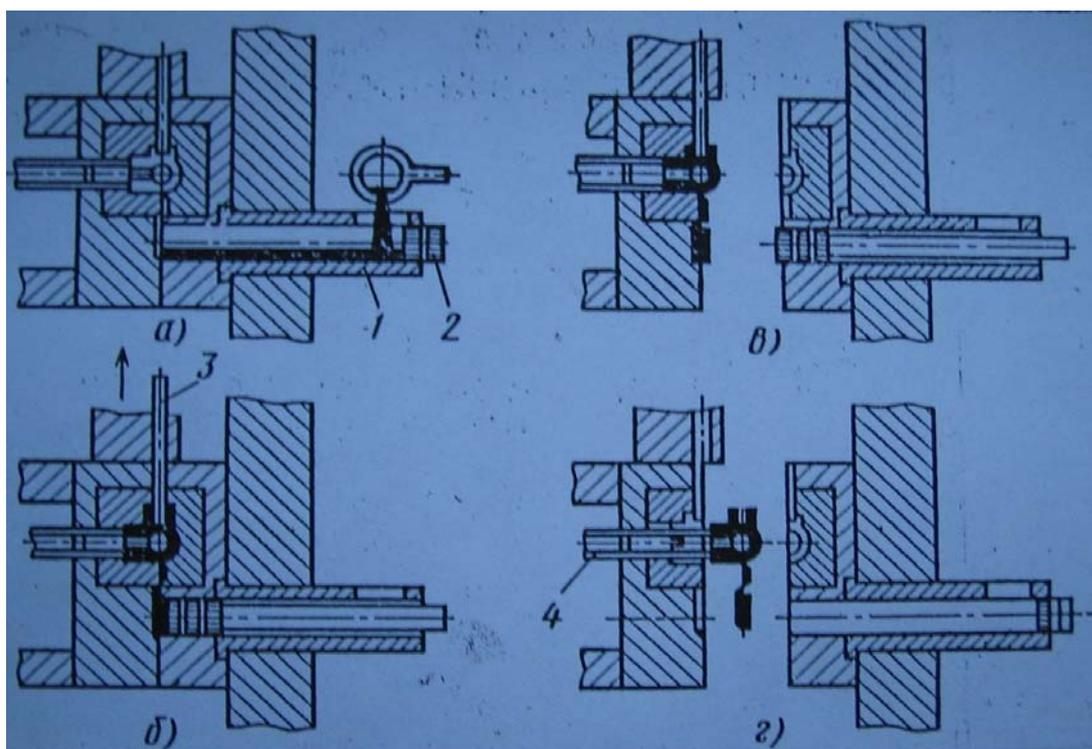


## ГЛАВА 3. ЛИТЬЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

### 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.

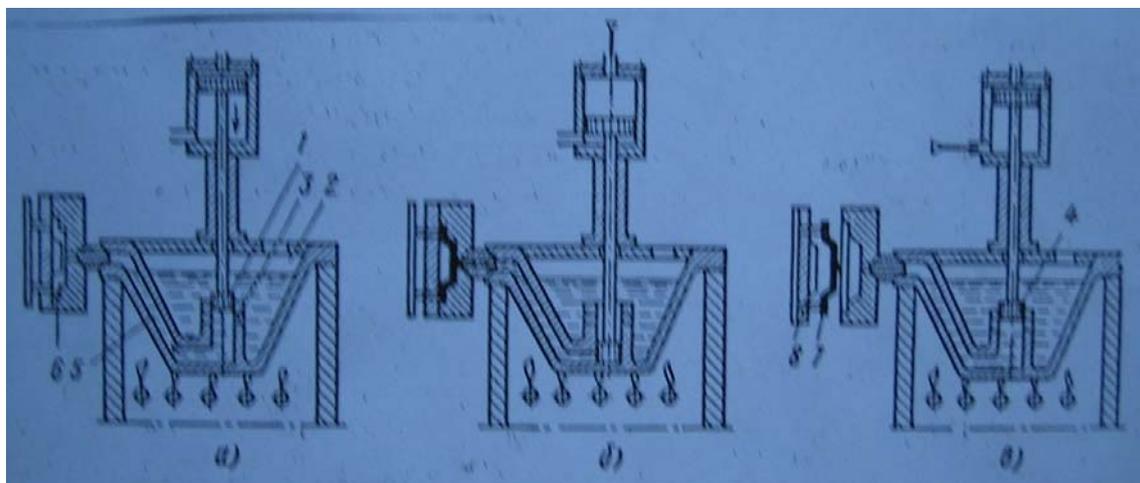


**Рис. 3.1.** Схема технологического процесса литья под давлением на машине с холодной камерой прессования: а - подача расплава в камеру прессования; б - запрессовка; в - раскрытие пресс-формы; г - выталкивание отливки; 1 - пресс-форма; 2 - камера прессования; 3 - пресс-поршень; 4 - стержень; 5 - выталкиватели.

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 каналы 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 заливов 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 подвергаются 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-

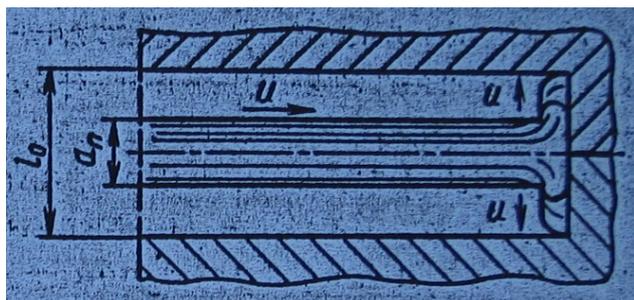
твердеет раньше отливки  $t_{затв}^{num} < t_{затв}^{омл}$ , давление на затвердевшую отливку будет действовать в течение времени от момента окончания заполнения пресс-формы до окончания затвердевания питателя:  $t_{дав} \approx t_{затв}^{num}$ . Если  $t_{затв}^{num} \approx t_{затв}^{омл}$ , то давление 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.

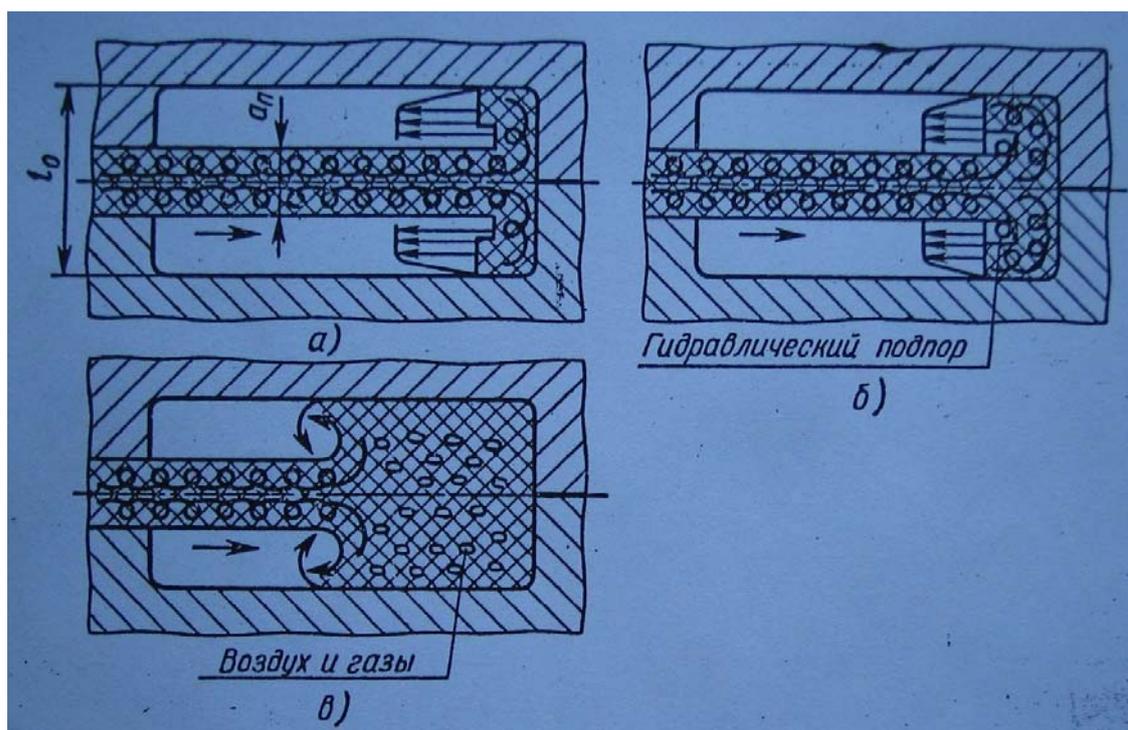
С увеличением толщины питателя критические скорости уменьшаются, турбулентность возрастает, что увеличивает пористость отливок.

