

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Машины и технология литейного производства»

В.А. Скворцов
Ю.А. Николайчик

КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ДЕТАЛЕЙ ПРЕСС-ФОРМ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Учебно-методическое пособие
для студентов специальности 1 36-01-02
«Машины и технология литейного производства»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением по образованию
в области металлургического оборудования и технологий*

Минск
БНТУ
2019

УДК 621.746.073+621.043.2(075)

ББК 34.61я7

С42

Р е ц е н з е н т ы:

кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Детали машин»
Белорусского государственного технологического
университета *С. Е. Бельский*;

кандидат технических наук, декан механико-технологического
факультета Гомельского государственного технического
университета имени П. О. Сухого *И. Б. Одарченко*

Скворцов, В. А.

С42 Конструирование и расчет деталей пресс-форм литья под давлением : учебно-методическое пособие для студентов специальности 1 36-01-02 «Машины и технология литейного производства» / В.А. Скворцов, Ю.А. Николайчик. – Минск: БНТУ, 2019. – 50 с.
ISBN 978-985-550-994-4.

Пособие разработано в соответствии с типовой программой по курсу «Проектирование оснастки». Содержит подробное описание конструкций пресс-форм литья под давлением, правила проектирования и расчета деталей и литниковой системы, входящих в конструкцию пресс-формы.

Предназначено для студентов дневной и заочной форм обучения специальности 1-36 02 01 «Машины и технология литейного производства».

УДК 621.746.073+621.043.2(075)

ББК 34.61я7

ISBN 978-985-550-994-4

© Скворцов В.А., Николайчик Ю.А., 2019

© Белорусский национальный
технический университет, 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	4
1. Классификация деталей и механизмов пресс-форм	5
1.1. Формообразующие детали.....	6
1.2. Конструктивные детали	18
2. Расчет основных параметров формы	25
2.1. Расчет пресс-формы на раскрытие	25
2.2. Расчет усилий удаления подвижных стержней и выталкивания отливок	27
2.3. Расчет основных элементов пресс-формы на прочность.....	29
2.3.1. Расчет подкладной плиты подвижной матрицы.....	29
2.3.2. Расчет упоров (брусов)	31
2.3.3. Расчет матриц на прочность	31
2.3.4. Расчет на изгиб клин-пальца стержнеизвлекающего механизма	32
3. Расчет размеров оформляющей части пресс-формы	34
3.1. Построение структурной схемы для гнезда формы	34
3.2. Структурная схема для охватывающего размера стержня ...	36
4. Литниково-вентиляционные системы	38
4.1. Основные принципы конструирования литниково-вентиляционных систем для литья под давлением	38
4.2. Расчет литниково-вентиляционных систем	46
Список рекомендуемых источников	50

ПРЕДИСЛОВИЕ

Одним из основных разделов курса «Проектирование оснастки» является раздел «Проектирование и расчет пресс-форм литья под давлением».

Цель изучения данного раздела дисциплины – получить теоретические и практические знания по конструированию пресс-форм литья под давлением.

Литьем под давлением получают сложные тонкостенные отливки, масса и теплосодержание которых даже при больших габаритных размерах в сотни раз меньше, чем масса и теплосодержание металлической формы. Высокая скорость теплоотдачи от отливки к форме обуславливает необходимость ее быстрого заполнения. Высокие скорости впускного потока способствуют качественному оформлению поверхности отливки сложной конфигурации.

В учебно-методическом пособии подробно представлены конструкции деталей и механизмов, входящих в состав пресс-формы литья под давлением. Описаны приемы проектирования и расчета отдельных деталей и механизмов пресс-форм в целом, даны приемы расчета оформляющих размеров металлической формы, а также расчеты литниковых систем, вентиляционных каналов и выпоров.

вкладыши (подвижные 16 и неподвижные 1), вставки 2, литниковая втулка 4 и рассекатель 5, стержни (неподвижные 3, 15 и подвижные), выталкиватели 6 и др.

Конструктивные детали несут на себе формообразующие детали, осуществляют раскрытие и закрытие формы, обеспечивают точное взаимное расположение и направление всех ее рабочих деталей, крепление формы к машине. К конструктивным деталям относятся (рис. 1.1) плиты матриц (подвижные 19 и неподвижные 23), подкладные плиты (17), плиты выталкивателей (11), плиты оснований (7, 24), брусы (13), направляющие колонки (9, 12) и втулки, упоры, фиксаторы, центрирующие штифты, втулки и штыри (18, 20), а также крепежные детали (8, 14, 21, 22, 23). Конструктивные детали должны быть прочными, не деформироваться при передаче им усилия рабочими органами машины, обеспечивать в процессе эксплуатации формы точное расположение разъемных и движущихся частей, а также возможность удобного закрепления формы на столах машины.

