств (табл. 4.1).

**Таблица 4.1** Прочность отливок из сплава АЛ9, полученных различными способами

Способ литья	$\sigma_b$ , МПа
Литье в кокиль	130...150 / 200...220
ЛНД давление 0,1 МПа	165...180 / 220...225
ЛПрД давление 0,4 МПа	170...185 / 225...250

*Примечание:* в числителе значение  $\sigma_b$  литого металла, в знаменателе - после термобработки по режиму Т5 (закалка с кратковременным искусственным старением).

Этот способ литья 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 и отливка затвердевает прежде, чем давление в верхней камере установки достигнет необходимой величины.

#### 4.4. ЛИТЬЕ ВАКУУМНЫМ ВСАСЫВАНИЕМ (ЛВВ)

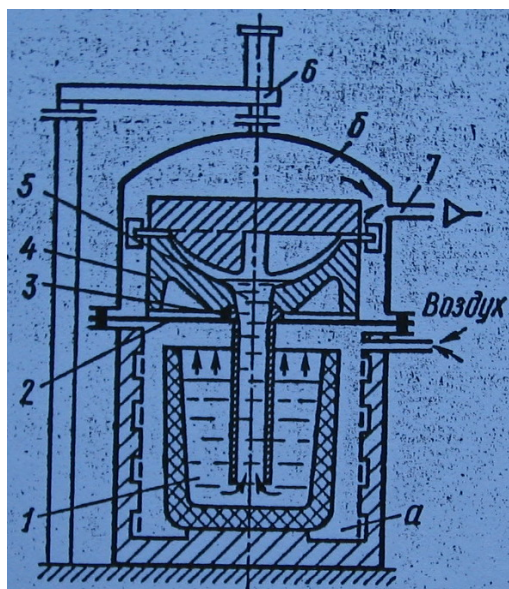
**Сущность процесса** литья вакуумным всасыванием состоит в том, что расплав под действием разрежения, создаваемого в полости формы, заполняет ее и затвердевает, образуя отливку. Изменяя разность между атмосферным давлением и давлением в полости формы можно регулировать скорость заполнения формы расплавом.

Кроме общих преимуществ способов литья под регулируемым давлением для ЛВВ характерно:

- 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 установки двух основных разновидностей.



**Рис. 4.9.** Схема установки для ЛВВ.

1 – тигельная печь сопротивления; 2 – крышка печи; 3 – металлопровод; 4 – форма; 5 – литниковая система; 6 – прижим камеры «а»; 7 – вакуум провод.

Установки первого типа (рис. 4.9) имеют две камеры: нижнюю **а** и верхнюю **б**. Нижняя камера **а** представляет собой раздаточную печь и электрическим или газовым обогревом, в которой располагается тигель 1 с расплавом. Верхняя камера **б** расположена на крышке 2 нижней камеры; в крышке 2 размещен металлопровод 3. Форму 4 устанавлива-



ют и закрепляют в камере **б** так, чтобы литник 5 соединялся в металлопроводе 3. Верхняя камера **б** герметически соединяется цилиндром прижимами 6 с крышкой 2. Полость верхней камеры **б** через вакуум-провод 7 соединена с ресивером, в котором насосом создается разрежение, регулируемое системой управления. В начальный момент клапан управления открывается, в камере **б** создается разрежение, и расплав вследствие разницы давлений в камерах **а** (атмосферное) и **б** (менее атмосферного) по металлопроводу 3 поднимается и заполняет полость формы. После затвердевания отливки клапан системы управления соединяет полость камеры **б** с атмосферой, давление в верхней и нижней камерах становится одинаковым, а остатки незатвердевшего расплава сливаются из металлопровода 3 в тигель 1. Камера **б** снимается, форма 4 с отливкой извлекается и цикл может повторяться.

Как и при литье под низким давлением, скорости движения расплава в металлопроводе и полости формы определяется сочетанием многочисленных конструктивных и пневматических параметров системы.

Подходы к определению рациональных режимов изменения избыточного давления  $\Delta p$ , обеспечивающих заполнение формы металлом и затвердевание отливок, общие для всех способов литья под регулируемым давлением (рис. 4.5). Отсутствие герметизации металлораздатчика не позволяет поддерживать уровень расплава в металлопроводе постоянными к началу каждого цикла. Он будет понижаться по мере расхода металла из металлораздатчика.

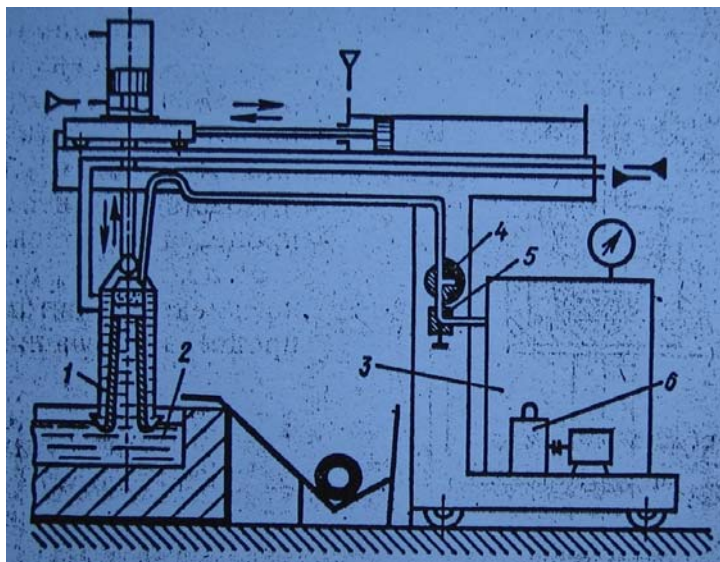
Методика выбора оптимальных гидравлических и тепловых параметров аналогична другим методам литья под регулируемым давлением.

В отличие от других методов при ЛВВ значительно влияет на динамику рабочего процесса величина отношения  $\mu_{в} f_{в} / (\mu'_{др} f'_{др})$  определяющая скорость нарастания разрежения в форме (рис. 4.1, в). При значении этого параметра  $< 3$  возникает опасность фонтанирования металла в форме. При увеличении его  $> 5$  возникает пульсация металла в форме, ухудшаются условия заполнения тонких сечений отливок. Отношение объема ресивера к объему камеры  $V_{к}$  для устойчивой реализации процесса заполнения формы должно быть равным 9..10, чтобы давление в ресивере во время вакуумирования формы изменялось незначительно.

Предпочтительной номенклатурой для этого способа являются различные колеса вентиляторов с прямыми и изогнутыми лопатками, колеса компрессоров с лопатками толщиной 0,7...1,0 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 усадки отливки через металлопровод, чем из прибылей.

Установки второго типа используют только для литья слитков и заготовок простой конфигурации в водоохлаждаемые кристаллизаторы.



**Рис. 4.10.** Схема установки для литья вакуумным всасыванием слитков, втулок, гильз.

1 – водоохлаждаемый кристаллизатор; 2 – тигель с расплавом; 3 – вакуумный ресивер; 4 – вакуумный кран; 5 – регулирующий напекатель; 6 – вакуум насос.

Носок металлического водоохлаждаемого кристаллизатора 1 (рис. 4.10) погружается в расплав, находящийся в тигле 2 раздаточной печи. Рабочая полость кристаллизатора,

образующая отливку, соединяется вакуум-проводом с вакуумным ресивером 3. Разрежение в системе создается вакуум-насосом 6 и регулируется натекателем 5. Поворотом распределительного крана 4 рабочая полость кристаллизатора соединяется с вакуумным ресивером 8. В полости кристаллизатора создается разрежение, и расплав всасывается внутрь кристаллизатора, поднимаясь на высоту, пропорциональную разрежению  $h_{рт}$  и обратно пропорциональную его плотности  $\rho$ :

$$H = h_{рт} \rho_{рт} / \rho, \text{ где } \rho_{рт} \text{ — плотность ртути. После затвердевания отливки носок}$$

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 усаживающуюся отливку, в результате чего отливка может быть получена плотной, без усадочных дефектов. Однако для получения плотных отливок без усадочных необходимо согласовывать интенсивности затвердевания и питания отливки.

Обычно при литье вакуумным всасыванием слитков, втулок расплав засасывают в тонкостенный металлический водоохлаждаемый кристаллизатор, благодаря чему отливка затвердевает с высокой скоростью, что способствует устранению ликвации в отливках из сплавов, склонных к ликвационным явлениям.

Способом, рассмотренным выше, 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 вызывает необходимость увеличения припуска на обработку резанием внутренней поверхности втулки. Для уменьшения припуска можно отливать такие заготовки с применением стержня, останавливаемого внутри кристаллизатора

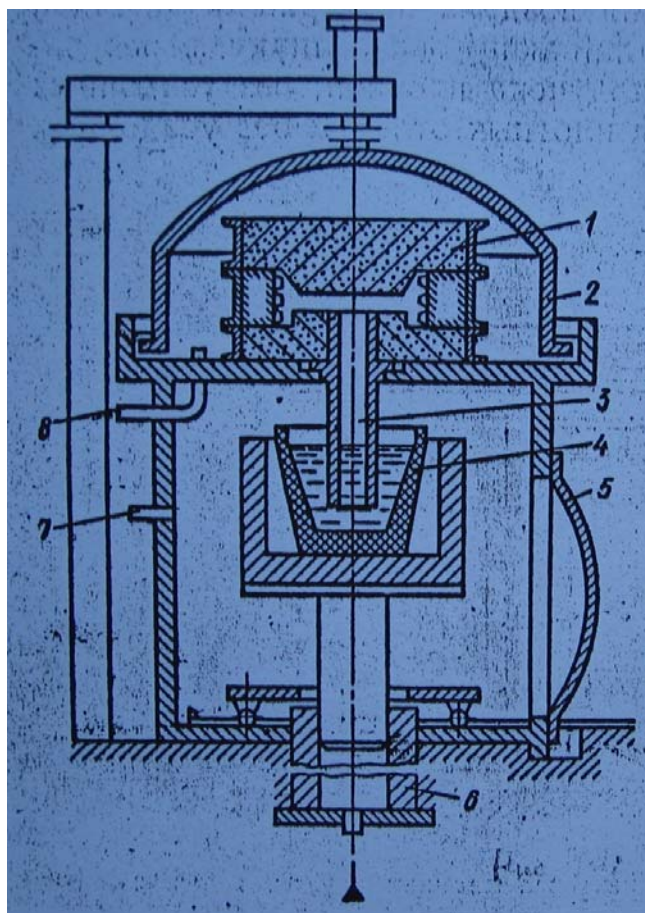
Способ позволяет получать отливки из легких цветных, медных сплавов, чугуна и стали. Наиболее часто этот способ используют для литья заготовок втулок, вкладышей, подшипников скольжения из дефицитных и дорогостоящих медных сплавов.

#### 4.5. ВАКУУМНО-КОМПРЕССИОННОЕ ЛИТЬЕ

Этот способ совмещает предварительное вакуумирование расплава с целью понижения содержания в нем растворенных газов, заливку расплава в форму вакуумным всасыванием и всестороннее давление воздуха на затвердевающую отливку.

*Рис. 4.11. Схема установки для вакуумно-компрессорного литья.*

1 – форма; 2 – стальной колпак; 3 – металлопровод; 4 – тигель с распла-



вом; 5 – крышка нижней камеры; 6 – гидроцилиндр подъема тигля с расплавом; 7,8 – трубопроводы пневмосистемы установки.

Установка (рис 4.11) состоит из двух камер. В верхней камере 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 сплава и формы. По окончании дегазации гидроцилиндр 6 поднимает тигель с расплавом и металлопровод погружается в расплав. Затем давление в камере формы постепенно снижают, создается разница давлений в нижней и верхней камерах, благодаря чему происходит всасывание расплава из тигля в полость формы. Разница давлений в камерах формы 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 растворе. Поэтому оставшиеся в расплаве после вакуумирования растворенные газы из него не выделяются и не образуют в ней газовой пористости, что повышает механические свойства. 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 беспокоит проблема производительности установок, может представить интерес предложения по конструкции карусельных (многопозиционных) машин ЛНД, ЛВВ, аналогично карусельным кокильным машинам. Разделение кокиля на карусели и металлораздатчика с металлопроводом происходит после заполнения формы металлом и затвердевания отливки. Дальнейшее охлаждение отливки, извлечение ее из формы и сборка кокиля происходит на других позициях карусели.

В мелкосерийном производстве на не крупных предприятиях острее стоит проблема загрузки специального оборудования из-за недостатка пригодной номенклатуры с необходимым объемом производства. В этих условиях может быть эффективно 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 машин этому требованию отвечают установки для литья с противодействием. Дополнительно оснащенные специальными модулями они позволяют получать отливки методом ЛНД, ЛПрД, ЛВВ, ЛВФ и различными комбинациями этих методов.

Опыт показывает, что использование такой универсальной установки может позволить повысить коэффициент загрузки установки с 0,2...0,4 до 0,7...0,8. При этом приблизительно 15% всех отливок изготавливают с применением вакуумного модуля, способом ЛПрД приблизительно 10...15% и с применением ЛНД приблизительно 70...75%.

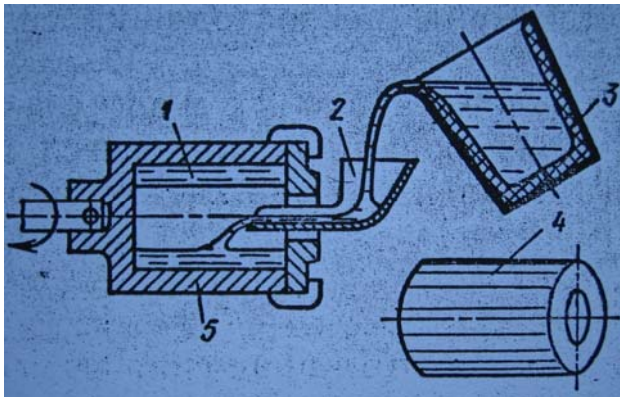


## ГЛАВА 5. ЦЕНТРОБЕЖНОЕ ЛИТЬЕ

### 5.1. СУЩНОСТЬ СПОСОБА. ОСНОВНЫЕ ОПЕРАЦИИ. ОБЛАСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

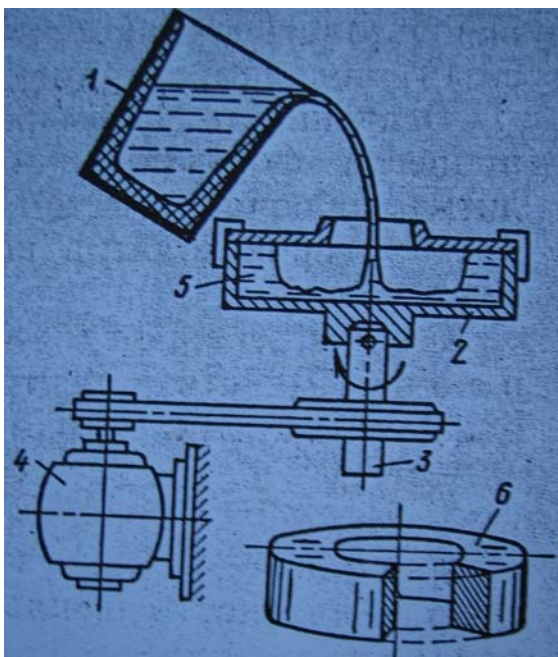
Сущность центробежного литья заключается в том, что заполнение формы расплавом и формирование отливки происходит при вращении формы вокруг горизонтальной, вертикальной, наклонной оси или при сложном вращении формы. Это обеспечивает дополнительное воздействие на расплав и затвердевающую отливку поля центробежных сил. Процесс реализуется на специальных центробежных машинах и столах.

Чаще используют два варианта способа, при которых расплав заливается в форму с горизонтальной осью вращения или с вертикальной осью вращения. В первом случае получают отливки - тела вращения малой и большой протяженности, во втором - тела вращения малой протяженности и фасонные отливки.



**Рис. 5.1.** Схема получения отливки при вращении формы вокруг горизонтальной оси. 1- расплав, 2- заливочный желоб, 3- ковш, 4- отливка, 5- форма.

Наиболее распространен способ литья во вращающиеся металлические формы с горизонтальной осью вращения пустотелых цилиндрических отливок. По этому способу (рис. 5.1) отливка 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 формы, образуя под действием поля центробежных сил пустотелый цилиндр. После затвердевания металла и остановки формы происходит извлечение отливки 4. Такой способ характеризуется наиболее высоким технологическим выходом годного (ТВГ~100 %), так как не расходуется металл на литниковую систему.



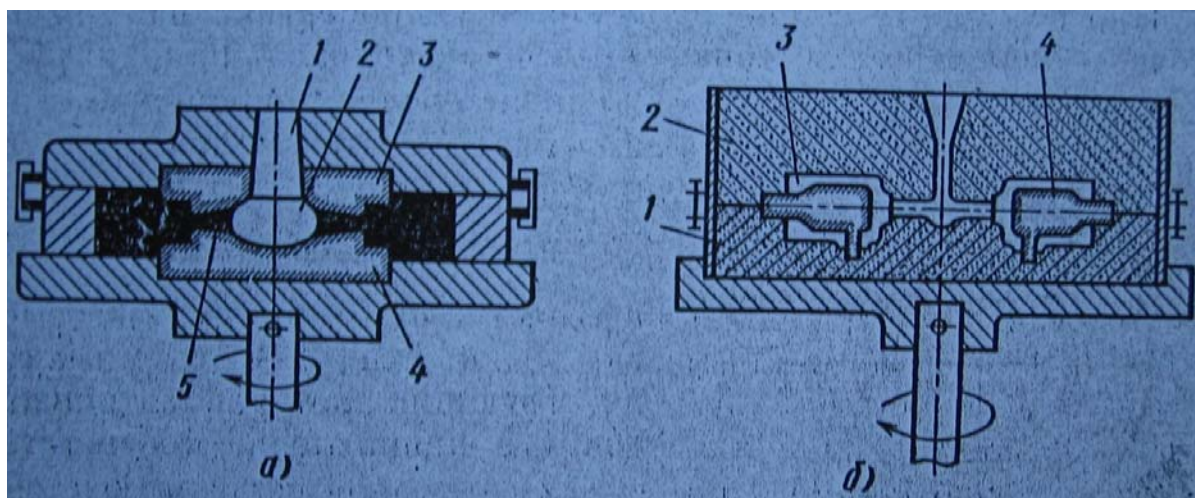
**Рис. 5.2.** Схема получения отливки при вращении формы вокруг вертикальной оси: 1- ковш, 2- форма, 3- шпиндель, 4- электродвигатель, 5- расплав, 6- отливка.