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.

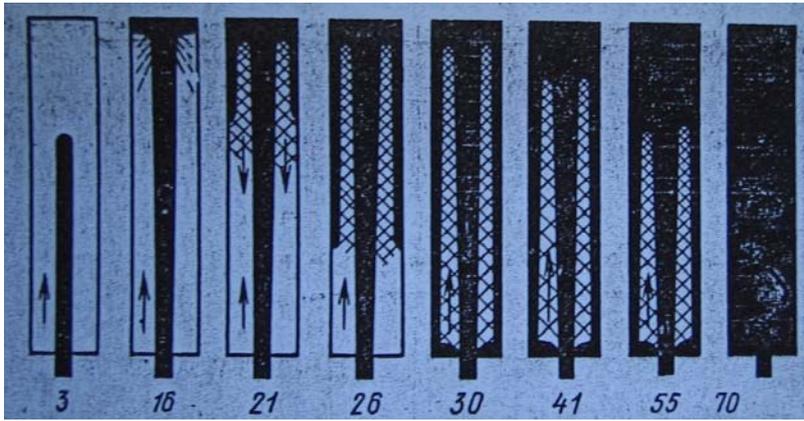
Заполнение сплошным турбулентным потоком жидких сплавов происходит при скоростях впуска  $0.5 \dots 50$  м/с в зависимости от основы сплава и размеров питателя. При заполнении сплошным турбулентным потоком (рис. 3.4) расплав интенсивно захватывает воздух и продукты разложения смазочного материала, которые 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 —



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

давлению на расплав со стороны пресс-поршня. Из-за небольшого сечения питатель затвердевает значительно быстрее, чем от-

ливка, и давление пресс-поршня быстро перестает действовать на затвердевающую отливку. Газы, заключенные внутри отливки, находясь под давлением, стремятся расшириться, 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.**

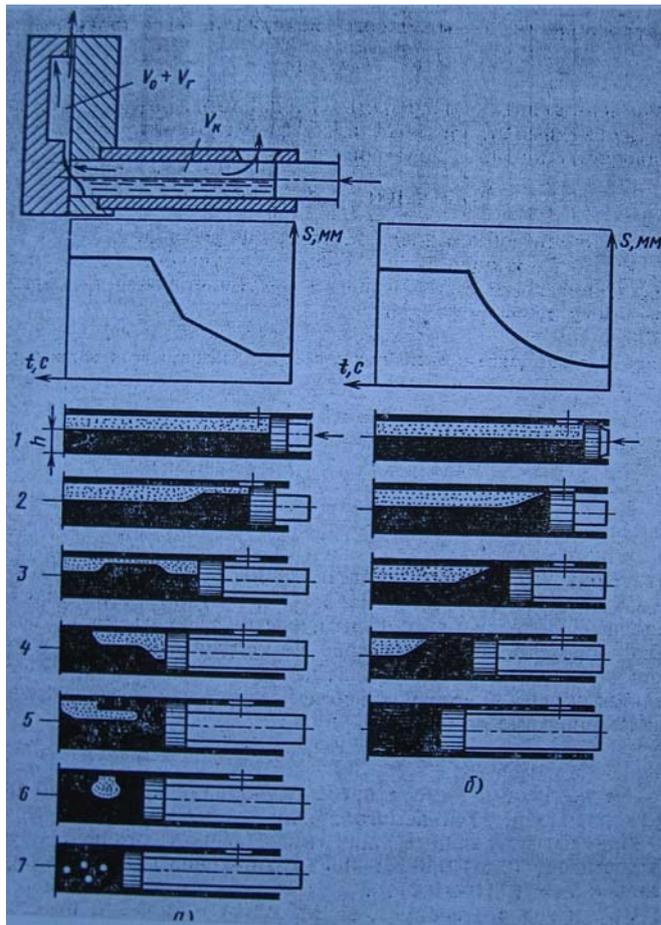
Для получения качественной отливки необходимо, чтобы при заполнении расплавом пресс-формы воздух и газы от разложения смазочного материала удалялись из нее, так как, попадая в отливку, они ухудшают ее свойства.

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.

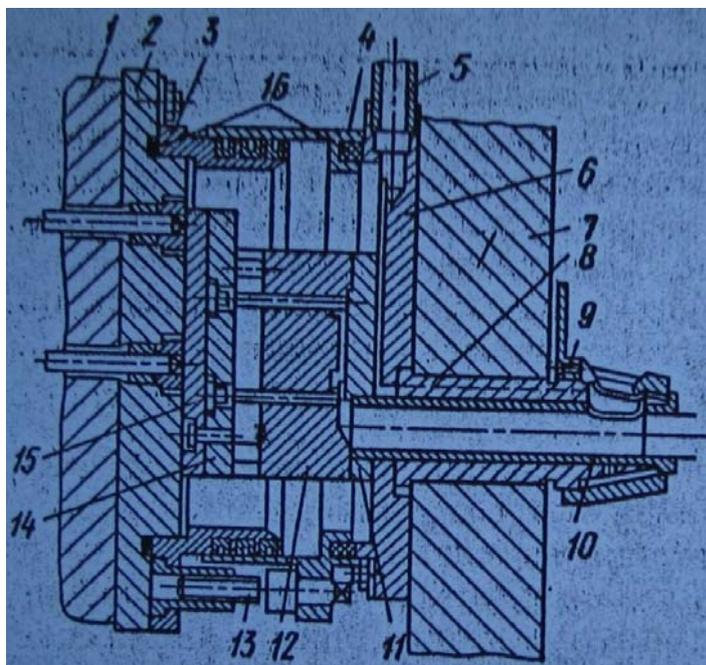
Основная причина, вызывающая необходимость высоких давлений прессования, является недостаточная вентиляция пресс-формы.

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-

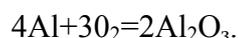
чивать быстрое и полное удаление воздуха и газов из полости пресс-формы; осуществлять отсос воздуха и продуктов разложения смазочного материала из мест пресс-формы, где они могут скапливаться; использовать смазочные материалы с низкой газотворной способностью; исключать натекание воздуха из атмосферы 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.