Детали механизмов формы в соответствии с назначением и характером работы пресс-форм подразделяются на механизмы выталкивания отливок, стержнеизвлекающие механизмы, запирающие механизмы, которые могут иметь отдельный привод или кинематически связаны с движением подвижной части пресс-формы. Механизмы пресс-форм должны обеспечивать нормальную работу всех движущихся частей в условиях повышенных температур без перекосов и заклиниваний.

1.1. Формообразующие детали

Вкладыши – основные детали формы, которые оформляют наружную поверхность отливки. От правильного выбора их конструкции и расположения в них оформляющей полости зависят конструкция, габаритные размеры формы и качество отливок.

Вдоль лицевой плоскости вкладышей проходит плоскость разъема отливки. Конфигурация отливки и выбранная конструкция формы определяют конструкцию и конфигурацию вкладышей.

Чаще всего наружная поверхность вкладышей имеет цилиндрическую или прямоугольную форму. Габаритные размеры вкладышей устанавливают исходя из условия, что расстояние от формообразующей плоскости до края вкладыша будет составлять не менее 15–20 мм (рис. 1.2). Высоту буртика выбирают в зависимости от

усилий, возникающих при удалении отливки из формы, и принимают в пределах 6–12 мм, а расстояние от наружной части вкладыша до края буртика должно быть не менее 5 мм.

При изготовлении отливок небольшой высоты применяют врезные вкладыши (рис 1.2, б), которые крепятся в матрице болтами. Размеры врезного вкладыша выбираются аналогично как для сквозного, то есть расстояние от края оформляющей поверхности до края вкладыша берется равным 15–20 мм. По наружному краю врезного вкладыша делается посадочная поверхность, минимальная ширина которой составляет 10 мм.

Посадка осуществляется по третьему классу точности (H_3/h_3). Остальная часть наружной поверхности изготавливается с зазором 0,5 мм.

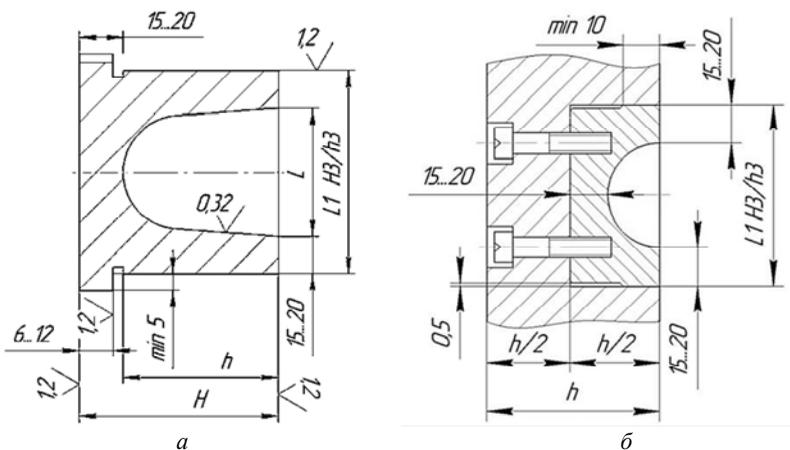


Рис. 1.2. Конструкция и крепление сквозного вкладыша (а) и врезного (б)

Толщина плиты матрицы для врезного вкладыша должна быть в два раза больше высоты вкладыша, а для сквозного – равной высоте вкладыша.

Плиты матриц большой толщины, используемые при изготовлении форм с глубокими оформляющими полостями, делают наборными из нескольких плит. В таких случаях применяют конструкцию вкладыша с буртиком, расположенным в его средней части (рис. 1.3). Такая конструкция вкладыша не требует применения подкладной плиты.

Круглые вкладыши необходимо фиксировать в форме для предотвращения их поворота. Обычно вкладыши штифтуют (рис. 1.1), фиксируют с помощью шпонки или фрезеруют грани буртика (рис. 1.3).