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 этого 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 затем через щелевые питатели (под действием центробежных сил) в рабочую полость формы. Технологический выход годного здесь меньше, чем в предыдущем способе. Избыток 5 расплава (сверх массы отливок) в центральной полости 2 формы служит прибылью и питает отливки при затвердевании.



**Рис. 5.3.** Схема получения фасонных отливок: а - венцов шестерен, 1- стоек, 2- центральная полость формы, 3 и 4- стержни, 5- прибыль; б - мелких фасонных отливок, 1- нижняя полуформа, 2- верхняя полуформа 3- рабочая полость формы, 4- стержень.

Мелкие фасонные отливки изготовляют по варианту (рис. 5.3, б), в котором применяют, например, песчаную форму. 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 сток, из которого по радиальным каналам он попадает в полости формы. ТВГ при таком способе литья приближается к выходу годного при литье в песчаные формы. При центробежном литье можно использовать песчаные, металлические, оболочковые и объемные керамические, 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 дал положительных результатов. Обусловлено это целым рядом причин, главными из которых являются следующие.

В то время отсутствовал массовый спрос на отливки типа труб, втулок и колец. Потребность в них вполне обеспечивалась другими способами литья. Показатели качества отливок при центробежном способе их получения были весьма низкими, так как отсутствовал удобный привод, позволяющий управлять скоростью вращения изложницы и свойствами отливок. В 20 веке с ростом строительства городов, развитием автомобильной и тракторной промышленности потребность на водопроводные и канализационные трубы, втулки и гильзы различного назначения увеличилась настолько, что традиционные способы не обеспечивали требуемого количества и качества изделий. В конце 20 века был создан надежный электропривод, промышленность стала способной изготавливать детали для быстроходных машин с требуемой точностью. Все это создало 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.

Силы, действующие во вращающемся расплаве. Действие поля центробежных

сил, приходящееся на единицу объема вращающегося расплава, может быть выражено зависимостью

$$\rho_{ц} = \rho \omega^2 r / g,$$

где  $\rho$  - плотность расплава;  $\omega$  - угловая скорость вращения формы;  $r$  - радиус вращения произвольной точки расплава;  $g$  - ускорение свободного падения.

Коэффициент  $k = \rho_{ц} / \rho = \omega^2 r / g$ , который принято называть гравитационным коэффициентом, показывает соотношение между центробежными силами и силой тяжести.

Статическое давление, действующее во вращающемся расплаве.

Положим, что расплав вращается вместе с формой вокруг неподвижной оси, перпендикулярной к плоскости чертежа, с постоянной угловой скоростью вращения  $\omega$  (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. Это допущение оправдано тем, что обычно при центробежном литье  $k \gg 1$ .

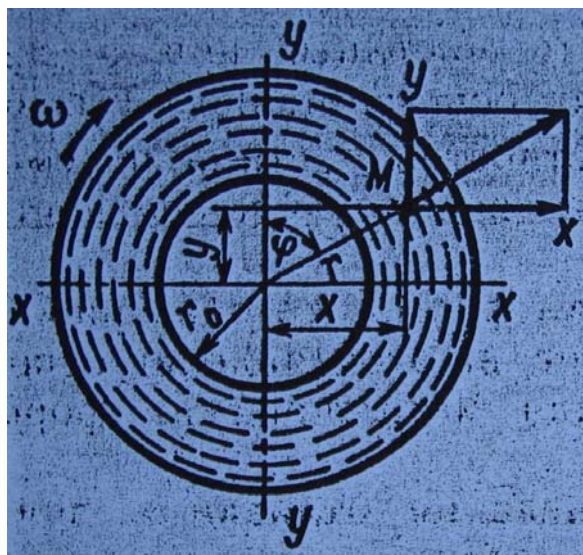


Рис. 5.4. Схема к определению статического давления во вращающемся расплаве.

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  $y = r \cos \varphi$ , то приращение давления в точке при ее элементарном перемещении составит:

$$dp = (\rho \omega^2)(x dx + y dy). \quad (5.2)$$

Интегрируя (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.

Из (5.3) следует: 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.

Формула (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 может быть больше и его следует учитывать:

$$p = \rho \omega^2 r^2 / 2 + \rho gh,$$

где  $h$  — расстояние от уровня расплава в чаше на оси вращения до горизонтальной плоскости, в которой находится рассматриваемая точка.

**Силы, действующие на инородные частицы в расплаве.** Если твердая или жидкая частица погружена в расплав и ее плотность отлична от плотности расплава, то действующая на частицу сила со стороны расплава не уравнивается ее собственной центробежной и силой тяжести. Поэтому частица перемещается в ту или другую сторону по отношению к свободной поверхности. В соответствии с законом Архимеда, результирующая сила, действующая на погруженную во вращающийся расплав частицу

$$P_u = V(\rho_l - \rho) \omega^2 r, \quad (5.4)$$

где  $V$  — объем частицы;  $\rho_l$  — плотность частицы. При  $\rho_l > \rho$  сила положительна и частица движется от оси вращения к стенке формы, при обратном соотношении плотностей частица перемещается к оси вращения и всплывает на свободную поверхность расплава.

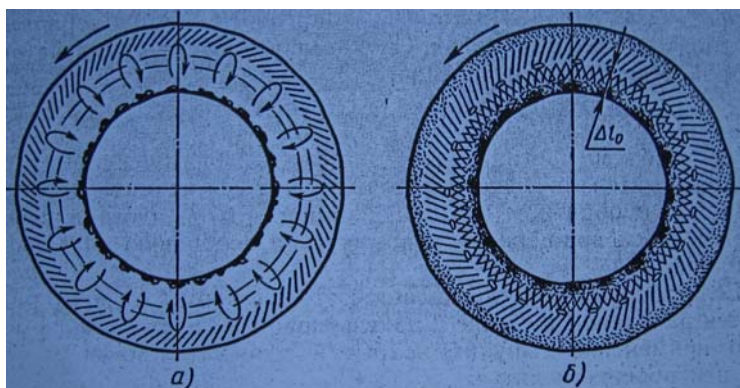
Если твердая частица касается стенки формы, то она прижимается расплавом к стенке и не всплывает. На этом явлении основано применение сыпучих покрытий для металлических форм при центробежном литье.

Действие поля центробежных сил обязательно учитывается при разработке систем шлакозадержания и питания, 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 в стенку изложницы и ее крышку, другая часть — конвекцией и излучением со стороны свободной поверхности. Количество теплоты, отдаваемое воздуху свободной поверхностью отливки, значительно. Воздух в полости отливки вовлекается во вращение и выходит из нее, на его место вдоль оси вращения поступает холодный воздух. Более интенсивна циркуляция в случае вращения формы с расплавом вокруг вертикальной оси вследствие естественного подъема горячего воздуха вверх.

Такая неравномерность охлаждения, особенно толстостенных отливок, приводит к возникновению конвекции в расплаве. Охлажденный более плотный расплав перемещается от свободной поверхности во внутренние слои затвердевающей отливки, а горячий и менее плотный в обратном направлении. Вследствие этого в расплаве возникают конвекционные потоки, циркулирующие в радиальном направлении (рис. 5.5, а). В условиях центробежного литья это наблюдается даже при небольшой разнице температур и плотностей, так как Дей



**Рис. 5.5.** Схема возникновения конвективных потоков во вращающемся и затвердевающем расплаве (а) и кристаллического строения отливки (б).

ствующие в этой системе силы возрастают пропорционально гравитационному коэффициенту  $k$ . Это способствует направленному затвердеванию отливки в радиальном направлении и

тем больше, чем больше угловая скорость вращения.

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 навстречу направлению вращения. Давление, развиваемое при вращении расплава, спо-



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, остается геометрически правильной цилиндрической формы. Из формулы (5.4) следует, что инородные частицы (газы, шлак и т. д.), имеющие плотность меньшую, чем расплав, под действием силы, обусловленной разностью плотностей и действием поля центробежных сил, интенсивно всплывают на свободную поверхность расплава. Это приводит к необходимости назначать большие припуски на обработку свободных поверхностей отливок.

Таким образом, направленное затвердевание позволяет получить отливки с плотным строением тела, без усадочных дефектов и инородных включений. Однако центробежные силы способствуют направленному затвердеванию, но только в тех случаях, если выделяющиеся на свободной поверхности кристаллы твердой фазы имеют плотность большую, чем плотность остающегося расплава. Для большинства литейных сплавов это условие соблюдается. Исключения составляют два случая: когда сплав затвердевает с расширением объема (например, серый чугун) и когда выделяющиеся подвижные кристаллы обогащены компонентами сплава, имеющими меньшую плотность, чем остающийся расплав. Например, при затвердевании заэвтектических силуминов (содержание кремния более 11,7%) первичные кристаллы обогащены кремнием, менее плотным, чем алюминий. Эти более легкие кристаллы остаются на свободной поверхности или всплывают, если зародились внутри переохлажденного расплава. В результате отливка начинает затвердевать от стенок изложницы и со стороны свободной поверхности. К концу затвердевания вследствие недостатка питания внутри стенки отливки образуются усадочные поры. В этом случае, чем быстрее вращается форма, тем интенсивнее выносятся кристаллы на свободную поверхность, а усадочная пористость распространяется на большую глубину.

Усадочная пористость под свободной поверхностью наблюдается также при изготовлении толстостенных отливок (см. рис. 5.5, б). В тонкостенных отливках большой протяженности глубина  $\Delta l_0$  расположения зоны усадочной пористости меньше. Это объясняется соотношением скоростей охлаждения со стороны наружной и внутренней (свободной) поверхности отливки. Чем меньше скорость охлаждения внутренней поверхности и больше со стороны наружной поверхности отливки, тем меньше глубина  $\Delta l_0$ .

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 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 содержании их в сплаве, то ликвация проявляется лишь в обогащении слоев отливки, примыкающих к свободной 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 этих слоях повышается содержание P, S, 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 увеличивается 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 (5.1) при  $dp=0$ ,  $X=\rho\omega^2 x$ ,  $Z=-\rho g$ ,  $Y=0$  получим:

$$z = \omega^2 x^2 / (2g). \quad (5.5)$$

Из (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  $\omega$  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 - происходит 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 вглубь 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, завышенная скорость может приводить к образованию в отливках трещин, усилению механического пригара и ликвационных процессов.

Рассмотренные особенности формирования отливки при центробежном литье указывают на следующие его преимущества: 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.

Особенности формирования отливки обуславливают и недостатки этого способа литья: 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 дозы расплава, заливаемого в форму.

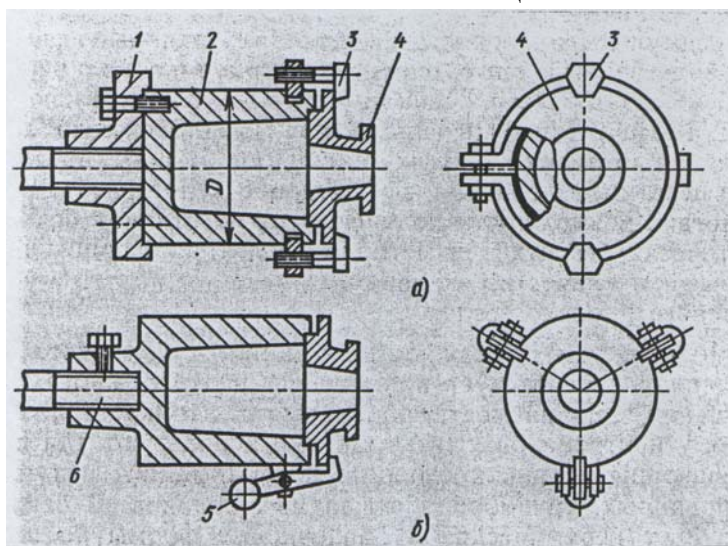
Наивысшие технико-экономические показатели центробежного способа достигаются при получении пустотелых цилиндрических отливок с различными размерами и массой (длиной до нескольких метров и массой до нескольких тонн): труб различного назначения из чугуна, стали, цветных и специальных сплавов; втулок и гильз для стационарных и транспортных дизелей; колец подшипников качения и др. Большое распространение получило центробежное литье для 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; получения высокого качества поверхности отливок, не имеющих дефектов усадочного и газового происхождения.

## 5.2. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК

**Формы.** 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.



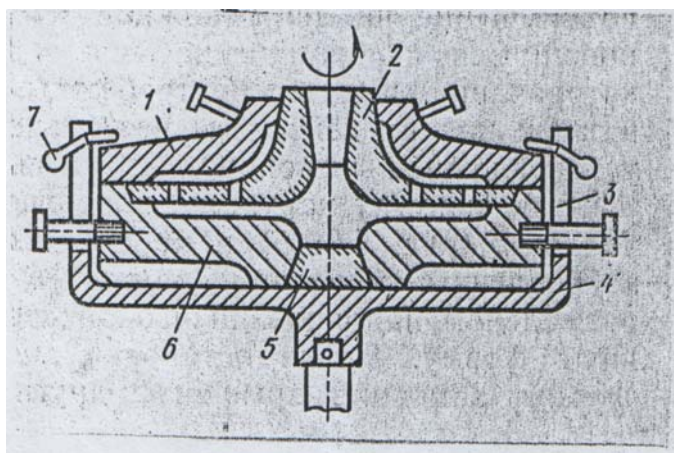
**Рис. 5.6.** Способы крепления крышек на изложницах. 1- планшайба, 2- форма, 3- болт, 4- крышка, 5- центробежный зажим, 6 - шпindelь.

Формы с горизонтальной осью вращения. В зависимости от назначения и конфигурация 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 ко-

ротких 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 изложниц подвергают механической обработке по внутренней и наружной поверхностям с одной установки, а при необходимости, балансировке. Внутренняя поверхность изложницы должна иметь уклон, тем меньший, чем больше диаметр отливки. При диаметрах 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). 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. Расплав не должен попадать на устройство для крепления крышки, для чего последняя снабжается цилиндрическим выступом. Диаметр отверстия в крышке должен быть достаточным для введения в изложницу заливочного желоба.



**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.

Для изготовления фасонных отливок также используют металлические формы (см. рис. 5.7). На шпинделе машины закрепляют планшайбу 4, в которую устанавливают нижнюю полуформу 6 с

песчаной 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 металлических форм, 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 разделе 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. Покрытия 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. Частицы покрытия прочно удерживаются на поверхности формы 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 часто вводят небольшое количество связующего, например, пульвербакелита ПК104.

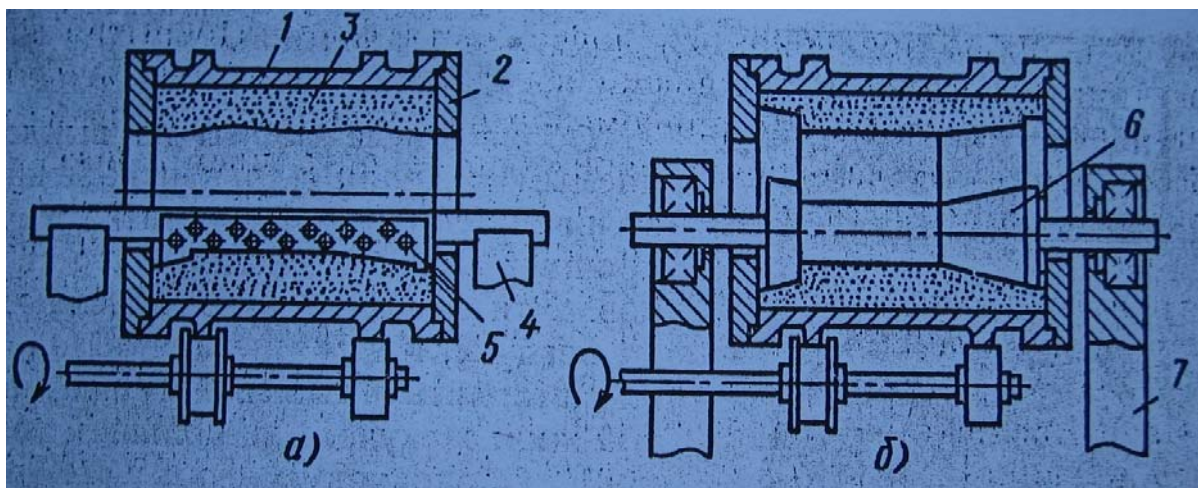
Материалы для металлических форм. Стенки изложницы в процессе работы

подвержены циклическому воздействию механических и термических нагрузок. Работа изложницы при циклических тепловых, центробежных нагрузках создает в ее стенке значительные напряжения. Поэтому для изготовления изложниц часто используют 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.