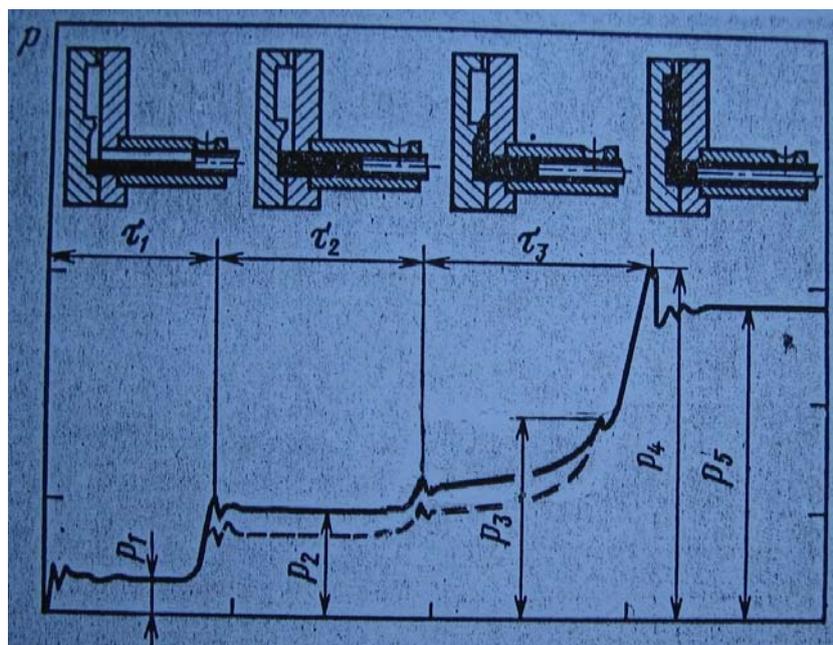
По сравнению с вакуумированием полости пресс-формы кислородный процесс обла-

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.

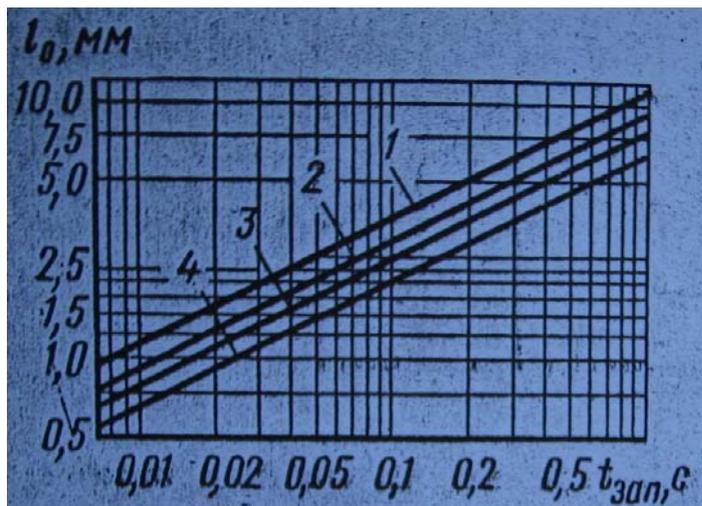
Требуемое статическое давление прессования зависит от состава сплава, его свойств (вязкости, плотности), эффективности работы системы, вентиляции, конфигурации и толщины стенки отливки, требований к ее качеству (плотности, прочности, герметичности и состоянию поверхности). Оно обычно назначается в пределах 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  $u_{вп}$  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

**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.

продолжительность заполнения, найденная для определенных, наиболее характерных для данных сплавов температур заливки расплава и пресс-формы, зависит только от толщины тела отливки и не зависит от ее

конфигурации, размеров и массы. Очевидно, что в условиях интенсивного теплообмена между расплавом и пресс-формой время течения первых 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.

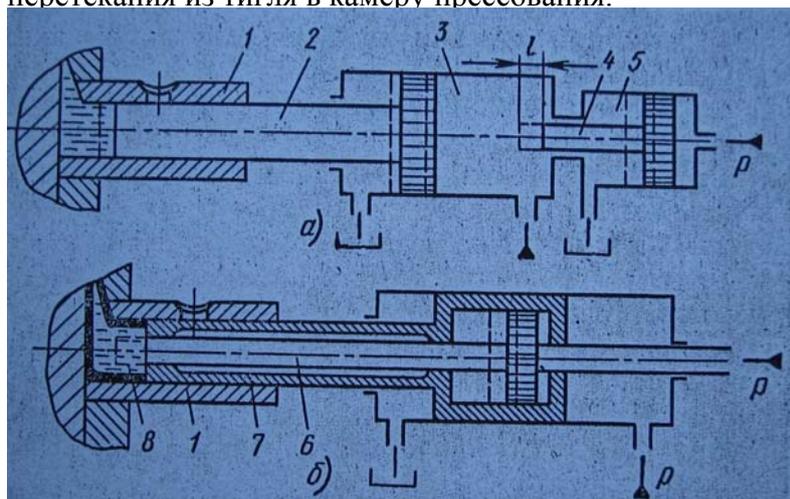
Температура пресс-формы перед заливкой назначается с учетом состава заливаемого сплава, конфигурации отливки, толщины ее стенки, а также других факторов. Температуру формы принимают для сплавов: цинковых 120...160 °С, алюминиевых 180...250 °С, магниевых 200...240 °С, латуни 280...320 °С, стали 200...280 °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  $10 \dots 30^\circ$  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  $40 \dots 60\%$  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 перемерзания 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 смазочные 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.

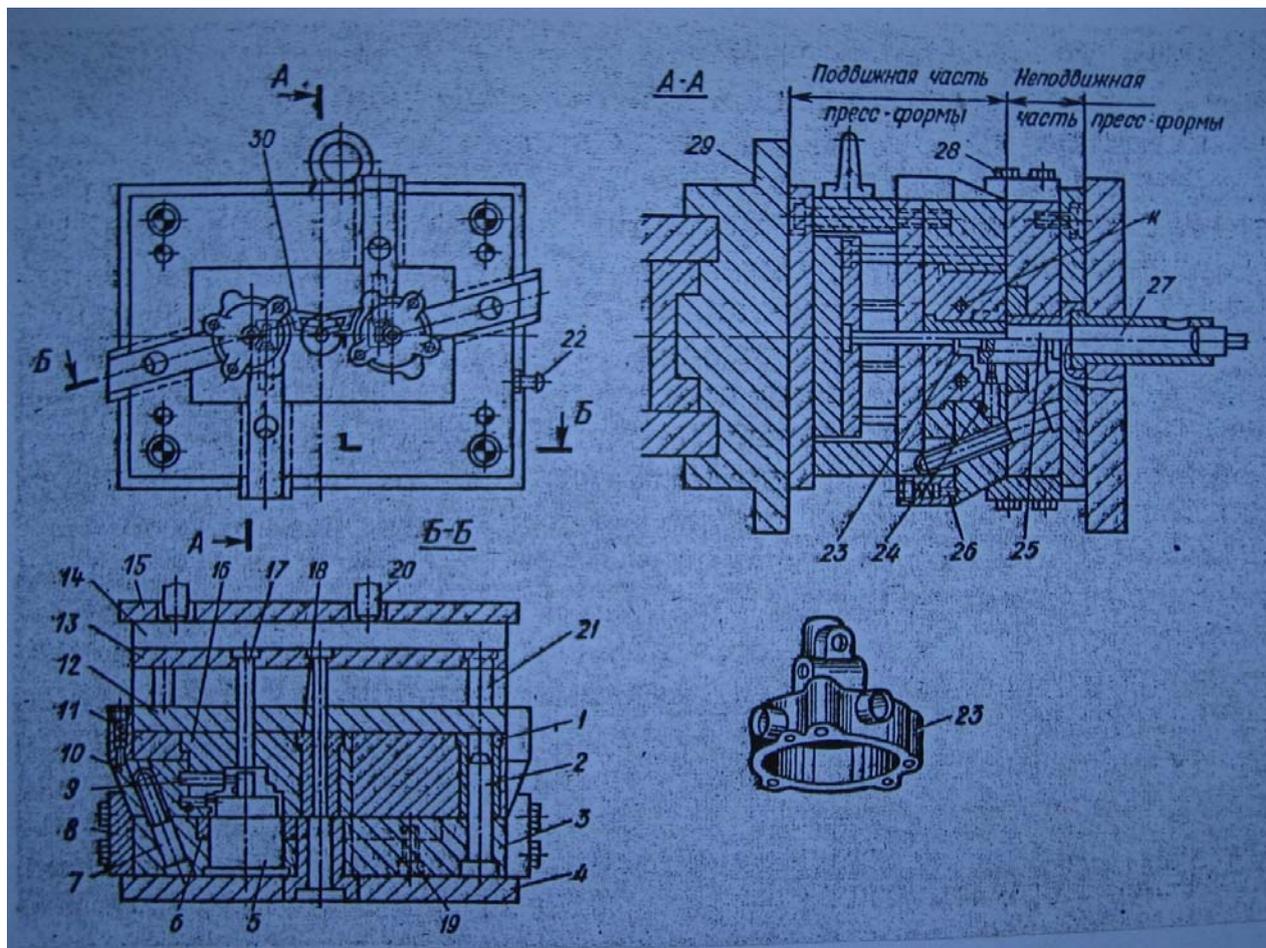
Вспомогательные смазочные материалы, упрощают обслуживание пресс-форм и продлевают срок их эксплуатации. К ним относятся, например, антипригарные смазочные материалы для крепежных деталей пресс-форм и материалы для направляющих колонок.