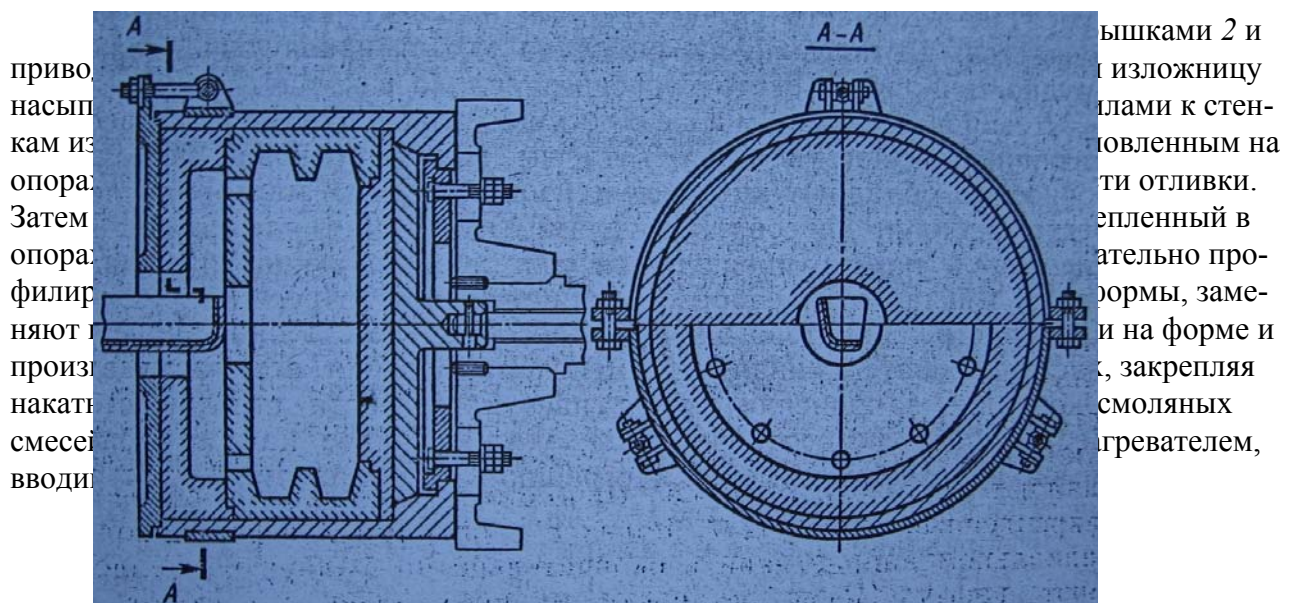
**Футерованные формы.** Такие формы применяют в производстве отливок, у которых наружная поверхность имеет выточки, буртики, пояски. Например, гильзы двигателей внутреннего сгорания. В этом случае металлическую форму футеруют внутри песчано-глинистой или песчано-смоляной смесью.

Футеровку наносят на поверхность формы формовкой по модели или накаткой роликом.

Для нанесения футеровки по модели изложницу снимают с машины, затем с нее снимают 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 крепят готовую к заливке форму 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.



**Рис. 5.8.** Футеровка форм накаткой. 1- изложница, 2- крышка, 3- формовочная смесь, 4- опора шаблона, 5- шаблон, 6- ролик, 7- опора ролика, а – шаблоном, б - роликом.



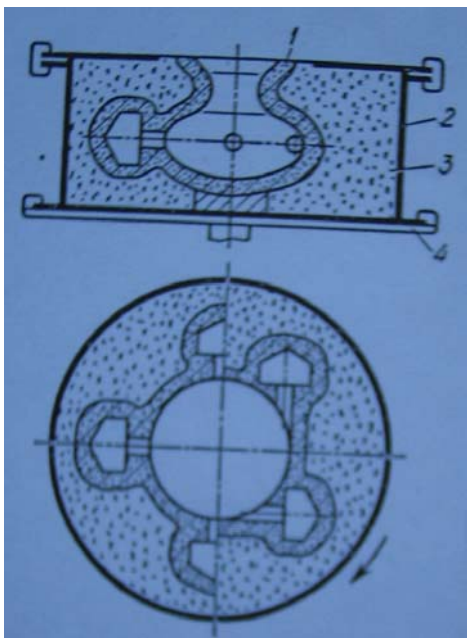
приво  
насып  
кам из  
опора  
Затем  
опора  
филир  
няют  
произ  
накат  
смеси  
вводи

ышками 2 и  
изложницу  
лами к стен  
овленным на  
ти отливки.  
епленный в  
ательно про  
ормы, заме  
и на форме и  
с, закрепля  
смоляных  
гревателем,



*Рис. 5.9. Форма для центробежной отливки, собранная из стержней.*

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.



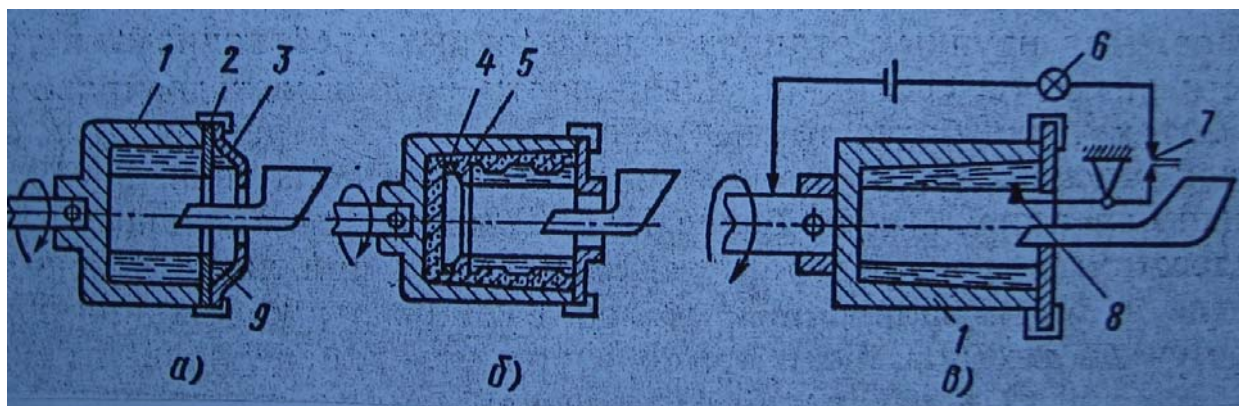
*Рис 5.10 Оболочковая керамическая форма для центробежной заливки. 1- оболочковая форма, 2- контейнер, 3- опорный материал, 4 – центробежный стол.*

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) изготавливают по выплавляемым моделям, формируют в контейнере 2 сыпучим или прочным опорным материалом 3, устанавливают на центробежный стол 4 и заливают расплавом. Заливку производят обычно в вакуумной плавно-заливочной установке (см. рис. 1.24,б).

**Дозирование расплава.** Дозирование при центробежном литье существенно влияет на точность массы и толщины стенок отливок со свободной поверхностью. При работе с неподвижным заливочным устройством расплав дозируют по объему, массе, переливу избытка металла и измерением положения уровня свободной поверхности.

Дозирование по объему производится 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 тензovesы. 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 тензovesах составляет 0,1...1 %.



**Рис. 5.11.** Способы дозирования расплава. 1- форма, 2- шайба, 3- крышка, 4- излишек расплава, 5- кольцевой выступ, 6- сигнальная лампа, 7- контакт, 8- поплавок, 9- полость для слива излишков расплава, а, б – варианты дозирования по переливу избытков расплава; в – дозирование по положению уровня свободной поверхности.

Дозирование по переливу избытка расплава осуществляется так, как это изображено на рис 5.11, а, б. Между формой 1 и крышкой 3 устанавливают шайбу 2, диаметр отверстия которой равен внутреннему диаметру отливки. Излишек 4 расплава выливается через отверстие в этой шайбе или через калибровочное отверстие 5, выполненное в футеровке формы, в полость формы 9 для слива излишков расплава.

Дозирование измерением положения уровня свободной поверхности расплава в форме осуществляется с помощью специального устройства (рис 5 11, в). В форму 1 вводится поплавок 8 и устанавливается на нужный размер по толщине стенки отливки. При заливке уровень расплава достигает поплавок и перемещает его, контакт 7 замыкается (загорается лампа б), что является сигналом на прекращение заливки.

Из рассмотренных способов наибольшей точностью обладает способ дозирования по массе.

**Изготовление отливок общего назначения.** Литье чугуновых втулок в металлических формах. Для изготовления небольших по массе и размерам (диаметром до 500мм) отливок используют универсальные шпиндельные машины, для более массивных (массой более 100 кг) – роликовые центробежные машины. Угловую скорость вращения изложницы определяют по зависимостям, приведенным в разделе 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 сито № 0063, 005. Толщина слоя зависит от толщины стенки отливки:

Толщина стенки отливки, мм.....	до 10	10...15	15...20	св. 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 круп-

ных отливок с невысокими требованиями к точности размеров свободной поверхности используют дозирование по объему, для более точных - по массе или переливу. Для отливок массой до 10 кг продолжительность заливки 5...10 с, а для более крупных 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 в разделе 5.4. Однако, например, отливки из медных сплавов, склонных к ликвации (высокосвинцовистые бронзы), во избежание ликвации отливают 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. раздел 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 60000 кг. Это, например, пустотелые валки бумагоделательных машин, детали химических агрегатов, нефтяного и угольного машиностроения, гильзы крупных дизелей и т. п.

При изготовлении таких отливок возникает ряд проблем, главными из которых являются заполнение формы и получение отливок без литейных дефектов: продольных и поперечных усадочных трещин, рыхлот, неметаллических включений,

Для предотвращения 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, обеспечивающие при литье заготовок из стали длиной до 10 м скорость нарастания толщины слоя расплава  $(3,3...5,0)10^{-4}$  м/с. Поскольку из-за большой толщины стенки отливки гравитационный коэффициент на внешней поверхности 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 затвердеванием отливки.

Усадка длинной отливки в продольном направлении велика (при усадке 1 % и длине отливки 10 м она составит 0,10 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 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 расплавов 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, 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 обеих сторон 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 противопопригарного — двуокиси циркония (толщиной 0,8...1 мм). При заливке, затвердевании и охлаждении отливки форма интенсивно охлаждается водой.

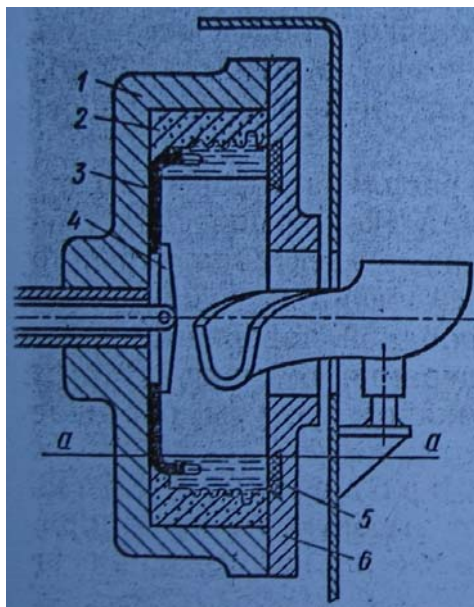
Для получения сплошной (без отверстия) отливки металл заливают через специальное литниковое устройство, которое вплотную примыкает к крышке вращающейся изложницы.

### Изготовление специальных отливок.

Биметаллические отливки можно изготавливать 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. При-



мером может служить технология изготовления отливки тормозного барабана из чугуна (рис. 5.12). В форму 1, футерованную смесь 2 накаткой, устанавливают стальной штампованный диск 3 и фиксируют его пневмомоножжимом 4. Собранную форму заливают центробежным способом до уровня а – а. Для более прочного соединения диска с материалом отливки его края имеют специальную разделку в виде ласточкина хвоста. В целях предотвращения отбела на торце отливки в крышке б формы используют кольцевой паз 5, заполняемый шамотной смесью.

Рис. 5.12. Схема получения армированного чугунного тормозного барабана. 1- форма, 2- футеровка, 3-



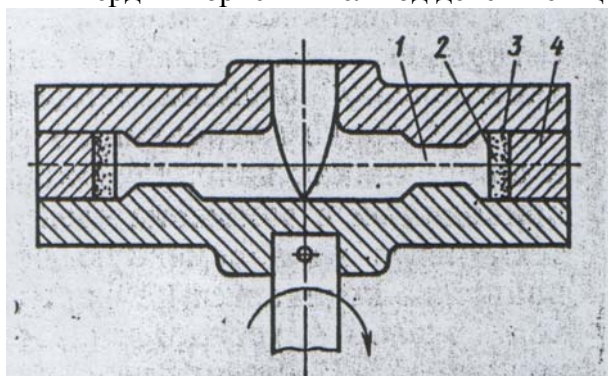
арматура, 4- пневмозажим, 5- паз, заполненный шамотной смесью, 6- крышка.

Наварку жидкого металла на твердую металлическую основу производят 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 изготавливают 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. Лямыным. Второй из металлов, образующий внутреннюю часть отливки, начинают заливать, когда заканчивается затвердевание наружного слоя и только на его свободной поверхности остается немного жидкости. При этом на границе соприкосновения наружной и внутренней частей образуется слой промежуточного сплава толщиной в несколько мм, что обуславливает прочное соединение частей отливки. Этим методом можно соединять сплавы с различными 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.



**Рис. 5.13.** Схема получения абразивного инструмента методом центробежной пропитки. 1- форма, 2- связующий материал, 3- слой абразива, 4- вставка.

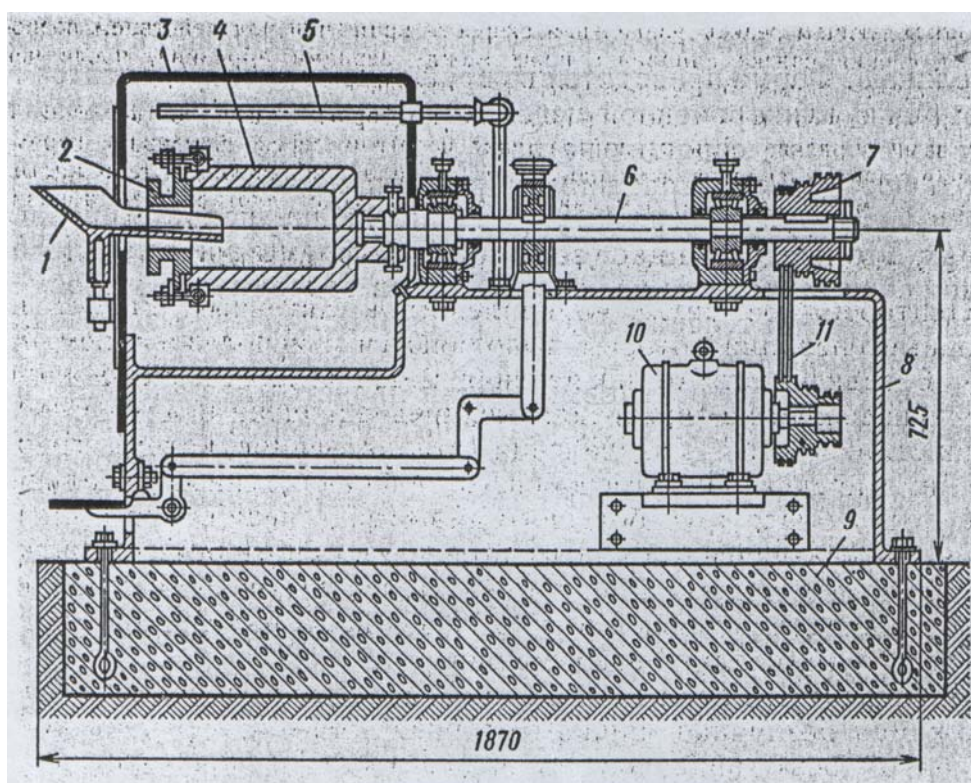
Круги, применяемые для плоского и кругового шлифования, изготавливают в металлической форме 1 (рис. 5.13), в которую засыпают порцию абразивного материала. Зерна абразива при вращении формы распределяются равномерным слоем 3 по цилиндрической поверхности вставки 4 и прижимаются к ней центробежными силами. Форму нагревают индуктором до температуры примерно  $600^{\circ}\text{C}$  и заливают в нее порцию сплава, служащего для связывания зерен абразива. Слой связующего 2 плотно прижимается к абразиву, 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 вращающаяся форма охлаждается вместе с отливкой.

Состав связки может быть различным и подбирается 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.

### 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, специального назначения, предназначенные для изготовления однотипных отливок в массовом производстве (гильзы двигателей внутреннего сгорания, биметаллические отливки и т. д.), а также валков прокатных станков 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.



*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- электродвигатель, 11- клиноременная передача.*

**Требования к машинам.** Машины должны обеспечивать вращение форм с требуемой угловой скоростью, изменение числа оборотов формы в заданных условиях 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 выведения заливочного лотка, механизмом выталкивания отливок, кожухами, служащими для обеспечения условий безопасной работы.

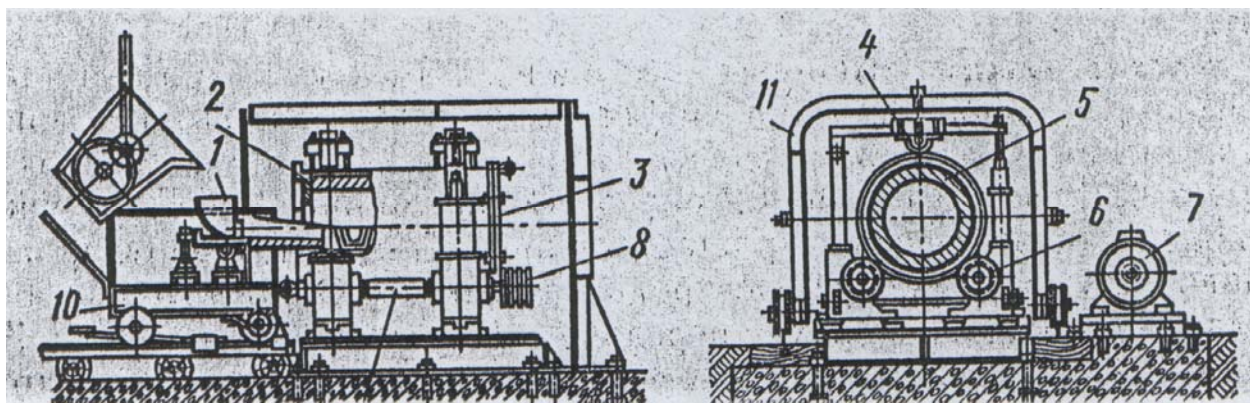
**Универсальные машины.** Шпиндельные машины с горизонтальной осью вращения (рис. 5. 14) используют при изготовлении отливок общего назначения, например вту-



лок.

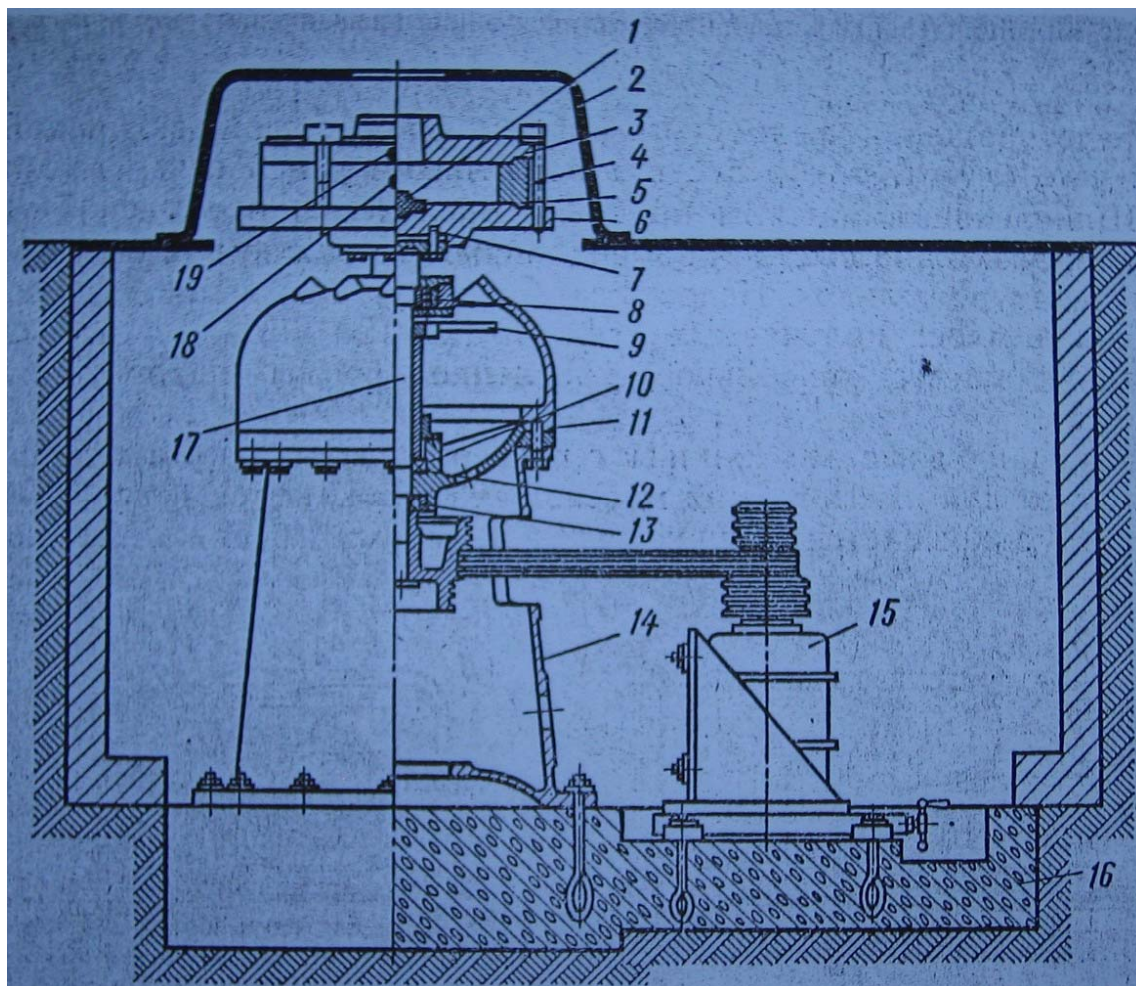
На бетонном основании 9 расположена станина 5, на которой в подшипниках качения вращается горизонтальный шпиндель 6, приводимый в движение электродвигателем 10. От электродвигателя через клиноременную передачу 11 и ступенчатый шкив 7 вращение передается на форму 4 с крышкой 2. Расплав заливают через желоб 1, установленный на поворотной крышке защитного кожуха 3. В целях увеличения производительности машины и предотвращения чрезмерного нагрева форму охлаждают водой, для чего стоит труба 5 с просверленными в ней отверстиями. Шпиндельные машины просты в обслуживании, надежны в работе, возможна быстрая замена форм, что важно при большой номенклатуре отливок. Недостатком таких 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 5 закрывается крышками 2 и 3. Форма имеет на внешней поверхности два кольцевых выступа, которыми опирается на четыре ролика 6. Форма приводится во вращение от электродвигателя 7 с помощью клиноременной передачи 8, приводящей в движение один из роликов, сидящих на валу 9. От ролика движение передается форме. Для устранения вибрации при работе форма сверху прижимается роликами 4, укрепленными на подпружиненных опорах. Это предотвращает заклинивание формы при ее тепловом расширении в процессе заливки. Расплав заливают по желобу 1, укрепленному на тележке 10. Во время работы форму закрывают защитным кожухом 11.



**Рис. 5 15.** Роликовая центробежная машина. 1- желоб, 2- передняя крышка, 3- задняя крышка, 4- прижимные ролики, 5- форма, 6- опорные ролики, 7- электродвигатель, 8- клиноременная передача, 9- приводной вал, 10- тележка, 11- защитный кожух.

Преимуществом роликовых машин является возможность изготовления на них отливок различных размеров и массы. Это достигается сменой форм и соответствующей перестановкой опорных роликов на фундаментной плите. Диаметр роликов выполняют таким, чтобы при сопряжении ролика с формой получалась пара с необходимым передаточным числом. При увеличении диаметра формы передаточное число автоматически увеличивается. Это позволяет исключить из привода машины редуктор, упрощая конструкцию машины. Недостатками роликовых машин является сложность балансировки подвижных частей, сложность переналадки при смене форм, сильный шум при работе.



**Рис. 5.16.** Машина с вертикальной осью вращения. 1- рассекатель, 2- защитный кожух, 3- крышка, 4- болты, 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- шпindelь, 18, 19- цапфы.

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 шпindelь 17. На верхнем торце шпинделя смонтирована форма, состоящая из поддона 6 корпуса 5 и крышки 3, скрепленная болтами 4.

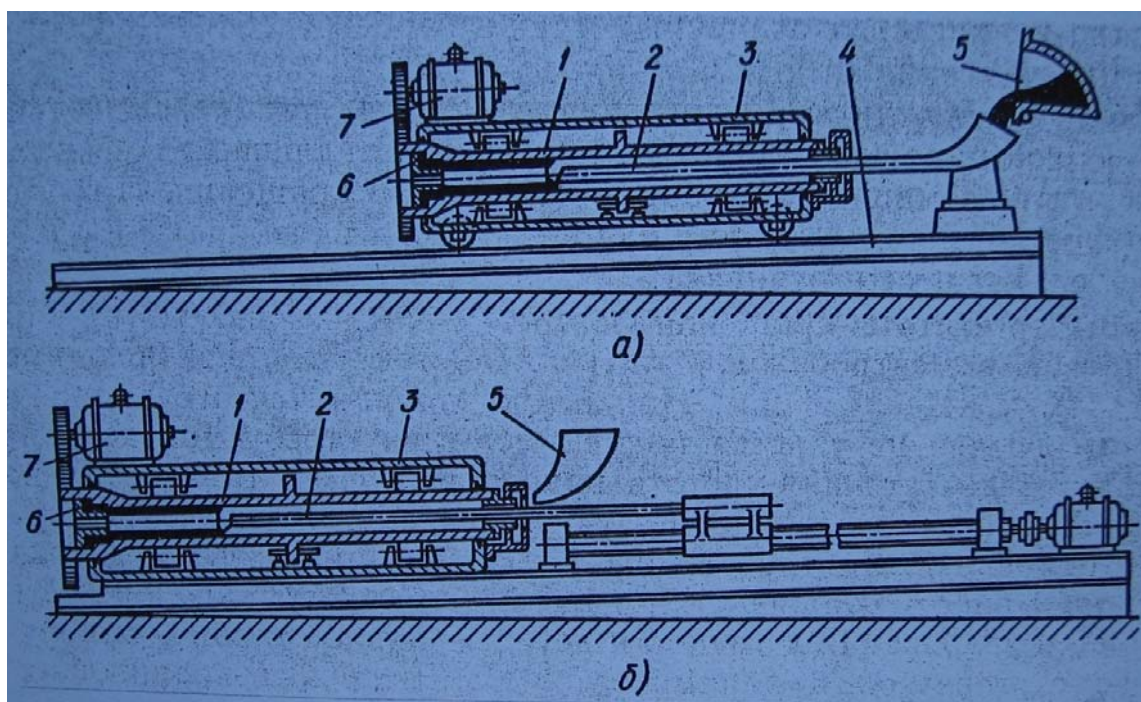
Верхнюю часть шпинделя во избежание заклинивания подшипника отделяют от формы теплоизоляционной прокладкой 7; во время работы шпindelь охлаждают с помощью вентилятора 9. Рассекатель 1 формы также защищает шпindelь от перегрева. Форма вращается от электродвигателя 15, соединенного со шпинделем клиноременной 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 исключается необходимость применения внешних заливочных устройств, так как такие устройства входят в состав плавильно-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 представителями отливок массового производства, получаемых центробежным способом. Литые трубы не подвергаются обработке резанием.

Для изготовления труб из серых чугунов применяют интенсивно охлаждаемые металлические формы взамен футерованных. Это позволяет устранить из технологического процесса литья футеровку форм песчаными смесями, улучшить условия труда в литейных цехах. Отбел на отливках предотвращают использованием огнеупорных покрытий с низкой теплопроводностью и чугунов, имеющих низкую склонность к отбелу. Так, например, содержание кремния не должно превышать 2,4%, а серы 0,08%. Причем более высокое содержание серы влияет не только на склонность чугуна к отбелу, но и приводит к снижению жидкотекучести и повышению краснотекучести.



**Рис. 5.17.** Схема получения труб на труболитейной машине. 1- изложница, 2- желоб, 3- корпус машины, 4- рельсовые пути, 5- дозирующе-заливочное устройство, 6- стержень, 7- электродвигатель, а – с подвижной изложницей, б – с подвижным заливочным желобом.

Наибольшее распространение получили в промышленности машины с подвижной изложницей (рис. 5.17). Они имеют меньшие размеры, у них отсутствует вибрация длинного заливочного желоба, исключается касание желобом вращающейся формы.

Уклон машины 3... 5° 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 позволяют изготавливать трубы диаметром 50...300 мм, длиной до 6000

мм с производительностью 15...40 труб в час.

#### 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. При наклоне 3...5° разностенность невелика, такое положение вращающейся формы применяют в машинах для изготовления труб большой протяженности (3...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 необходимого числа оборотов формы. При недостаточной угловой скорости вращения форм 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 при 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. Наиболее известны зависимости, предложенные Кэмменом и Л. С. Константиновым.

Формула Кэммена:

$$n=C/\sqrt{r} \quad (5.7)$$

где  $n$ —число оборотов формы, об/мин;  $C$ —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.

Формула Л. С. Константинова:

$$n=5520/\sqrt{\rho r} \quad (5.8)$$

где  $\rho$  -плотность сплава, г/см<sup>3</sup>;  $r$  — радиус внутренней поверхности отливки, см; 5520 — опытный числовой коэффициент.

Формула (5.8) получена из условия обеспечения минимальной величины эффективной плотности, необходимой для получения качественной отливки со свободной поверхностью. Опытный числовой коэффициент показывает, что эти условия создаются, если плотность вращающегося расплава на свободной поверхности достигает величины  $\rho_y=340$  г/см<sup>3</sup>.



Применение формул (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. Поэтому формулы 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.

Для определения допустимого числа оборотов, 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  $p$  - допустимое давление расплава на форму,  $\text{г/см}^2$ ;  $R$  — расстояние от оси вращения до рассматриваемой точки рабочей поверхности формы,  $\text{см}$ ;  $r$  — радиус свободной поверхности расплава,  $\text{см}$ .

Формула (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 опытным данным разных предприятий, критическое давление при заливке чугуна или оловянной бронзы в формах из сырых смесей составляет  $0,15 \dots 0,28$  МПа ( $1500 \dots 2800 \text{ з/см}^2$ ), из сухих—до  $0,4$  МПа, из стержневых  $0,36 \dots 0,6$  МПа.

При изготовлении отливок в формах с вертикальной осью вращения можно определять необходимую частоту вращения по требуемой разностенности отливок

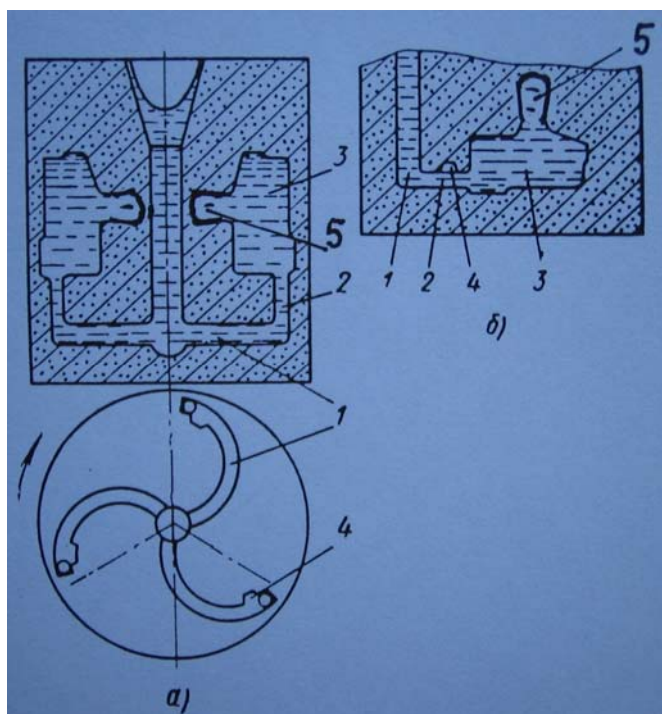
$$n=423 \sqrt{h/(\Delta x (2 r_1 - \Delta x))}, \quad (5.10)$$

где  $h$  — высота отливки,  $\text{см}$ ;  $\Delta x$  — разность толщин стенки отливки в нижнем и верхнем сечениях,  $\text{см}$ ;  $r_1$  — радиус свободной поверхности отливки в ее верхнем сечении,  $\text{см}$ .

Необходимо иметь в виду, что частота вращения, определенная по формуле (5.10), обеспечивает получение качественной отливки с заданной разностенностью только тогда, когда плотность вращающегося расплава на свободной поверхности будет составлять  $\rho_{\text{ц}} \geq 200 \text{ з/см}^3$ , а для толстостенных отливок  $\rho_{\text{ц}} \geq 300 \text{ з/см}^3$ . 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 формулам (5.7) или (5.8), оказывается больше допустимой.

**Особенности технологии изготовления фасонных отливок в песчаных формах** обусловлены вращением формы и действием поля центробежных сил. Оно оказывает влияние: на скорость заполнения формы расплавом и его взаимодействие с рабочими поверхностями формы и каналами литниковой системы; на работу шлакоуловителей и прибылей.

Так, при назначении скорости вращения формы должно учитываться дополнительное давление расплава на ее стенки (см. раздел 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 отличия литниковой системы, используемой при центробежной заливке – а и при гравитационной – б, где 1-литниковый ход; 2 - питатель; 3 - полость формы; 4 - шлакоуловитель; 5-прибыль.



**Рис. 5.18.** Схема литниково-питающей системы песчаных форм. а- при центробежной заливке, б- при гравитационной заливке, 1-литниковый ход; 2-питатель; 3-полость формы; 4-шлакоуловитель; 5-прибыль.

Литейная форма проектируется с учетом факторов, исключающих наличие у нее значительного дисбаланса. В противном случае возможна вибрация машины и формы во время ее вращения и заливки, разрушение фундамента и преждевременный выход из строя машины.

**Припуски на обработку резанием** зависят от глубины расположения литейных дефектов в стенке отливки. В длинных отливках со свободной поверхностью глубина залегания усадочной зоны невелика след-

ствие 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 различных 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. 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** - важный параметр технологического процесса, влияющий на качество отливки. При небольшой массовой скорости заливки в отливке возможно возникновение дефектов - спаев, неслитин. Для получения качественных отливок со свободной поверхностью во всех случаях необходимо, чтобы в процессе заливки толщина затвердевшего слоя была меньше толщины слоя залитого металла. С целью исключить первое и обеспечить второе условие в начале форму заливают с высокой скоростью, а в дальнейшем ее снижают. Это создает условия для направленного затвердевания отливки, снижает давление на затвердевающую оболочку и интенсивность ликвационных процессов.