### 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 съем 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.

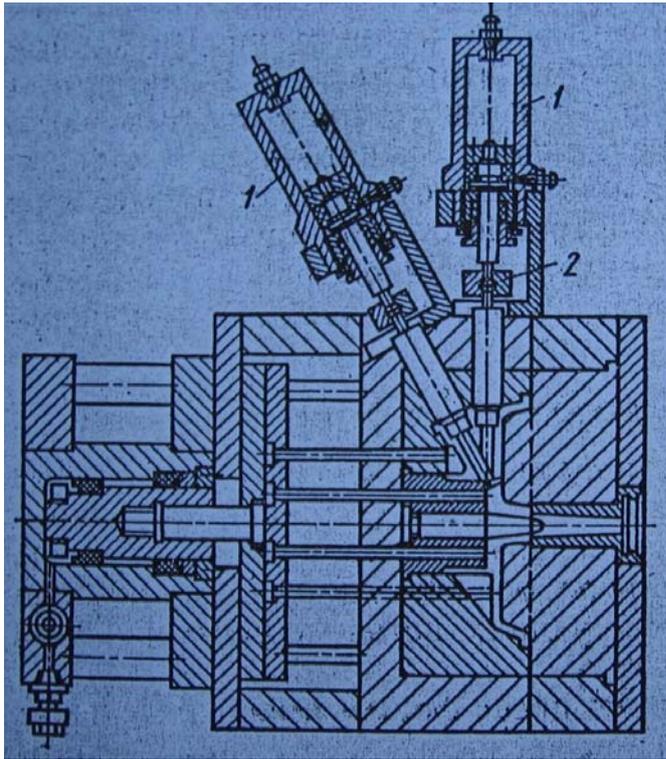
Пресс-формы для изготовления отливок в мелкосерийном производстве характеризуются упрощенной конструкцией. Широко используются конструкции пресс-форм на базе универсальных блок-форм со сменными вкладышами, что позволяет снизить их стоимость.

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:  $L = S / \sin \alpha$ .

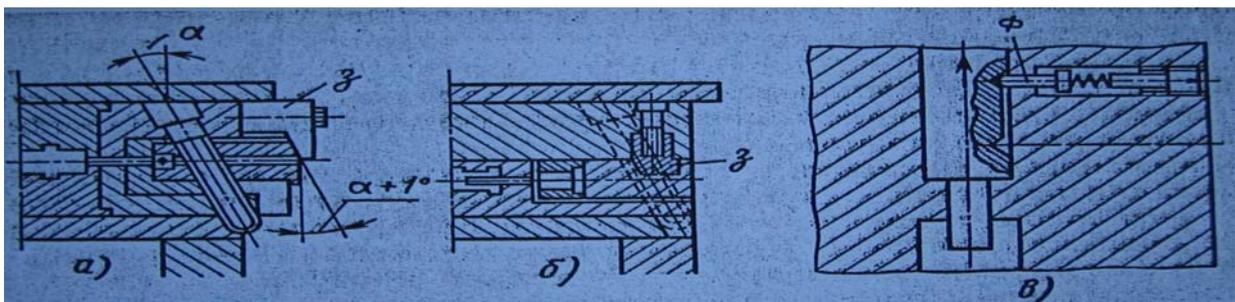
Кроме клиновых, применяют реечные механизмы и реечно-клиновые. Эти механизмы используют для извлечения стержней, ход которых превышает 50 мм.



**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, раскататели 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.

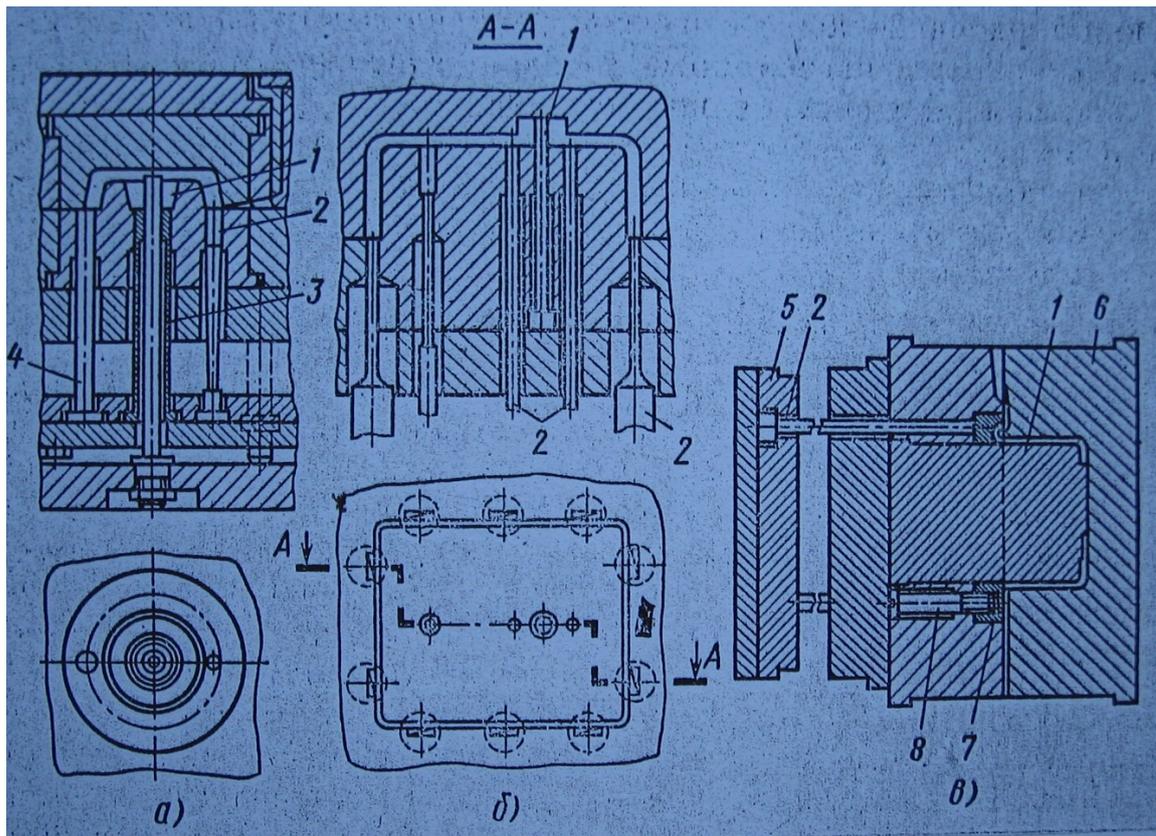
Стержни могут быть неподвижные, подвижные, отъемные (например, резьбовые) и разовые. Неподвижные стержни (см. рис. 3.11) устанавливают перпендикулярно к плоскости разъема и закрепляют во вкладышах подвижной и неподвижной частей пресс-формы. Подвижные стержни оформляют отверстия и полости в отливке, расположенные 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 прес-сования 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.