## ГЛАВА 6. ДРУГИЕ СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ЛИТЬЯ

### 6.1. ЛИТЬЕ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ

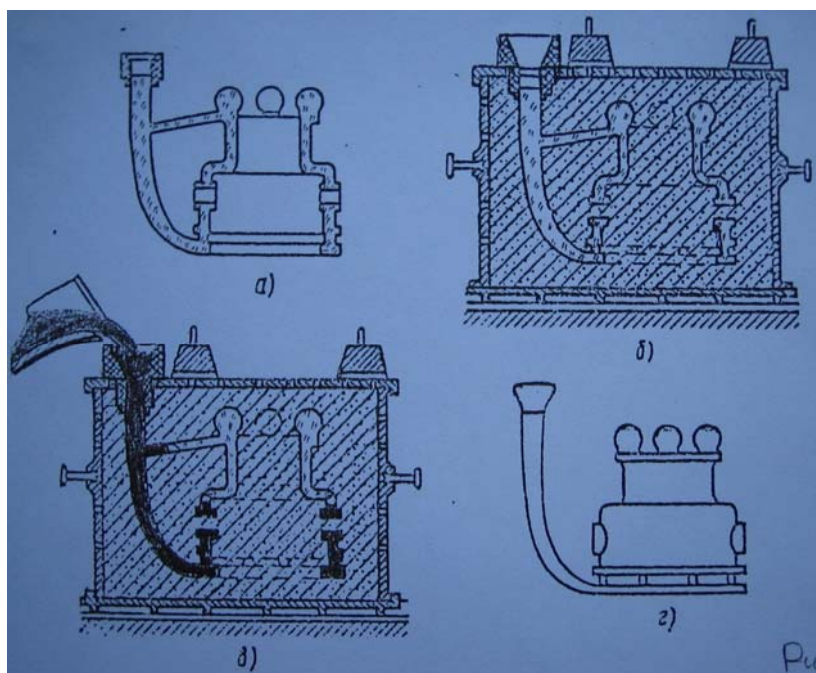
Способ был предложен и запатентован в США в 1958 г., а уже в начале 60-х годов им начали получать отливки в разных странах и объем производства составлял 15.000 тонн (1962 г.). Сейчас объем выпуска отливок в мире этим способом оценивается в сотни тысяч тонн.

#### Сущность способа.

Этот развивающийся метод можно отнести в группу способов получения отливок в неразъемных формах по разовой модели, как литье по выплавляемым моделям (см. главу 1). Но в отличие от них, модель удаляется (газифицируется) не до, а в процессе заливки формы металлом, который как бы вытесняет «испаряющуюся модель» из формы и замещает освободившееся пространство полости формы.

Современные варианты технологического процесса заключается в следующем:

Разовые пенополистироловые модели изготавливают либо в специальных металлических пресс-формах (массовое и крупносерийное производство), используя суспензионный полистирол в виде подвешенных 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.



**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.

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).

В другом варианте, при изготовлении более сложных отливок, контейнер, после подачи опорного материала, закрывают сверху полиэтиленовой пленкой, как при вакуумной формовке. Чтобы уменьшить вероятность разрушения формы в ней создают 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). Благодаря относительно низкой температуре газификации пенополистирола ( $\sim 560\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), модель газифицируется под действием теплоты заливаемого металла, и постепенно освобождает полость формы.

После затвердевания и охлаждения отливки, опоку-контейнер переворачивают, наполнитель высыпается, отделяясь от отливки, и она (рис. 6.1, г) поступает на финишные операции. В случае использования обычных формовочных смесей, форму выбивают на выбивных решетках.

Главная особенность способа (применения неразъемной формы) определяет его основное преимущество для качества отливок – повышение их точности за счет сокращения частей формы, стержней и, следовательно, 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, характеризуются ГОСТ 26645-85 идентично точности отливок, получаемых в кокиль или облицованный кокиль со стержнями. Отливки с размерами до 500 мм могут иметь точность от 7 до 12 класса по ГОСТ 26645-85. Шероховатость поверхности  $R_z = 25 \dots 10$  мкм.

Кроме того, способ позволяет существенно снизить затраты и сократить время, особенно в мелкосерийном и единичном производстве средних и крупных отливок.

Сложившиеся области применения:

- 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 «Блок цилиндров» для автомобильного двигателя.

#### **Модельные материалы.**

Материалы 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  $27,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  изопентан закипает и превращается в газ с увеличением объема, а при  $80 \dots 90\text{ }^{\circ}\text{C}$  полистирольная оболочка размягчается и под действием давления газ деформируется. Происходит рост объема гранул в  $10 \dots 40$  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:

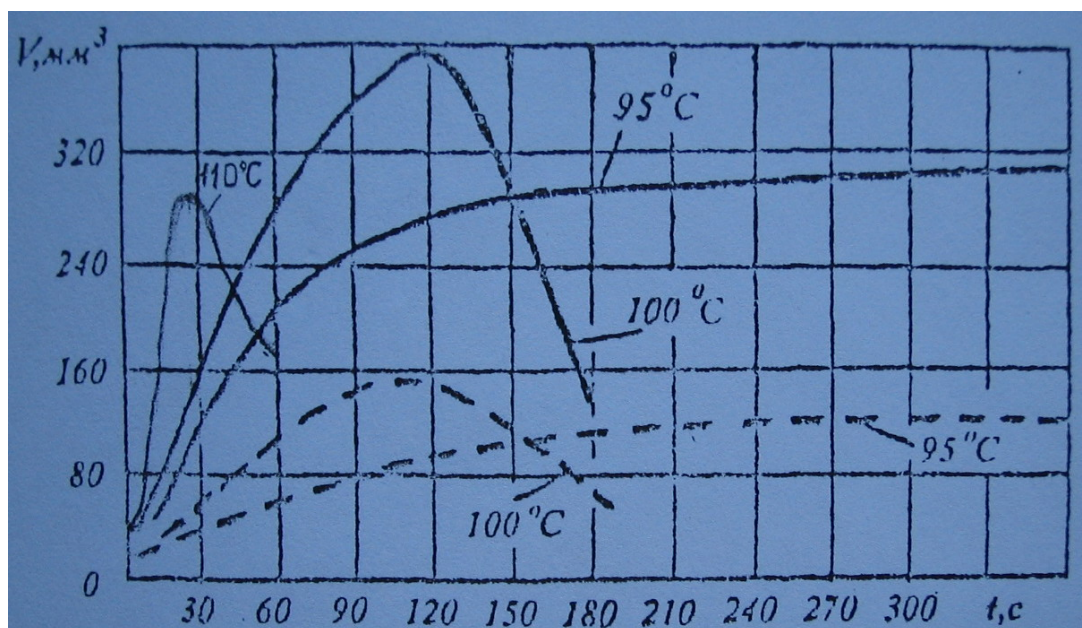
- при плотности ( $20 \dots 30\text{ кг/м}^3$ ) иметь достаточную технологическую прочность ( $\sigma_{из} = 0,1 \dots 0,2$  МПа), чтобы сохранять размеры и конфигурацию моделей в процессе их изготовления, хранения, транспортировки и формовки;
- минимальной и стабильной усадкой на всех стадиях технологического процесса ( $0,15 \dots 0,2\%$ );



- достаточной скоростью газификации, чтобы заливаемый металл заполнил полость формы раньше его кристаллизации;
- при газификации разлагается с минимальным количеством коксообразующих продуктов, чтобы избежать появления засоров в отливках

#### Изготовление газифицируемых моделей.

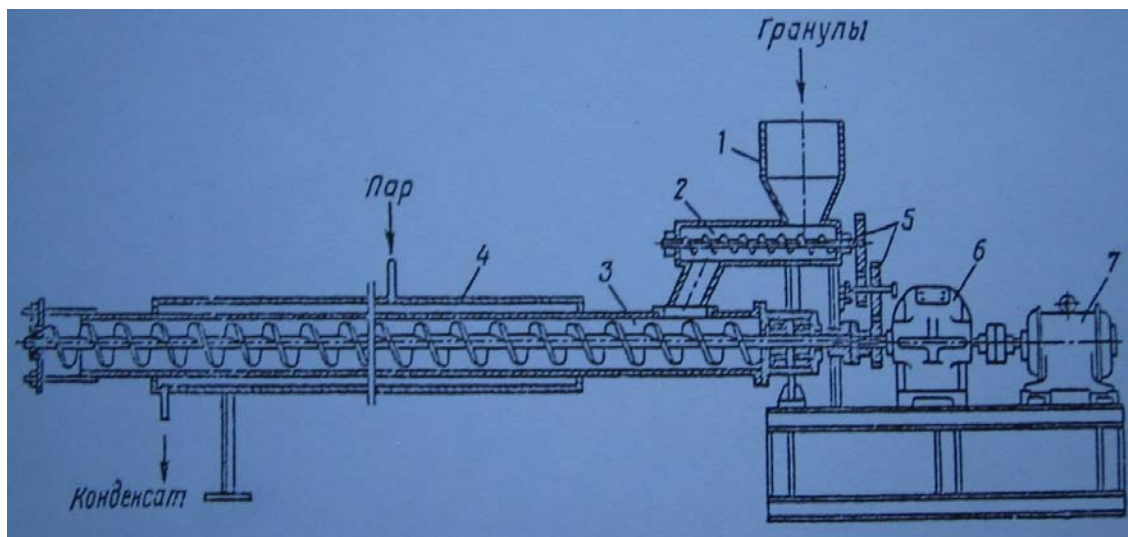
Процесс получения моделей в массовом и крупносерийном производстве состоит из двух стадий: предварительное вспенивание в свободном состоянии исходных гранул вспенивающегося полистирола и окончательное вспенивание гранул в замкнутой полости пресс-формы – получение модели из пенополистирола.



**Рис. 6.2.** Увеличение объема гранул пенополистирола в зависимости от температуры и времени подвспенивания: сплошная линия – начальный размер гранул 2,5 мм, штриховая – 1,5 мм.

Предварительное вспенивание гранул. Предварительная тепловая обработка вспенивающегося полистирола необходима для получения впоследствии газифицируемых моделей 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 порообразователя. Поэтому гранулы полистирола предварительно вспенивают в ваннах с горячей (95...100 °С) водой в течение 1...10 мин, применяют так же 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 1,



**Рис.6.3.** Схема установки непрерывного действия для предварительного вспенивания гранул пенополистирола.

1 – бункер для гранул вспенивающегося полистирола; 2 – питатель;  
3 – камера вспенивания; 4 – паровая рубашка; 5 – привод дозатора;  
6 – редуктор; 7 – электродвигатель.

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  $96...98\text{ }^{\circ}\text{C}$ , продолжительность  $1...2$  мин. Производительность установки можно менять в пределах  $1...2,5\text{ м}^3/\text{час}$ .

На предприятиях с небольшим объемом производства предварительное вспенивание целесообразно проводить в горячей воде. Для этого исходные гранулы полистирола помещают в воду с температурой  $95...100\text{ }^{\circ}\text{C}$  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 часов до 2-х суток. В этот период оболочка гранул, охлаждаясь, вновь переходит в стеклообразное твердое состояние, а пары изопентана конденсируются, что приводит к возникновению вакуума в гранулах. В процессе выдержки происходит диффузия воздуха внутрь гранул и давление выравнивается. Для сокращения времени выдерживания можно использовать их выдержку при повышенном давлении  $0,2...0,3\text{ МПа}$ .

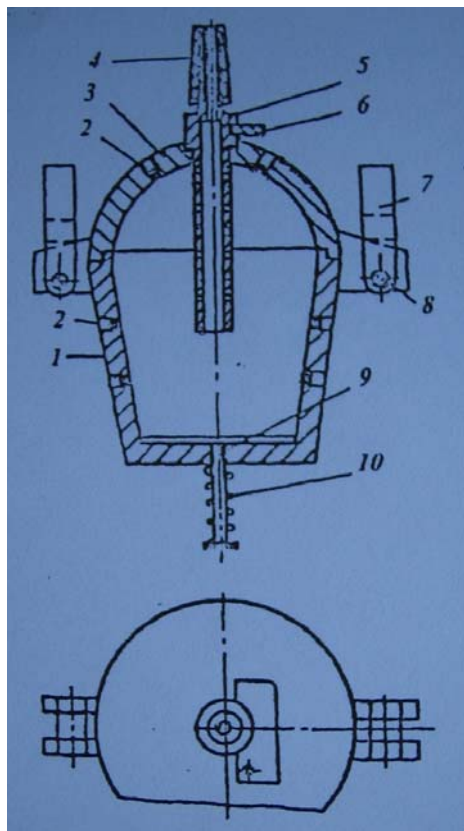
Изготовление моделей в пресс-формах. Процесс заключается в повторном нагреве подвспененных и активированных гранул полистирола, помещенных в пресс-форму, в результате которого они окончательно вспениваются и спекаются между собой, образуя пенополистироловую модель отливки.

Подготовленные гранулы засыпают или задувают сжатым воздухом в смазанную специальной смазкой (чтобы исключить прилипание 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 кремнеорганическими соединениями позволяет получать 10-15 моделей без ее возобновления.

Нагрев гранул в крупносерийном и массовом производстве целесообразно проводить способом «теплового удара». Перегретый пар с температурой  $125...135\text{ }^{\circ}\text{C}$  под



давлением 0,2...0,35 МПа вводят непосредственно в пресс-форму (рис. 6.4.), заполненную гранулами полистирола. Проходя между гранулами, турбулентный поток пара интенсивно смешивается с воздухом, находящимся в порах засыпки, вытесняет его из пресс-формы и равномерно по всему объему нагревает полимерный материал, который окончательно вспенивается. Образующийся конденсат отжимается расширяющимися гранулами 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, 3 – нижняя и верхняя половина пресс-формы; 2 – отверстия в пресс-форме; 4 – шланг; 5 – инжектор; 6 – замок инжектора; 7 – зажим; 8 – ось зажима; 9 – толкатель; 10 – пружина толкателя.

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 – 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 5 (рис. 6.4.) для подачи пара. Модели, полученные способом теплового удара, имеют приятную для газификации плотность (20...30 кг/м<sup>3</sup>) 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:

- *ванный*, когда пресс-форма с подвешенными гранулами помещается в ванну с водой, нагретую до кипения. После окончания процесса пресс-форму охлаждают в проточной воде;

- *автоклавный*, 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 так же для удаления воздуха и конденсата во время расширения и спекания гранул.

Автоклавный метод позволяет получать модели с плотностью ~25 кг/м<sup>3</sup> и чистой поверхностью, чего трудно достичь при ванном способе. Существенным недостатком автоклавного способа является длительность процесса, которая составляет 10...40 мин при толщине стенок модели от 5 до 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-формы 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 с толщиной стенки 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 между суммарной площадью выходных и входных вент должно составлять 0,7...0,9 и 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 извлекать 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-формы тем сложнее и дороже, чем сложнее и крупнее изготавливаемая в ней модель, и 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. Их плотность 20...25 кг/м<sup>3</sup>,  $\sigma_{из} = 0,09...0,23$  МПа, при 5% -ой деформации, остаток после испарения образца не более 2% по массе, скорость плавления ~25 мм/с.

Пенополистирол легко обрабатывается на обычных деревообрабатывающих станках. Чистовую обработку, строгание, фугование, фрезерование и др. 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 изготавливают из отдельных конструктивных элементов. Некоторые стандартизированные 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 влияют на характер его газификации, например 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.

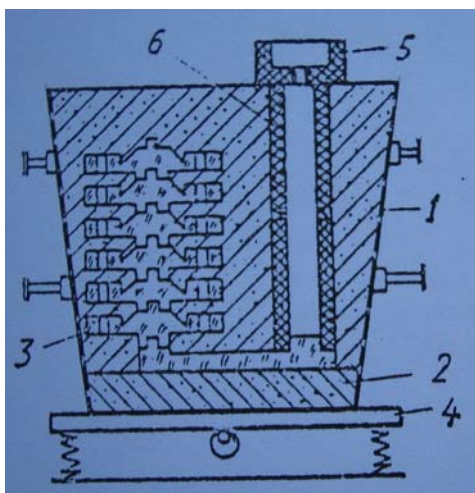
Для сварки растворением пенополистирол растворяют в стироле, толуоле, дихлорэтане до достижения консистенции киселя. Полученный состав наносят тонким слоем на соединяемые поверхности, при этом материал модели несколько растворяется. После соединения поверхностей и выдержки 8...10 мин под небольшим давлением образуется прочный однородный с моделью 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 ее газопроницаемость, чтобы обеспечить выход газов, образующихся при газификации из зазора между моделью и расплавом. Состав красок зависит от типа сплава и массы отливки, материала формы. В состав 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 гидролизированный раствор этилсиликата, цемент, гипс, искусственные смолы. Для повышения газопроницаемости добавляют суспензию пористых материалов – асбест, пемзу и др. Противопопригарную краску на модель наносят окунанием, кистью или распылением.

#### **Изготовление литейных форм.**

Для изготовления форм в крупносерийном и массовом производстве отливок по газифицируемым моделям наиболее распространены сыпучие формовочные материалы без связующего: кварцевые, оливиновые, 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 – опока-контейнер; 2 – предварительная засыпка; 3 – блок моделей ;*

*4 – вибратор; 5 – чаша; 6 – керамический стояк.*

Процесс формовки осуществляют следующим образом (рис. 6.5). На дно опоки-контейнера 1 насыпают слой сухого песка 2 толщиной 100...150 мм и его уплотняют вибрацией. Затем в опоку устанавливают модель или модельный блок 3 и заполняют ее 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, 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 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 прокачивают при 300...400 °С для выжигания продуктов конденсации, которые по мере накопления ухудшают газопроницаемость песка.

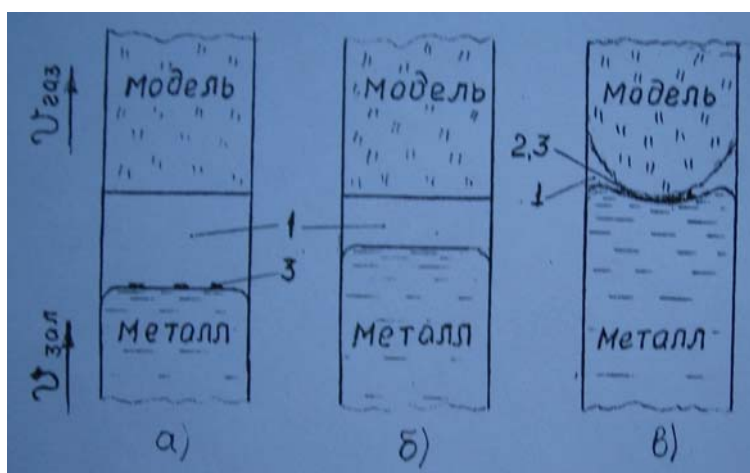
Формы для получения массивных и сложных отливок, а так же крупных отливок в единичном и мелкосерийном производстве изготавливают из формовочных смесей. Формовочные смеси для получения отливок по газифицируемым моделям должны иметь повышенную газопроницаемость (не менее 180...120 ед.) и пластичность. Из-за низкой прочности моделей такие методы уплотнения, как встряхивание и прессование неприемлемы.

Наиболее предпочтительны самотвердеющие жидкоподвижные смеси (ЖСС), которые имеют необходимую прочность и газопроницаемость, позволяют уменьшить опасность деформации модели при формовке. Процесс изготовления из них форм легко механизировать и автоматизировать. Основные компоненты этих смесей: кварцевый песок, жидкое стекло, феррохромовый шлак и поверхностно-активные вещества. Недостатки 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.



**Рис. 6.6.** Схема процесса заполнения формы при литье с газифицируемой моделью. 1 - газообразные, 2 - жидкие, 3 - твердые продукты разложения модели.

*a* - скорость заливки (подъема) металла  $V_{зал}$ , меньше скорости газификации модели  $V_{газ}$ ; б-  $V_{зал} \approx V_{газ}$ ; в -  $V_{зал} > V_{газ}$ .

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, - 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 связующего<sup>1</sup>. Жидкая фаза

<sup>1</sup> 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.

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 металла жидкая и твердая фаза прижимается к верхней части формы, образуя газовые дефекты 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  $Q$ , см<sup>3</sup>/с.  $Q = F_{отл} \times V_{мет}$ .

Рекомендации по оптимальной скорости подъема металла в форме  $V_{мет}$  приведены в таблице 6.1,  $F_{отл}$  – минимальная площадь сечения отливки в плоскости перпендикулярной направлению поступления металла в форму.

**Таблица 6.1** Рекомендуемые скорости подъема металла в форме, см/с

Толщина стенки отливки, мм	Оптимальная		Максимально допустимая	
	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

Для мелких отливок массой до 100 кг диаметр отверстия в литниковой чаше, определяющий расходную характеристику системы равен:

$$D_{ч} = \sqrt{[F_{отл} \cdot V_{мет} / (0,785 \mu_{ч} \cdot \sqrt{2gh_{ч}})]}, \text{ см},$$

где  $\mu_{ч}$  – коэффициент расхода отверстия чаши 0,8...0,9;  $h_{ч}$  – высота напора в чаше, см.

Площадь поперечного сечения стояка из условий предотвращения выброса металла из формы под действием газов, выделяющихся из модели в начальный момент заливки  $F_{ст}$ :

$$F_{ст} = (n G_{отл}) / [\rho_{отл} (h_{отл} + h_{изб})], \text{ см}^2,$$

где  $n$  – коэффициент, равный 1,3...0,5;  $G_{отл}$  – масса отливки, г;  $\rho_{отл}$  – плотность металла, г/см<sup>3</sup>;  $h_{отл}$  – высота отливки, см;  $h_{изб}$  – избыточный напор, см, принимаемый равным 810 см.

Площадь поперечного сечения питателей  $F$  для массивных отливок равна 0,5  $F_{ст}$ , для тонкостенных отливок сложной конфигурации –  $F_{ст}$ , а в некоторых случаях – 1,5  $F_{ст}$ .

Для крупных отливок при заливке из стопорного ковша необходимо согласовать диаметр стопорного отверстия с диаметром отверстия в чаше по известной методике П. Ф. Василевского. Другие элементы определяются по соотношению:

$$F_{ст} : F_{л.х} : F_{п.пит.} : F_{с.пит.} = 1,0 : 1,3 : 1,3 : 1,5, \text{ где}$$

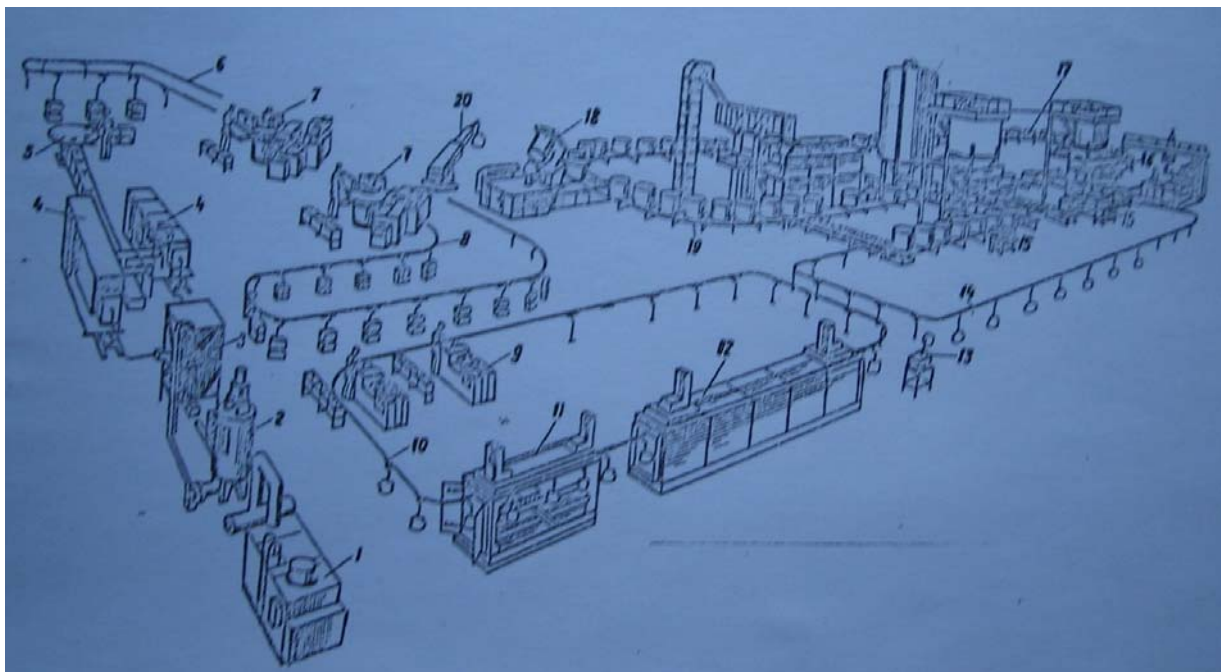
$F_{л.х}$ ;  $F_{п.пит.}$ ;  $F_{с.пит.}$  – площади сечения литникового хода, прямого питателя и сифонного питателя соответственно.



Одним из специфических эффектов, присущих данному способу, является науглероживание поверхности стальных отливок, особенно заметное на малоуглеродистых сталях. Глубина науглероженного слоя зависит от состава стали, толщины стенки и высоты отливки, и может достигать 10 мм. Для уменьшения этого явления в форму при заливке можно подавать углекислый газ 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».



**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 – полуавтомат для склеивания модельного блока; 11 – камера окраски моделей; 12 – камера сушки; 13, 18, 20 – манипуляторы; 15 – формовочный стол; 16 – участок заливки.

Суспензионный полистирол рассеивается по фракциям на установке 1 и подается в спениватель 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 агрегат для окраски 11 и сушило 12. После выхода из сушила модельные блоки манипулятором 13 перевешиваются на конвейер 14, который приносит их на участок формовки 15. Здесь манипуляторы снимают блоки с конвейера и помещают их в опоки-контейнеры, удерживая блоки в вертикальном поло-



жении во время засыпки песком. Затем формы с блоками моделей подаются на участок 16 с использованием робота-заливщика, который перемещается с ковшом 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 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 автоматические 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 газифицируемым моделям следует указать на безвозвратные потери материала разовой модели и на выделение токсичных продуктов термодеструкции модели, что требует 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 углекислого газа и паров воды.

## 6.2. ЛИТЬЕ ПО МОДЕЛЯМ, ПОЛУЧЕННЫМ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ СТЕРЕОЛИТОГРАФИИ

### **Сущность процесса.**

Этот процесс предназначен для изготовления опытных партий отливок деталей различного назначения в автомобилестроении, авиастроении, ракетной и космической технике, его используют для медицинских целей и получения художественных изделий.

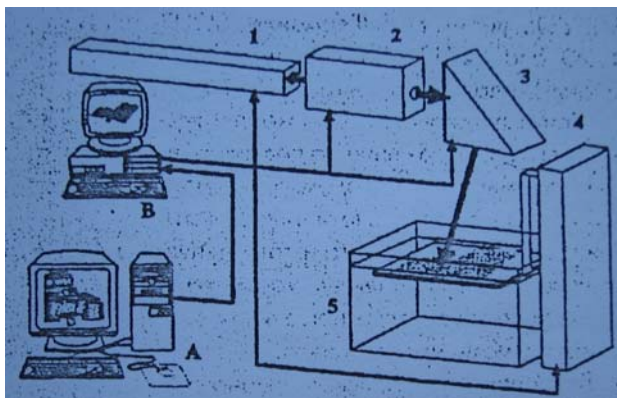
Лазерная стереолитография (ЛС), основана на фотоинициированной лазерным излучением или излучением ртутных или люминисцентных ламп полимеризации. Сущность этой технологии – создание с помощью инициирующего (например, лазерного) излучения в жидкой реакционно-способной среде активных центров (радикалов, ионов, активированных комплексов). Взаимодействуя с молекулами мономера, они вызывают рост полимерных цепей, т.е. процесс полимеризации, вследствие которого происходит изменение фазового состояния среды – в обработанной области образуется твердый полимер.

### **Особенности технологического процесса.**

Технология предусматривает создание трехмерной электронной модели будущей отливки 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 выплавляемым моделям. Полученная модель с литниковой системой формируется в гипсодиансовой смеси. Форму прокаливают до полного удаления мастер-модели. Для обеспечения высокого качества отливок заливка форм может происходить на установке для центробежного литья. Затем форму разрушают, отделяется литниковая система, производится зачистка деталей.

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 различных 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 250x250x250 мм; масса модели не более 5 кг). Отливки могут быть изготовлены из любого литейного материала.



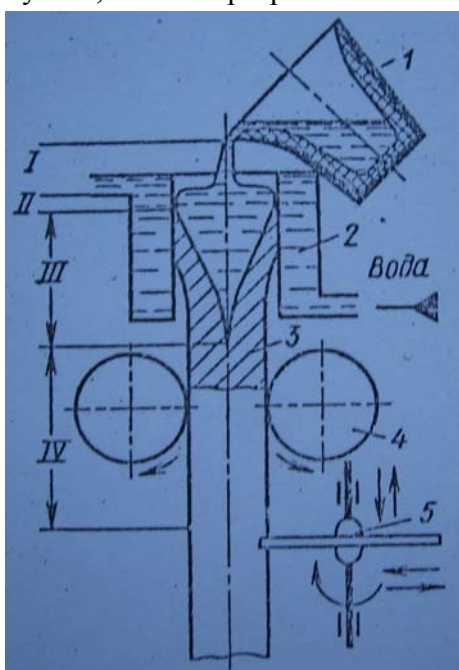
**Рис. 6.8.** Схема установки для изготовления моделей с использованием лазерной стереолитографии. 1 – HeCd-лазер; 2 – акустико-оптический затвор; 3 – двухкоординатный сканатор; 4 – элеватор; 5 – емкость с жидким фотополимером.

### 6.3. НЕПРЕРЫВНОЕ И ПОЛУНЕПРЕРЫВНОЕ ЛИТЬЕ

#### Сущность 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. Полу непрерывное 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 часть 3 отливки (слитка, прутка, заготовки прямоугольного, квадратного сечения, трубы, станы станка и др.) непрерывно извлекается валками 4 или иными устройствами, если требуется, отливка разрезается на заготовки пилой 5.



**Рис. 6.9.** Схема установки для непрерывного литья (I - IV – температурные зоны слитка). 1 – ковш; 2 – форма-кристаллизатор; 3 – отливка; 4 – валки; 5 – пила.

Непрерывное литье зародилось в XIX в металлургической промышленности 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, повысить производительность. 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- кристаллизатор заполняется 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). Таким образом, *сущность 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 газосодержание, чистую поверхность, достаточно высокую точность размеров. Однако высокая скорость охлаждения расплава во многих случаях приводит к образованию значительных внутренних напряжений в отливках, а иногда к трещинам.

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, неограниченной длины; увеличение выхода годного путем уменьшения расхода металла на прибыли и донные части слитков; уменьшение расходов на изготовление изложниц и литейных форм; повышение качества металла, точности и улучшение поверхности отливок; автоматизация процесса разлива расплава, возможность создания непрерывно действующих агрегатов для получения слитков и последующей их прокатки в профили или 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.

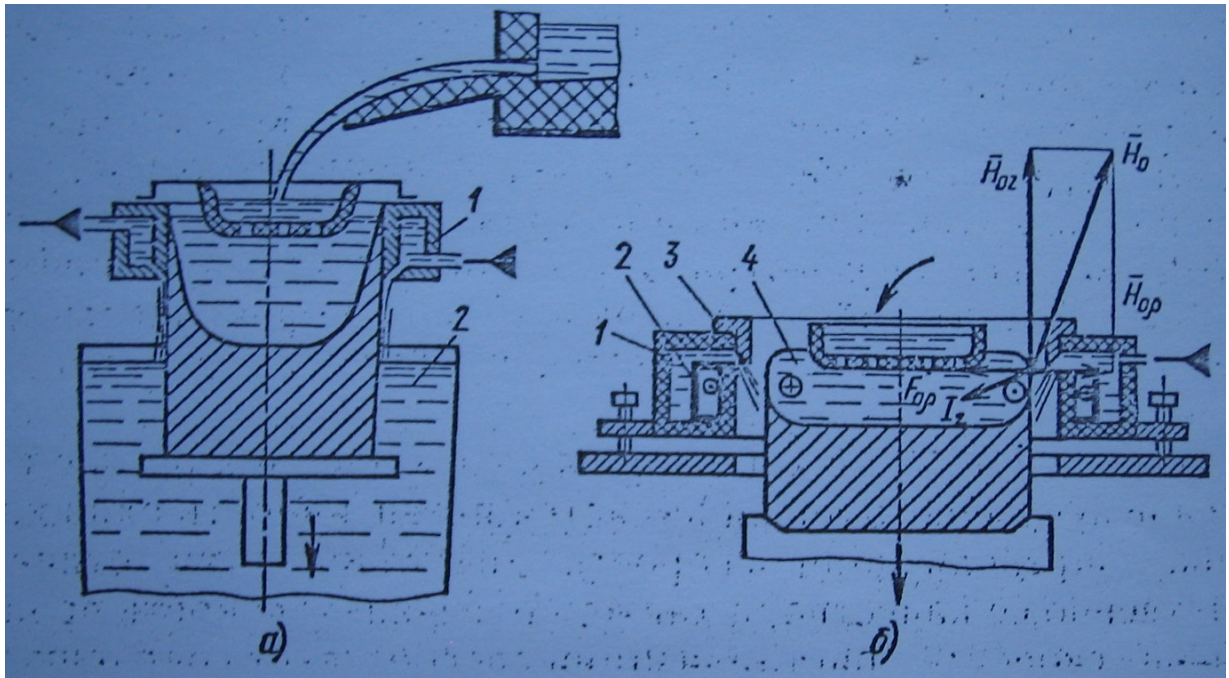
Таким образом, *непрерывное литье — это прогрессивный материало- и трудо-сберегающий технологический процесс, позволяющий повысить качество отливок, производительность и улучшить условия труда при меньших энергозатратах.*

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  $I$  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 (рис. 6.10, а). Такую схему процесса используют для литья алюминиевых сплавов.



**Рис. 6.10.** Схемы литья алюминиевых слитков в кристаллизаторе:  
*а* - коротком; *б* — электромагнитном (ЭМК).  
 1 – кристаллизатор; 2 – вода; 3 – индуктор; 4 – расплав.

Благодаря высокой теплопроводности этих 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 различных размеров с круглым, квадратным, прямоугольным поперечным сечением для последующей прокатки или других способов обработки давлением.

Однако перед прокаткой производят механическую обработку поверхности слитков для устранения неслитин, ликвационных наплывов, приводящих к образованию дефектов в прокате. Можно повысить качество слитков, снизить трудоемкость их подготовки к прокатке, используя способ литья в электромагнитный кристаллизатор (ЭМК). Сущность процесса заключается в том, что формообразование в ЭМК происходит благодаря воздействию электромагнитных сил, возникающих при взаимодействии вихревых токов, наведенных в расплаве с магнитным полем высокочастотного индуктора (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

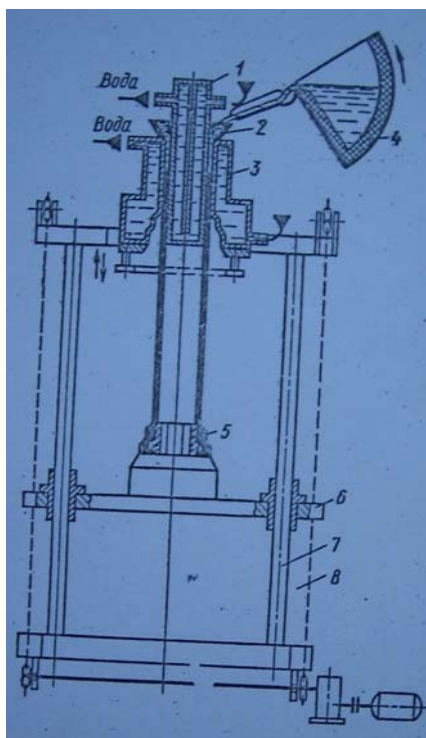


радиальную  $\overline{H}_{0p}$ . Составляющая  $\overline{H}_{0z}$ , взаимодействуя с током  $I_2$  в расплаве, создает радиально направленную силу  $F_{0p}$ . Электромагнитная сила  $F_{0p}$  способна удержать расплав от растекания и придать ему в поперечном сечении форму индуктора с размерами, зависящими от интенсивности магнитного поля, таким образом, роль кристаллизатора выполняет магнитное поле, удерживающее жидкий металл. Охлаждающая вода из коробки  $I$  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  $3$  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 ее 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, 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 кристаллизаторы, а также графитовые. Длину кристаллизатора и скорость вытягивания при литье чугуна согласуют так, чтобы не производить вторичного охлаждения отливки для предупреждения отбела. При высокой скорости охлаждения чугуна возможно образование отбела. 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.