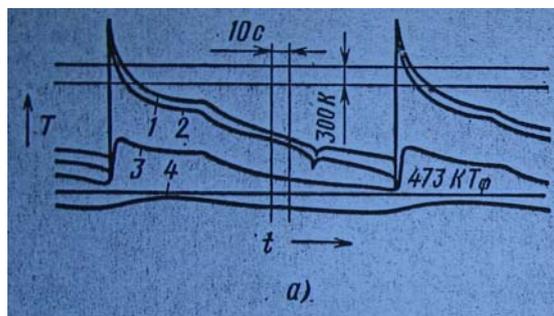
Для придания необходимых служебных свойств формообразующие детали пресс-форм подвергают термической и химико-термической обработке — низкотемпературному цианированию на глубину 0,05...0,2 мм. После закалки и отпуска они должны иметь твердость на поверхности  $HRC\ 58...62$ .

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  $HRC\ 30...34$ .

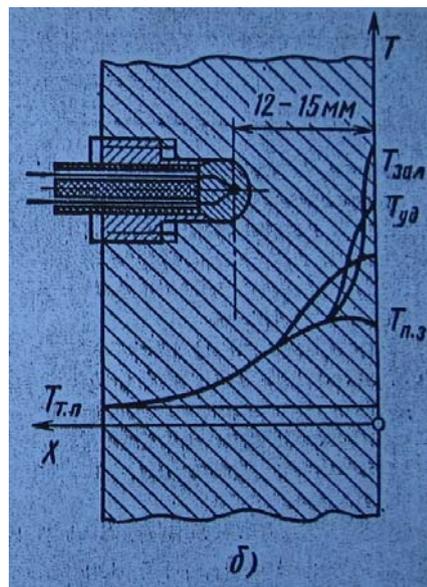
Детали, работающие в условиях износа (выталкиватели, замки ползунов, направляющие втулки и колонки и т. д.) изготавливают из стали У8А и У10А с твердостью  $HRC\ 48...52$  [17].

### 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 -  $T_{т.п}$ ;

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 термопар, 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 – термопары; систему термостатирования отдельных частей или пресс-формы в целом; систему регулирования подачи теплоносителя в пресс-форму.

Наиболее распространены термопары, 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 пресс-форм. В условиях крупносерийного и массового производства применяют универсальные формы-пакеты (УФП), представляющие собой готовый пакет, состоящий из подвижной и неподвижной частей пресс-формы, в которых максимально использованы стандартные узлы и детали. В зависимости от номенклатуры отливок предприятия изготавливают УФП по некоторому нормальному ряду размеров. Перед проектированием пресс-формы выбирают необходимый для получения данной отливки типоразмер УФП, а затем вычерчивают оформляющие вставки или вкладыши, механизмы приводов и указывают, какой номер УФП из нормального ряда необходимо использовать для изготовления пресс-формы. 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 (тройники, 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.

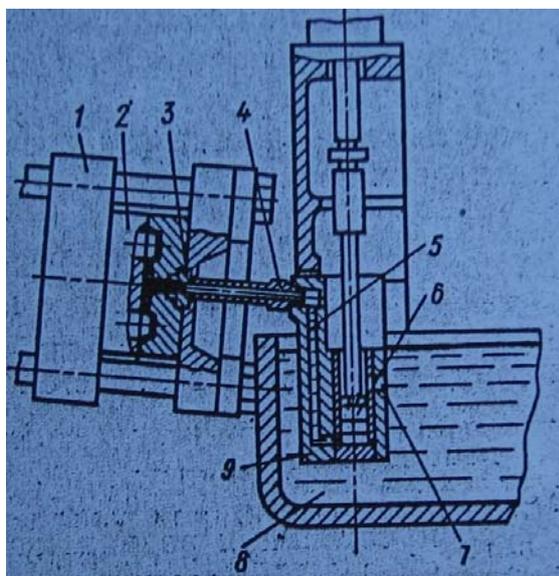
### 3.4. МАШИНЫ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ.

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 горизонтальной 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 горячекамерные поршневые машины в настоящее время используют в основном для литья легкоплавких свинцово-сурьмяных, оловянных, цинковых сплавов, а также магниевых сплавов, которые в расплавленном состоянии малоагрессивны по отношению к железу.

Проблема изготовления отливок из алюминиевых сплавов решается путем использования для деталей горячей камеры (корпуса 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

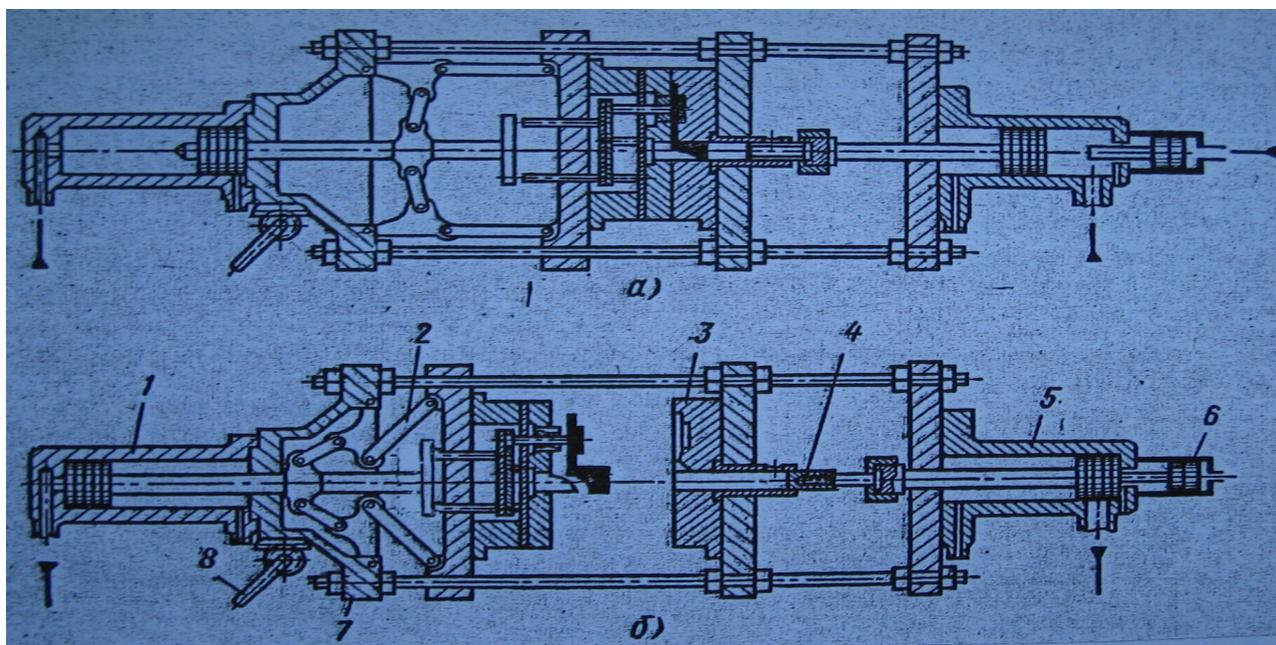
нагревается электронагревателями или газовыми горелками. Давление на расплав, развиваемое прессующим механизмом машины, обычно находится в пределах 10...50 МПа, что зависит от требований, предъявляемых к отливкам и состава сплавов, из которых они изготовлены. Для отливок с повышенными требованиями по 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 запираения 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 запираения; 3 – прессформа; 4 – пресс-поршень; 5 – основной гидроцилиндр и 6 – мультипликатор механизма прессования; 7 – плита крепления механизма запираения; 8 – механизм настройки усилия запираения.