### Полу непрерывное литье труб и втулок из чугуна.



**Рис 6.11.** Установка полу непрерывного литья труб.

1 – водоохлаждаемый стержень; 2 – литниковая система; 3 – кристаллизатор; 4 – ковш; 5 – стол; 6 – стол; 7 – колонны; 8 – цепь привода стола.

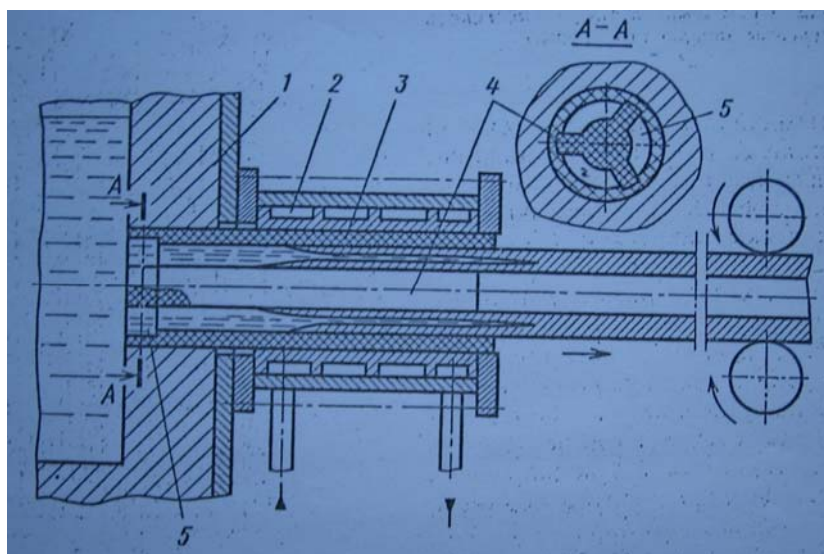
При полу непрерывном литье труб (рис. 6.11) в кристаллизатор  $3$  устанавливают водоохлаждаемый стержень  $1$  (с конусностью 0,4 %), выполняющий отверстие в трубе. Перед началом заливки стол  $6$ , на котором располагается стержень  $5$  с кольцевым пазом для захвата трубы, поднят. Жидкий чугун из 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, в 2...3 раза большей скорости вытягивания. 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.

Трубы, полученные таким способом, имеют хорошую внутреннюю и наружную поверхности, мелкозернистую структуру, высокую плотность. Полунепрерывным литьем можно изготавливать 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 используют также для получения фасонных профилей, квадратных, круглых, шестигранных, прямоугольных, с отверстиями, шестерен и т.д. Заготовки изготавливают из чугуна, медных сплавов – бронз, латуней.



**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.

Для литья таких заготовок используют заготовки горизонтального типа с графитовым водоохлаждаемым кристаллизатором (рис.6.12). В стенке раздаточной печи 1 устанавливают кристаллизаторы, состоящие из водоохлаждаемой рубашки 2 и графитовых вкладышей 3, а при необходимости получения отверстия в отливке – стержень 4 с отверстиями 5 для прохода расплава. В начале процесса внутрь кристаллизатора вводят затравку-захват. В разогретую печь заливают расплав и после выдержки для формирования отливки в кристаллизаторе начинают извлекать ее из кристаллизатора за затравку-захват. По мере извлечения отливку разрезают на мерные заготовки. Таким способом из чугуна получают заготовки для деталей гидроаппаратуры, направляющих прессов и металлорежущих станков, а из медных сплавов — для втулок, гаек, корпусов гидро- и пневмоаппаратуры.

#### **Непрерывное литье заготовок из чугуна и медных сплавов.**

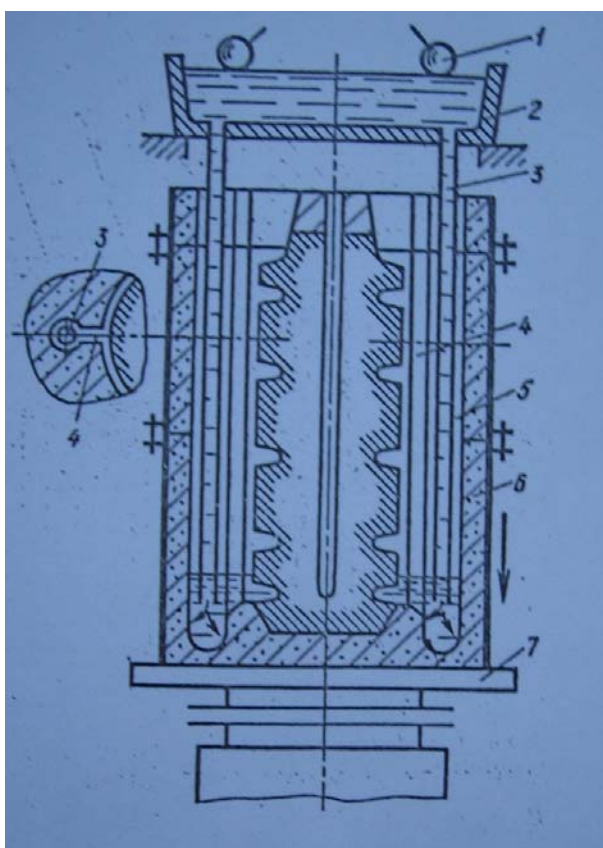
С этой целью созданы и эксплуатируются комплексные автоматизированные линии. Особенно перспективно в машиностроении изготовление профилей или заготовок



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.



**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.

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, расположенных по периметру отливки. Внутри колодцев расположены обогреваемые металлические трубки 3, закрепленные в обогреваемой чаше 2. Отверстия трубок в чаше закрыты шаровыми стопорами 1. Расплав заливают в чашу 2, затем

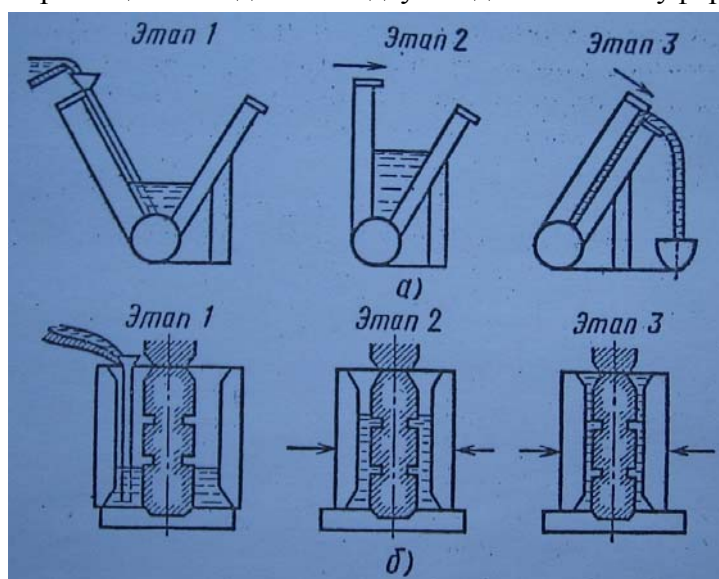
поднимают шаровые стопоры 1, и после того, как концы трубок окажутся затопленными на глубину. Скорость опускания стола с формой, расход расплава через трубки из чаши и скорость отвода теплоты от расплава формой рассчитывают так, чтобы обеспечивалась последовательная кристаллизация отливки.

Такой способ позволяет получить плотные отливки без усадочных дефектов и пористости.

#### 6.5. ЛИТЬЕ ВЫЖИМАНИЕМ.

**Сущность этого способа** литья заключается в том, что для улучшения заполнения формы и повышения качества отливки процесс 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 осуществить 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).



**Рис. 6.14.** Схемы технологических процессов литья выжиманием.

*а* – поворотом подвижной полуформы; *б* – плоскопараллельным перемещением полуформ.

После подготовки и сборки формы производят заливку расплава в нижнюю часть (металлоприемник) литейной установки (этап 1). Затем подвижную полуформу поворачивают (этап 2), и расплав поднимается в установке, заполняя полость между полу-

формами 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 (1000х3000 мм) габаритах. 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 панелей из алюминиевых сплавов, машины с плоскопараллельным перемещением полуформ – для отливок типа оболочек.

Отливки получают в песчаных формах, металлических формах со стержнями, комбинированных формах.

Поскольку таким способом производят тонкостенные отливки, то 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**

Основными параметрами технологического процесса являются скорость перемещения подвижной полуформы и закон скоростей подъема уровня расплава в установке, температуры заливки расплава в металлоприемник, начала выжимания, нагрева металлоприемника и металлических полуформ, а также толщина и свойства теплоизоляционного покрытия на поверхностях, металлических полуформ.

Температуру заливки алюминиевых и магниевых сплавов в металлоприемник установки принимают в пределах  $T_{лик} + (80 \dots 100) \text{ } ^\circ\text{C}$ , а начала выжимания  $T_{лик} + (20 \dots 40) \text{ } ^\circ\text{C}$ ; для широкоинтервальных сплавов процесс выжимания начинают при температуре ликвидуса данного сплава.

Температура нагрева металлоприемника и металлических полуформ составляет

обычно 200...320 °С.

Закон скоростей подъема уровня расплава в установке принимают таким, чтобы, подойдя к рабочей полости формы, расплав приобрел оптимальную скорость течения 0,5...0,7 м/с. Рабочая полость формы должна заполняться с оптимальной постоянной скоростью. В конце процесса необходимо снижение скорости, чтобы исключить выброс расплава из остановки по инерции. С учетом этого настраивают привод литейной установки.

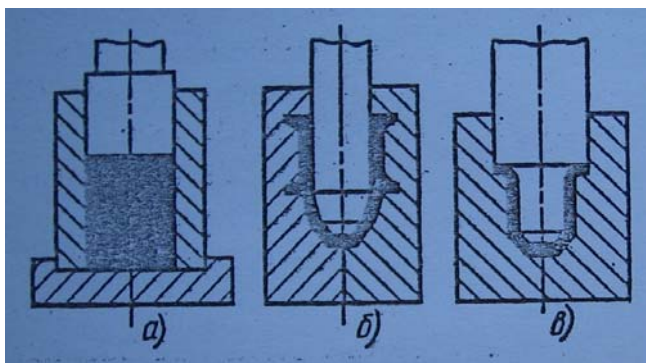
Отливки, полученные литьем выжиманием, имеют хорошие структуру и механические свойства благодаря тому, что формирование отливки происходит одновременно с заполнением литейной формы и заканчивается в основном в момент окончания ее заполнения. Это обеспечивает питание затвердевающей отливки. Изготавливают отливки из алюминиевых сплавов АК7, АК9 и др.

Экономическая эффективность процесса литья выжиманием тонкостенных крупногабаритных отливок определяется исключением трудоемких операций штамповки, сварки, клепки, сборки многочисленных деталей в один узел, уменьшением массы конструкции таких узлов.

## 6.6. КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ И ШТАМПОВКА ИЗ РАСПЛАВА.

### Сущность процессов

Эти процессы 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).



*Рис. 6.15. Схема кристаллизации под давлением поршня (а), штамповка из расплава в закрытой (б) и открытой (в) формах.*

При приложении высоких давлений (до 30 МПа и более) и перемещении поршня вследствие пластических деформаций кристаллизующейся корочки происходит уменьшение объема полости формы. В результате расплав поступает в образующиеся усадочные поры, рыхлоты и питает кристаллизующую отливку. Под действием внешнего давления растворенные в расплаве газы практически не выделяются из раствора. Высокие скорости кристаллизации расплава в металлической форме благодаря отсутствию 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 отсутствие расхода металла на литники и прибыли.

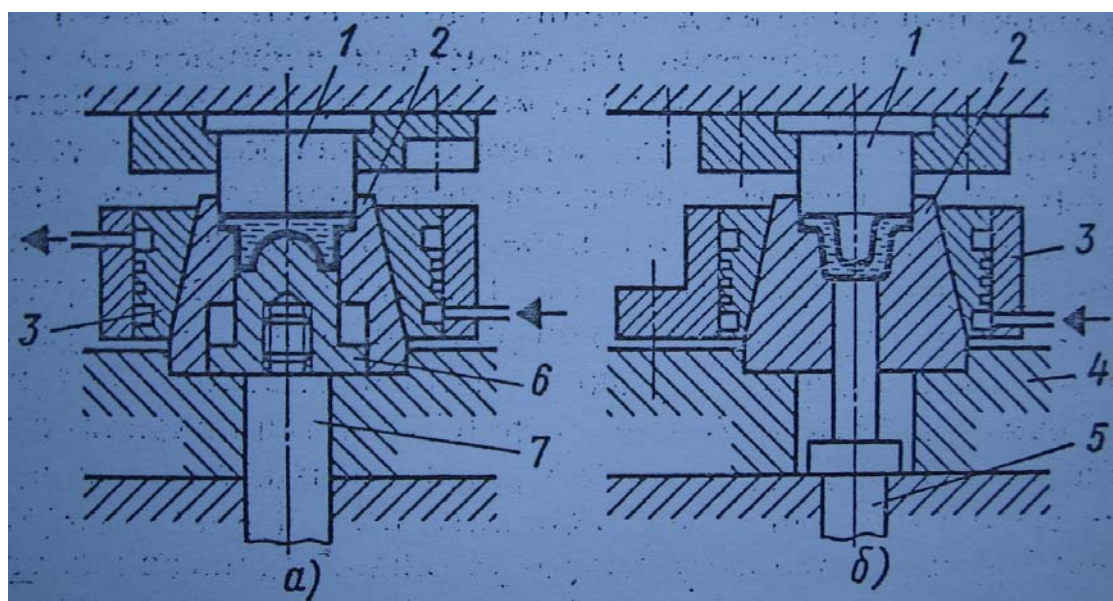
Кристаллизацию под давлением поршня применяют для изготовления слитков, фасонных отливок с толщиной стенок до 8 мм из медных, алюминиевых, цинковых сплавов, чугуна, стали.



Штамповка из расплава (рис. 6.15, б, в) совмещает, по существу, заполнение формы выжиманием и кристаллизацию под давлением. Расплав заливают в разъемную металлическую форму до определенного уровня и затем погружают пуансон, который выжимает расплав в полость формы. Давление на пуансон используется для уплотнения кристаллизующейся отливки и заполнения формы.

Штамповку 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 различную толщину дна; в открытой форме все внутренние продольные размеры могут быть неточными, вплоть до незаполнения формы.



**Рис. 6.16.** Формоблоки для кристаллизации под давлением (а) и штамповки из расплава (б).

1 – пуансон; 2 – матрица; 3 – обойма; 4 – нижняя плита прессы; 5, 6 – выталкиватели; 7 – шток привода толкателя.

Формы для кристаллизации под давлением и штамповки из расплава должны быть прочными. Детали форм, соприкасающиеся с расплавом, изготавливают из сталей 3Х2В8Ф, 4ХВ8, Х12М и подвергают термической обработке. Обычно применяют универсальные формоблоки (рис. 6.16) со сменными матрицами 2, пуансонами 1 и выталкивателями 5, 6. Матрицу 2 устанавливают в обойму 3, имеющую систему для подачи охлаждающей воды. Обойму 3 крепят на нижней плите 4 прессы. Выталкиватель 6 опирается на плиту 4 и поднимается штоком 7. 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, предъявляемых к ней требований.

Важнейшими параметрами процесса 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 широкоинтервальных сплавов 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.

Температура матрицы и пуансона должна 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. Повышение температуры заливки 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 вызывают замешивание воздуха, находящегося между зеркалом расплава в матрице и пуансоном, в расплав и образование дефектов. Продолжительность выдержки под давлением зависит от длительности затвердевания отливки, которая может быть определена по известным зависимостям тепловой теории литья [2].

Процесс 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. Указанные факторы, а также то, что не всегда удается полностью компенсировать усадку расплава при затвердевании, ухудшают свойства литого металла по сравнению с металлом, обработанным давлением. Однако заготовки, получаемые обработкой давлением, часто имеют значительно бóльшие, чем отливки, припуски на обработку резанием. При использовании поковок для изготовления крупных деталей машин велики отходы металла в стружку.

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».

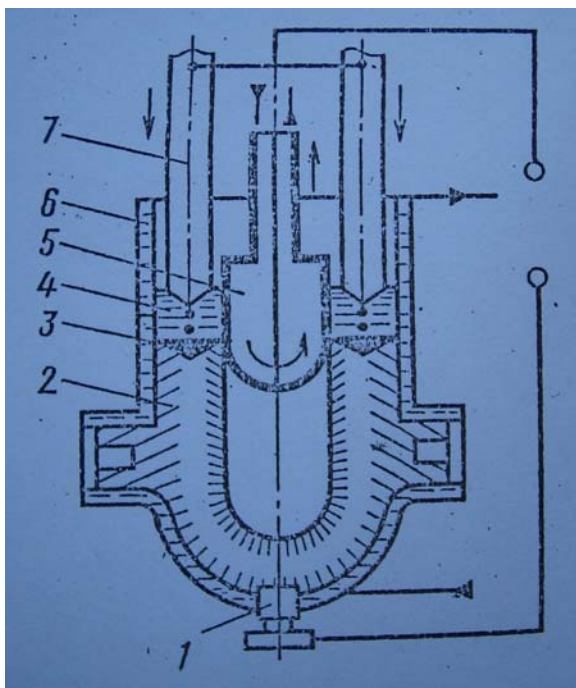
##### **Сущность процесса.**

Электрошлаковое литье (ЭШЛ) - это способ получения фасонных отливок в водоохлаждаемой металлической литейной форме — кристаллизаторе, основанный на применении электрошлакового переплава (ЭШП) расходуемого электрода. Отливку получают переплавом электродов из металла требуемого химического состава. Источником теплоты при ЭШЛ является шлаковая ванна, нагреваемая вследствие прохождения через нее электрического тока (рис. 6.17). В начале процесса в водоохлаждаемый медный кристаллизатор 6 заливают предварительно расплавленный шлак специального состава. Электрический ток подводится к переплавляемым электродам 7 и затравке 1 в нижней части кристаллизатора 6. Шлаковая ванна обладает малой электропроводностью, поэтому при прохождении через нее тока выделяется большое количество теплоты, Дж:

$$Q = I^2 R_{ш} t,$$

где  $I$  – сила тока;  $R_{ш}$  – электрическое сопротивление шлаковой ванны;  $t$  - время





**Рис. 6.17.** Схема получения отливки электрошлаковым литьем. 1 – затравка; 2 – отливка; 3 – расплав; 4 – шлаковая ванна; 5 – стержень; 6 – кристаллизатор; 7 – электроды.

процесса. Шлаковая ванна нагревается до 1700 °С и более, благодаря чему погруженные в нее концы электродов оплавляются. Капли расплавленного металла проходят через ванну шлака 4, собираются в зоне кристаллизации, образуя под слоем шлака металлическую ванну 3. Металлическая ванна непрерывно пополняется в верхней части расплавом от плавящихся электродов и последовательно затвердевает в нижней части вследствие отвода теплоты через стенки кристаллизатора. Для получения отливки 2 электроды 7 по мере их оплавления и затвердевания

отливки постепенно поднимаются вверх. Для образования полости в отливке водоохлаждаемый металлический стержень 5 также перемещается вверх.

Таким образом, *сущность 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 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 малотеплопроводного шлака между отливкой и кристаллизатором. Основное количество теплоты подводится в верхнюю часть отливки расплавленным и перегретым электродом металлом, 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, а 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, 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 положитель-

ное влияние на механические свойства металла: улучшается микроструктура отливки, 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 имеют металл и поверхность высокого качества.

Вместе с тем для изготовления отливки требуется достаточно сложная и дорогостоящая литейная форма, специальные заготовки — электроды из проката или предварительно отлитые.

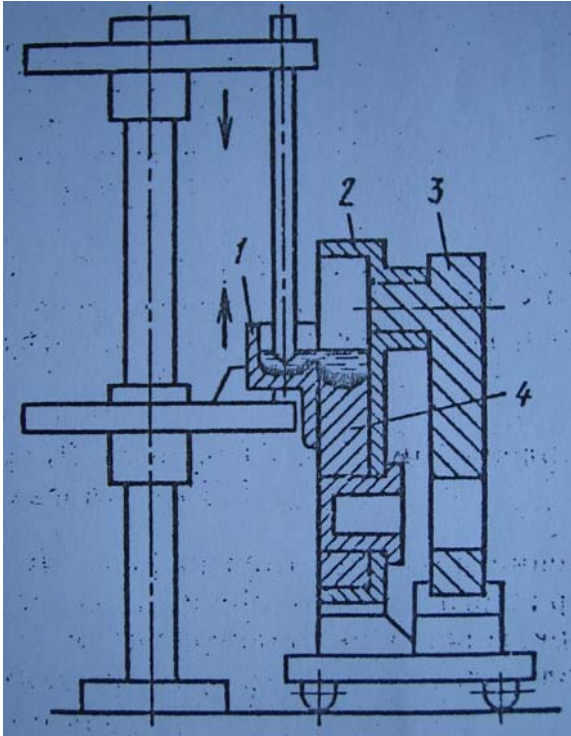
Накопленный производственный опыт показывает, что наиболее выгодно использовать этот процесс для получения отливок из специальных сталей и сплавов и отливок ответственного назначения, к которым предъявляются повышенные требования по качеству металла, механическим свойствам.

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, бандажи цементных печей, заготовки штамповочного и режущего инструмента и другие детали (рис. 6.18). Область применения ЭШЛ благодаря его преимуществам постоянно расширяется.



*Рис. 6.18. Отливка, полученная по технологии ЭШЛ.*

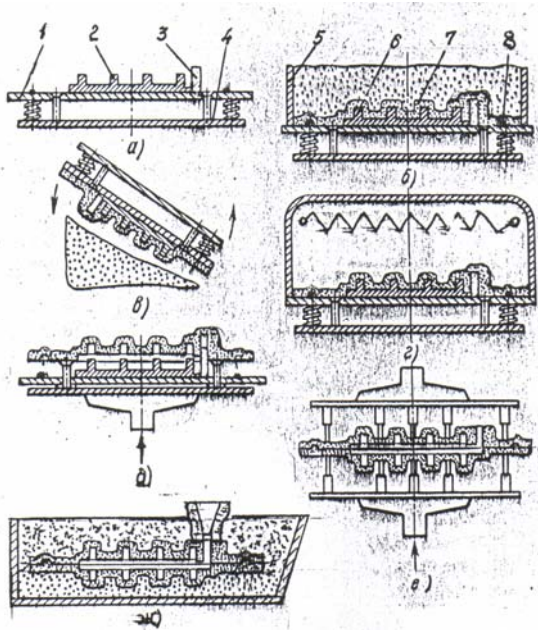
**Литейные формы** — кристаллизаторы для ЭШЛ — обычно изготавливают из меди, их делают тонкостенными, водоохлаждаемыми. Используют кристаллизаторы двух типов: предназначенные для выплавления отливки целиком (см. рис. 6.17) и предназначенные для выплавления только объединяющей части изделия, а остальные части, изготовленные заранее, устанавливают в соответствующие отверстия литейной формы и во время выплавки приплавляют их к объединяющей части изделия (рис. 6.19).



**Рис. 6.19.** Схемы выплавки кривошипа коленчатого вала судового дизеля способом ЭШЛ.

1 — плавильный карман, 2 — кристаллизатор, 3 — ранее выплавляемая часть изделия, 4 — выплавляемая часть изделия.

Для выплавки фасонных отливок сложной формы используют кристаллизаторы, имеющие вертикальный и горизонтальный разъемы. Разъемные литейные формы бывают двух типов: с разборкой после окончания выплавки отливки и с подвижными частями для уменьшения напряжений в отливке, возникающих при ее усадке (рис. 6.19). Литейные формы с подвижными частями для ЭШЛ с переливом состоят из неподвижной - формообразующей и подвижной - плавильной - частей (рис. 6.20). Формы рассмотренных типов позволяют использовать для ЭШЛ универсальные установки.



**Рис. 6.20.** Конец книги – пора отдохнуть.



### **Материал отливок.**

Основными материалами для выплавки отливок являются расходуемые электроды, флюс, различные лигатуры и раскислители.

Расходуемые электроды изготавливают различными способами: отливкой в изложницы, центробежным, непрерывным литьем; могут быть использованы электроды из металлургического проката. Электроды должны быть предварительно очищены от масла, загрязнений, окалины.

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 различные флюсы, как правило, фтористоокисных систем. Например, самый простой флюс АНФ-1П содержит 100 мас. %  $\text{CaF}_2$ . Хорошими защитными свойствами, снижающими содержание водорода в металле отливки, обладает флюс АНФ-6, состоящий из 70 мас. %  $\text{CaF}_2$  и 30 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Перед началом процесса флюс предварительно расплавляют в графитовом тигле графитовым электродом для очистки его от влаги, кремнезема, окислов железа и других вредных примесей, а затем в жидком виде заливают в кристаллизатор.

**Технологические режимы плавки** зависят от размеров изделия, свойств переплавляемого металла, состава шлака. 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 расходуемого электрода имеет конфигурацию конуса с основанием диаметром, равным диаметру электрода. Если уменьшить скорость подачи электрода в ванну, процесс плавления электрода перейдет в электродуговой режим. Это приведет к неустойчивому режиму плавления, 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 — возможно короткое замыкание вследствие вымораживания конца электрода в ванну. В этом случае длительность контакта металлических капель со шлаком уменьшается и рафинирование металла ухудшается.

**Технико-экономическая эффективность ЭШЛ** определяется его преимуществами: большим количеством литого металла, снижением трудоемкости, высоким выходом годного, возможностью автоматизации технологических операций и управления качеством отливки. 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 благодаря уменьшению 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 инструменталь-

ных 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 устранениюковки, 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.

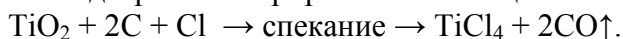
*Титан* – химический элемент, металл, плотностью  $\rho = 4500 \text{ кг/м}^3$ , был открыт в 1870 году. Температура плавления  $T_{\text{пл.}}=1668 \text{ }^\circ\text{C}$ . Допустимые напряжения растяжения титана в ~6 раз больше, чем напряжения растяжения алюминия. Титан химически стойкий во влажном воздухе, морской воде, в азотной  $\text{HNO}_3$  и соляной кислотах  $\text{HCl}$ . Такая стойкость обусловлена образованием прочной оксидной пленки  $\text{TiO}_2$ , защищающей металл от дальнейшего окисления и взаимодействия с активными веществами. Наиболее рациональная температурная область использования титановых сплавов  $250...550 \text{ }^\circ\text{C}$ . Это температуры при которых алюминиевые и магниевые сплавы не используются по причине их низкой термопрочности, а стали уступают по удельной прочности.

Титан обладает теплопроводностью в 5 раз, а электропроводностью в 15 раз ниже стали, обладает повышенной теплостойкостью. Содержание титана в земной коре ~0,6%.

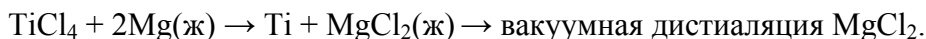
Структура титана до  $T=882 \text{ }^\circ\text{C}$  – гексагональная ( $\alpha\text{Ti}$ ), после  $T=882 \text{ }^\circ\text{C}$  – объемноцентрированная кубическая решетка ( $\beta\text{Ti}$ ).

### **Производство титана.**

Исходным сырьем для получения титана являются титано-магнетитовые руды. На первых этапах этого процесса получают титановый шлак, содержащий 80...90%  $\text{TiO}_2$ . Затем шлак подвергают хлорированию в специальных печах



Титан из четыреххлористого титана восстанавливают в реакторах при температуре  $950...1000 \text{ }^\circ\text{C}$



В связи с возрастающей потребностью промышленности производство титана постоянно увеличивалось (если в 1947 г. его было произведено ~2 т, 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 (сплав ВТ14Л имеет  $\sigma_{\text{в}}=900 \text{ МПа}$ , а сплав ВТ1Л  $\delta=10\%$ ) и невысокой плотности (высокой удельной прочности) они нашли, прежде всего, широкое применение в авиации, судостроении и ракетостроении, а высокая химическая стойкость привела к их применению в атомной технике, химическом машиностроении, медицинском оборудовании. 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 литейными свойствами.



Так жидкотекучесть у них выше, чем у многих сталей благодаря меньшей теплопроводности, они имеют невысокую склонность к образованию горячих трещин, так как имеют небольшой интервал кристаллизации.

Вместе с тем, титановые сплавы обладают высокой химической активностью в расплавленном состоянии. Этим обусловлены высокие требования к химической стойкости форм, требует 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: блочных графитовых 2...15 заливок, сборных графитовых 40...50, кокилей до 100 заливок. Заливка их, как правило, происходит в специальных вакуумных установках, позволяющих произвести плавку металла и заливку сложных форм в поле центробежных сил.

При изготовлении форм для отливок из титана по технологии литья по выплавляемым моделям в качестве огнеупорной основы форм применяют окислы  $ZrO_2$ ,  $Al_2O_3$ , тугоплавкие и обладающие высокой термохимической устойчивостью. Связующим служит ЭТС 40 или оксинитрат алюминия  $Al_3(OH)_8NO_3$ . Однако применение этих материалов не исключает образования на поверхности отливок очень твердого слоя, содержащего  $\alpha$ -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 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 (ГТД)

Улучшение летно-технических характеристик современных авиалайнеров и вертолетов требует увеличения мощности двигателей. Повышение температуры газа перед турбиной приводит к существенному повышению экономичности, резкому росту удельной мощности, сокращению удельного веса и габаритов ГТД, значительно увеличивает тягу.

Температура газа перед турбиной может быть повышена в результате применения:

- новых жаропрочных материалов;
- монокристаллической структуры материала отливки;
- улучшенных систем охлаждения турбинных лопаток.

Начиная с 1958 г., использование более жаропрочных, чем использовавшихся ранее сплавов, позволило поднять температуру газа до 1000...1100 °С.

Изготовление лопаток с направленной и монокристаллической структурой повысило их жаропрочность в 2..4 раза по сравнению с лопатками, имеющими равноосную структуру. В сочетании с использованием современных систем охлаждения лопаток это позволило поднять температуру газа перед турбиной до 1300 °С.

Охлаждаемые лопатки ГТД, работающие 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. Преимущество во всем мире имеет процесс ЛВМ. Литые лопатки дешевле штампованных на ~30%. Литейная технология позволяет: сократить расход металла на 18...20 %; снизить трудоемкость на ~40 %; снизить себестоимость на 20...35 %; повысить механические свойства на 30...40%.

Припуск на обработку практически не назначают, т.к. 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**

Модельные составы: МВС-3А, ПС, ВИАМ-102, МПВС-2, МВ и др.

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 (при обжиге, например) будет деформироваться и стержень. Для пустотелых лопаток в качестве наполнителя форм используют огнеупорные материалы: электрокорунд, плавленный кварц, циркон, двуокись титана.

Технология изготовления форм и стержней.

При изготовлении оболочковой формы для приготовления огнеупорной суспензии в качестве огнеупорного материала применяют корундо-силлиманит и гидрализованый раствор ЭТС– 40. В качестве обсыпочногo материала для первого слоя применяют электрокорунд со средним размером зерен 0,16, а для последующих слоев свыше 0,28 мм. Количество слоев – до 9...12.

Для изготовления стержней возможно использование нескольких технологических процессов: Шоу-процесса; спекание; горячие ящики (связующее - кремнийорганическая смола К101); спекание 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. главу 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 (2 слоя). Покаленные оболочки заливают при температуре 1000...1520 °С. Суммарное время прокаливания формы от 3 до 25...30 час.

Основные этапы разработки и организации технологического процесса изготовления лопаток ГТД с полостями:

1. Разработка структуры процесса.
2. Конструирование оснастки (пресс-формы для стержня, пресс-формы для модели отливки, пресс-формы для драйверов стержней).
3. Изготовление стержня.
4. Изготовление выплавляемой модели.
5. Пайка блока.
6. Изготовление оболочки ( в т.ч. с легирующими добавками).
7. Выплавление.

8. Прокаливание и заливка формы.
9. Гидроочистка, выщелачивание стержня.
10. Отрезка литников (абразивная, анодно-механическая, плазменная).
11. Контроль (внешний, с помощью рентгенотелевизионного микроскопа, цветная дефектоскопия, проверка геометрии, размеров, в том числе, по сечениям пера лопатки).
12. 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, форма изготавливается 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.

##### **Сущность процесса**

Начальным этапом является изготовление оригинала изделия. Это задача скульптора, автора такого изделия. Оригинал имеет техническое название “мастер-модель”, иногда “промодель” или “прима”. Мастер-модель может изготавливаться из пластилина, гипса, твердых восков, легкообрабатываемых металлов. Для изготовления пресс-формы применяют синтетические материалы – виксинты или силиконовые герметики. В исходном состоянии виксинит – жидкий. В него для отверждения вводят до 1% кислотного катализатора, перемешивают, готовую смесь наносят на поверхность мастер-модели. Через 2...3 часа смесь твердеет, при этом остается эластичной. Для снятия виксинитовой 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 модельного состава в пастообразном состоянии. Для этого применяют установки –инжекторы, в которых происходит расплавление модельного состава, охлаждение до пастообразного состояния, запрессовка модельного состава сжатым воздухом. После охлаждения модели пресс-форму разбирают. При необходимости модель очищают от облоя.

В модельные составы входят обычно следующие компоненты: парафин, шеллачный воск, синтетический церезин, сополимеры этилена с винилацетатом. Температура плавления 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. Количество 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, смесь заливают в опоку, куда заранее установлен блок моделей. Опоку устанавливают в вибровacuумную установку и подвергают обработке 5...10 мин для наиболее полного удаления из смеси пузырей воздуха.

После формовки и отвердевания смеси форму выдерживают на воздухе 1...3 часа.

В состав формовочных смесей входит 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, измельченный до размеров зерен 0,08 мм и содержит до 96%  $\text{SiO}_2$ .

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 освобождается. Часть модельного состава впитывается в форму. При прокаливании формы нагревом до 700 °С модельный состав должен полностью выгорать. Нагрев форм при прокаливании проводят под управлением программного устройства “ПРОТЕРМ” по специальному режиму. Плавку сплавов проводят преимущественно в печах с электрическим нагревом с использованием графитовых, керамических или кварцевых тиглей. Заливка форм проводится с помощью прогретых ковшей или в установках с центробежной заливкой форм. При такой заливке на металл создается внешнее давление, 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.

Оставшиеся операции изготовления отливок – отделка поверхности с помощью галтовки, шлифовки, термообработки, травления, нанесения защитных или декоративных покрытий.

После всего этого принято посмотреть на готовое изделие.