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 машины, 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 передаваться 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.**

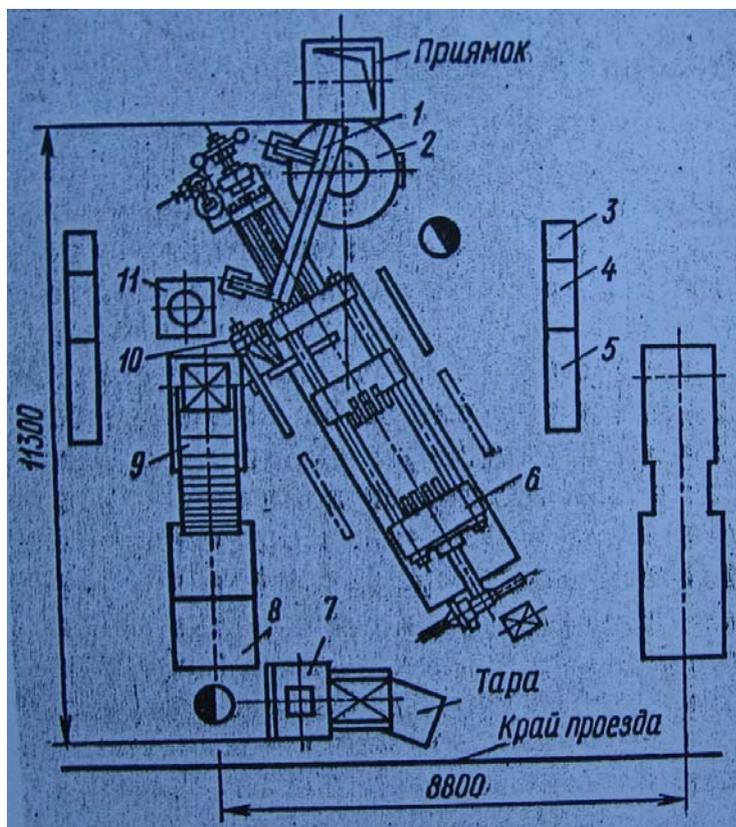
*Основное направление автоматизации литья под давлением – создание гибких, автоматически действующих систем машин - литейных комплексов, позволяющих эффективно использовать такую технологию для получения отливок не только в условиях массового, но и серийного производства.*

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 кон-

тролирует 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 околوماшинных 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 –

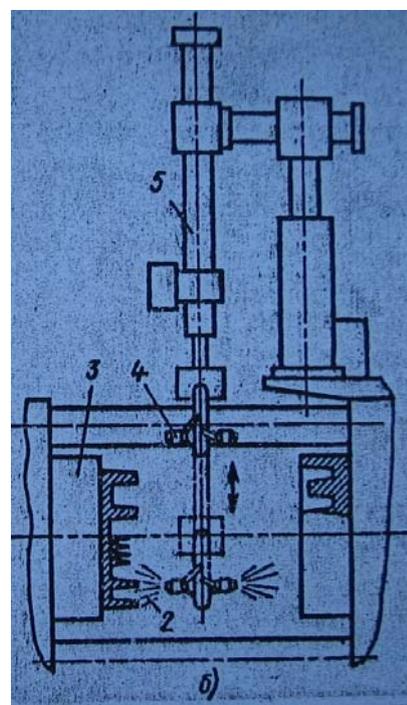
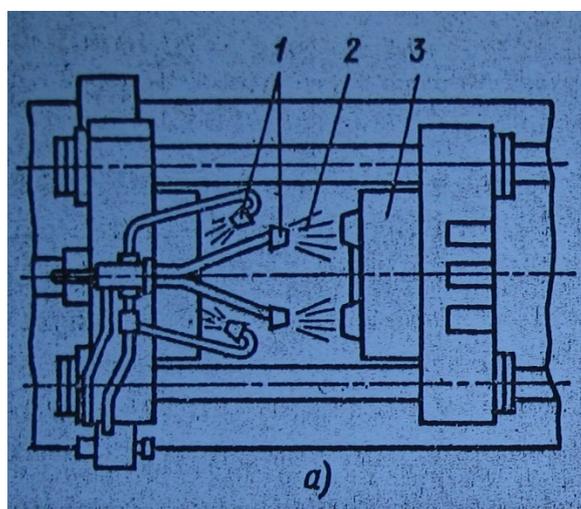
система контроля и регулирования температуры пресс-формы; 5 – система управления механизмами комплекса; 6 – литейная машина; 7 – обрубной пресс; 8 – приемный стол; 9 – конвейер; 10 – манипулятор; 11 – устройство для смазывания пресс-форм.

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 охлаждаю-

шей 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 полной извлечением 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 устройства; скорость и давление прессования; скорость нарастания давления при подпрессовке; продолжительность выдержки отливки в пресс-форме; усилие съема отливки или извлечения из нее стержней; темп работы, зависящий от длительности основных и вспомогательных операций.

Температуру заливаемого сплава контролируют термометрами в тигле автоматического дозирующего устройства или раздаточной печи.

Доза заливаемого сплава определяется точностью автоматического дозатора и контролируется, чаще всего, по высоте 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 термодпары, используемые для периодического контроля температуры. Они просты, но точность их показаний невелика и зависит от навыка оператора. Стационарные преобразователи - это термодпары, 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.

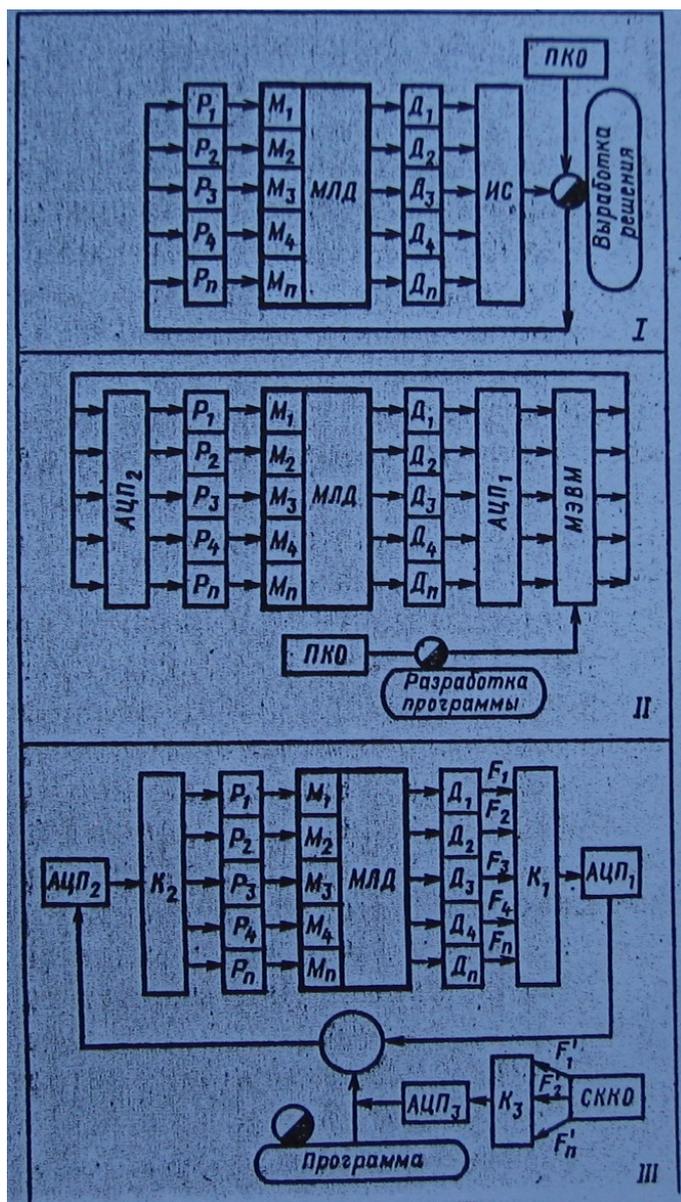
Первичные преобразователи и приборы для контроля параметров технологического процесса объединяют в измерительную систему, которой оснащают машины для литья под давлением. Комплект преобразователей, приборов, средств коммутации объединяют в стенды контроля технологических параметров литья под давлением.

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 аналогоцифровой 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

помощью 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 запираания 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.

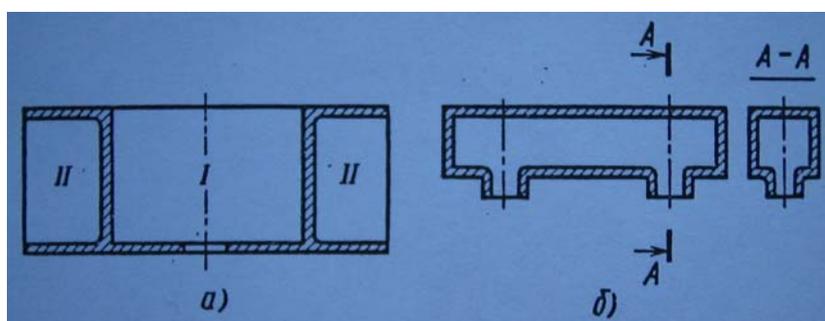
Проектирование технологического процесса осуществляется в несколько этапов и, как правило, на каждом из них возможные решения согласуются с конструктором изделия или заказчиком отливки, например, ее окончательная геометрия, объем последующей механической обработки (получаем отверстия литьем или механической 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.



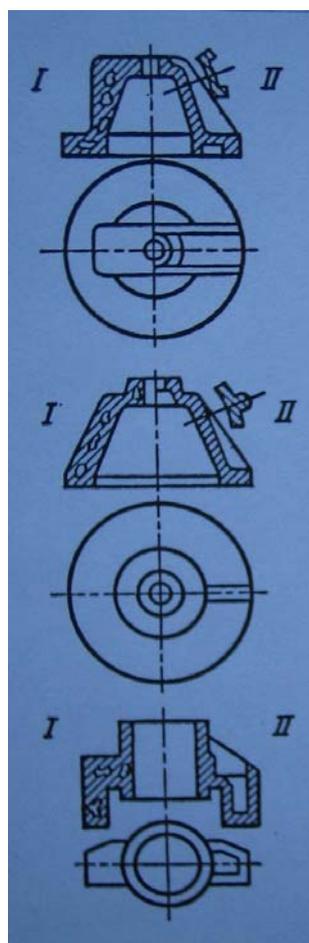
**Рис. 3.21.** Полости в отливках, полученных литьем под давлением: а – конструкция отливки, позволяющая использовать постоянные стержни; б –

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 магниевого сплава 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 запирающим 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.

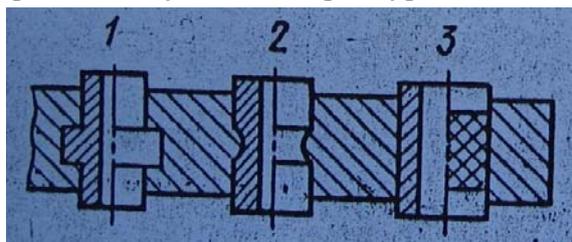
### Армирование отливок.

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 арматура выполняет роль холодильника.

Соединение арматуры с основным телом отливки может происходить в результате действия сжимающих напряжений, а также диффузионных процессов по границе основной материал-арматура. Для надежного соединения арматуры с материалом отливки, зону контакта подвергают специальной механической обработке (рис. 3.23) или создают необходимые условия для диффузионных процессов путем гальванического покрытия арматуры.

Как правило, арматуру устанавливают в пресс-форму вручную. Для повышения производительности, в многогнездные пресс-формы ее устанавливают с помощью предварительно снаряжаемых кассет. Обычно для нормальной работы их требуется несколько. Например, одна кассета может находиться в пресс-форме, несколько 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...1,5, определяют необходимое усилие  $P_{зан}$  запираания, которое должна обеспечивать литейная машина  $P_{зан0@3.2i 3.7-R 0$

При этом, с увеличением коэффициент запаса сокращается объем финишных операций, снижаются затраты на обслуживание и ремонт машин.

*Значение коэффициента запаса принимается тем большим, чем больше ожидаемая величина гидроудара в конце запрессовки расплава и остановки пресс-поршня. Гидроудар тем больше, чем выше скорость пресс-поршня и хуже динамические характеристики литейной машины.*

Выбрав по усилию запираения модель литейной машины, из ее паспортных характеристик 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 запираения), 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...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 запираии 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.

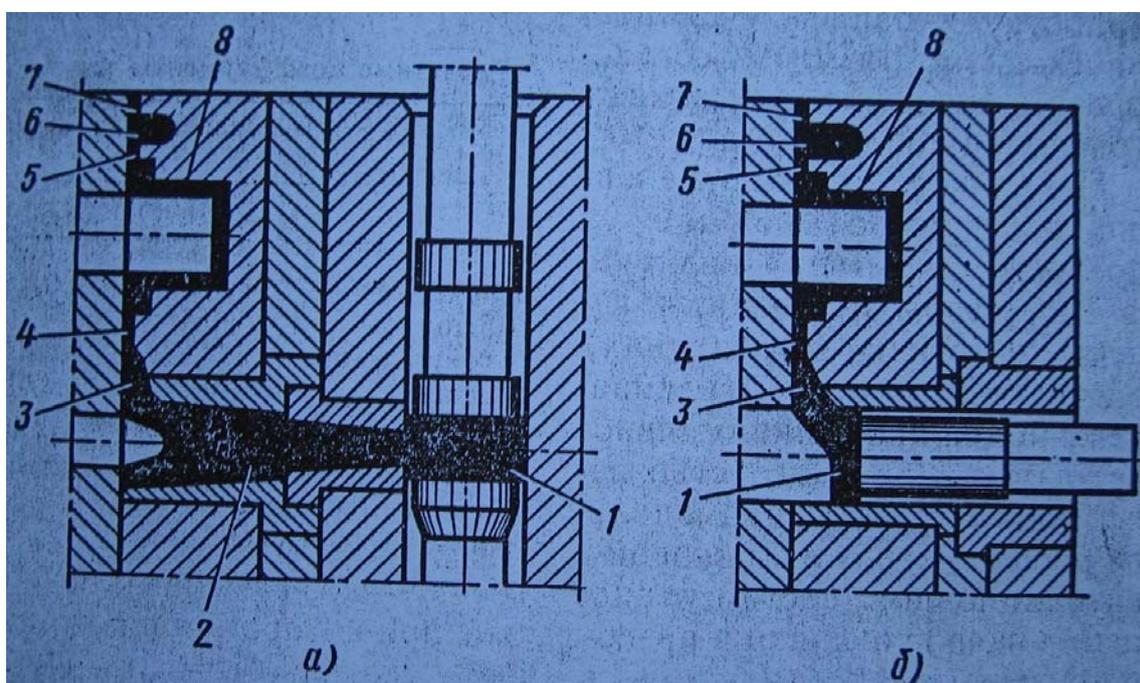
Размеры отливки, имеющие наиболее жесткие допуски, должны оформляться наименьшим числом элементов литейной формы и, по возможности, не пересекаться плоскостью ее разъема.

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 запирания). 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 – подводный 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.

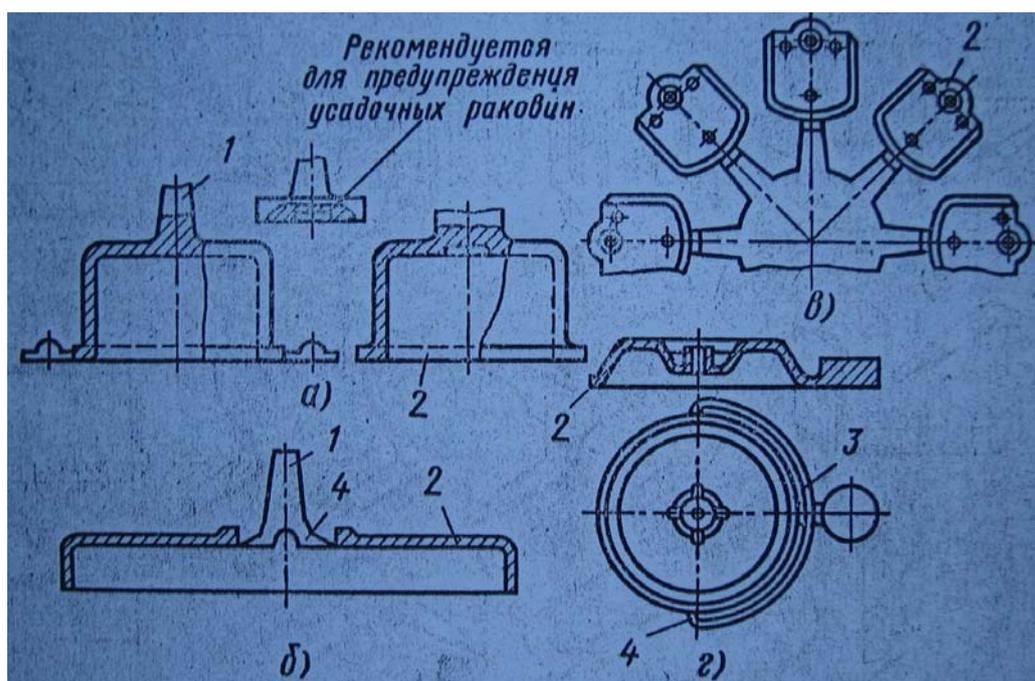
Конструкция литниковой системы зависит от типа машины, на которой изготавливается отливка. При литье на машинах с вертикальной камерой прессования (рис. 3.24, а) литниковая система состоит из литникового хода 2, соединяющего камеру прессования с полостью формы, подводного канала 3, питателя 4. При литье на машинах с горизонтальной камерой прессования (рис. 3.24, б) - из подводного 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

обеспечивается при высоте пресс-остатка  $0,5 \dots 0,7$  от диаметра  $D_{кл}$  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, загрязненного 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 задиrow на отливке, способствует повышению долговечности пресс-формы;

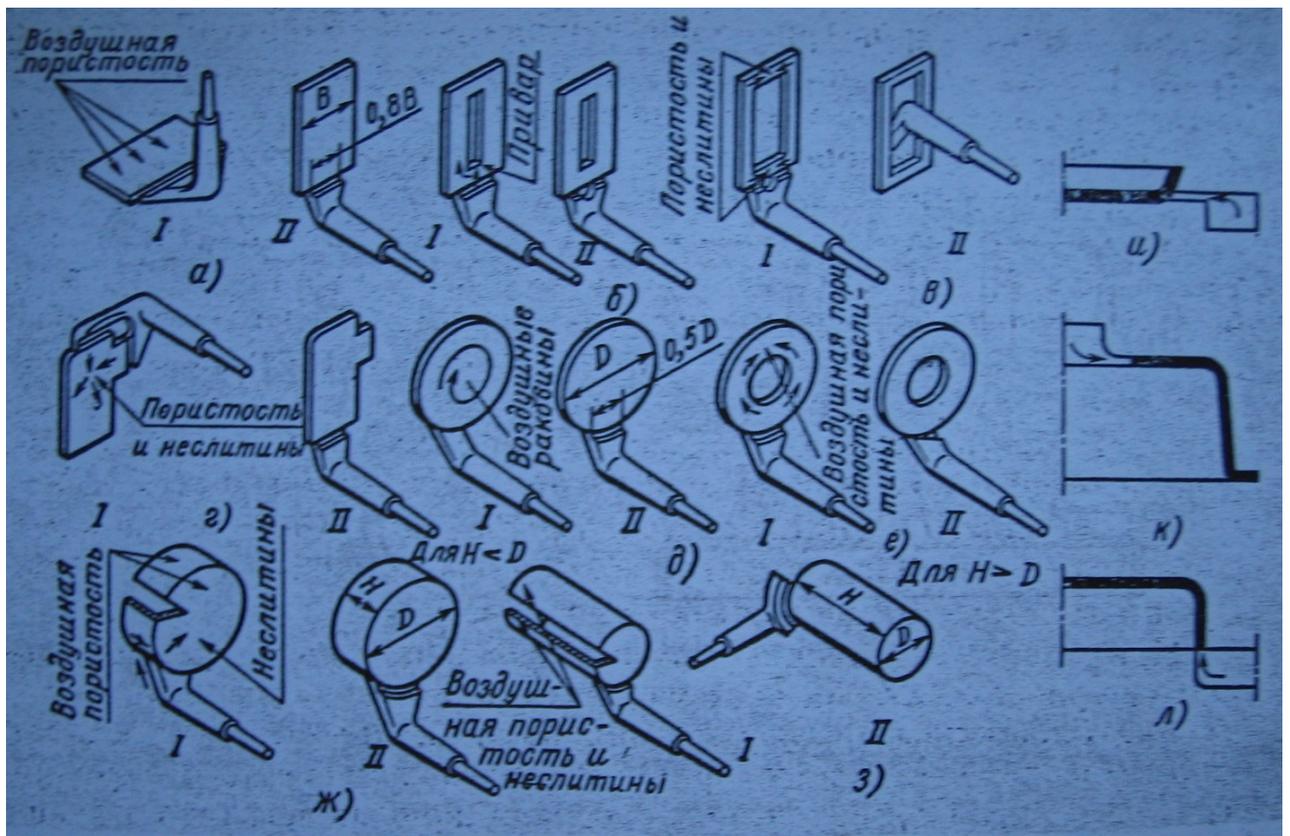
- избегать встречи потоков расплава в форме;

- 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.

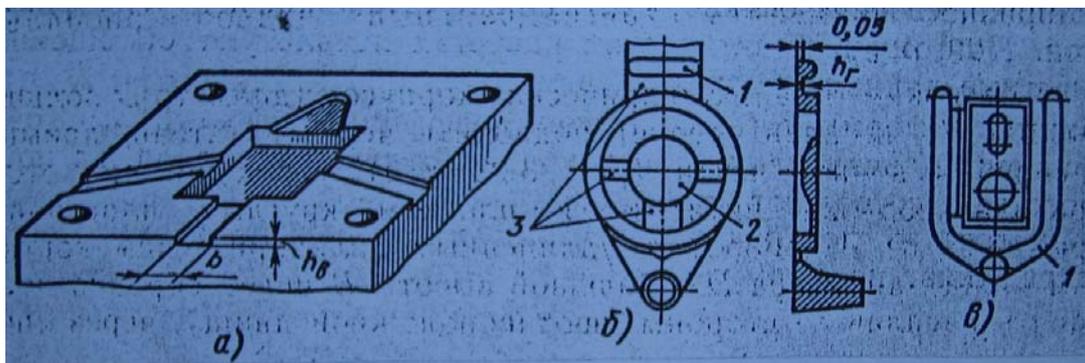
При заполнении формы сплошными потоками вентиляционные каналы устанавливаются в местах, наиболее удаленных от питателя, или местах соединения потоков расплава.

При заполнении дисперсным потоком вентиляционные каналы следует располагать на всех участках рабочей полости пресс-формы.

Вентиляционные каналы чаще выполняют в плоскости разъема 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 впуска  $u_0$  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 впуска по формуле (3.5), из уравнения неразрывности находим скорость перемещения прессующего поршня (скорость прессования):

$$u_{\text{пр}} = u_{\text{вп}} f_{\text{п}} / F_{\text{кп}}, \quad (3.9)$$

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.