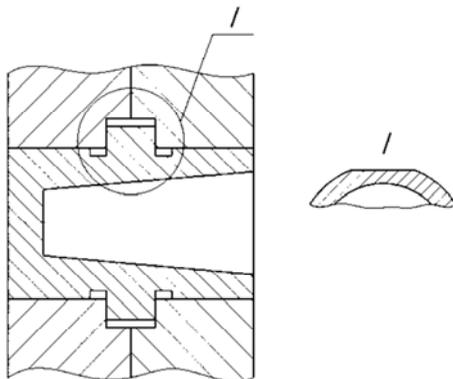


Рис. 1.3. Конструкция и крепление вкладыша с глубокой оформляющей полостью

Литниковые втулки соединяют полости формы с камерой прессования. У форм, предназначенных для машин с горизонтальной камерой прессования, внутренний диаметр литниковой втулки $d_{л.в.}$ равен диаметру камеры прессования $d_{к.п.}$ машины, так как в нее входит пресующий поршень (рис. 1.4). Через литниковую втулку под давлением протекает расплавленный металл, предназначенный для всей формы, поэтому она подвержена гидравлическим ударам струи расплавленного металла и больше всех других деталей формы разогревается.

Литниковые втулки устанавливают в неподвижную матрицу (2) и плиту основания (8).

Толщина стенок втулок должна быть в пределах 10–15 мм в самом тонком сечении (не считая буртика).

Наружный диаметр буртика ($D_{л.в.}$) принимают на 15–20 мм больше, чем наружный диаметр камеры прессования ($d_{к.п.}$), а его толщину – min 20 мм.

Длина литниковой втулки обычно берется равной сумме толщины неподвижной матрицы (2) и неподвижной плиты основания (8). Часть внутреннего диаметра втулки формы, расположенного со стороны плоскости разъема имеет конусное расширение (1° – 2°) шириной до 25 мм.

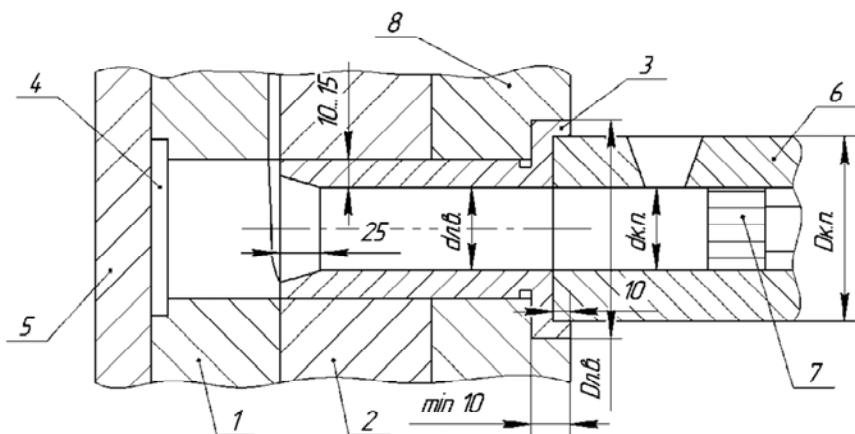


Рис. 1.4. Пример установки литниковой втулки в пресс-форме для машины с горизонтальной камерой прессования

У литниковых втулок пресс-форм, устанавливаемых на машины с вертикальной камерой прессования (рис. 1.5), диаметр отверстия канала литниковой втулки пресс-формы (5) делают на 0,5–1,0 мм (на сторону) больше диаметра выходного отверстия литниковой втулки машины (6). Делается это для того, чтобы при недостаточно точной установке и несовпадении осей литниковых втулок формы и машины или при износе втулки машины ходовой литник всегда свободно проходил через канал втулки формы.

Для облегчения удаления литника из литниковой втулки в ней предусматривают конус $1,5^{\circ}$ – 3° на сторону, направленный большим основанием к плоскости разреза.

Для форм на машины с вертикальной камерой прессования существуют конструкции, связывающие литниковую втулку машины непосредственно с литниковой втулкой формы (рис. 1.5) или же с подкладной плитой, как показано на рис. 1.6.

Рассекатели не менее нагруженные детали формы, чем литниковые втулки. Их основное назначение – направлять поток жидкого сплава, поступающего через литниковые втулки в форму. Рассекатель, испытывая на себе термический и гидравлический удар, а также абразивное воздействие расплавленного металла, быстро изнашивается. Его изготавливают в виде отдельной легкосменной вставки.

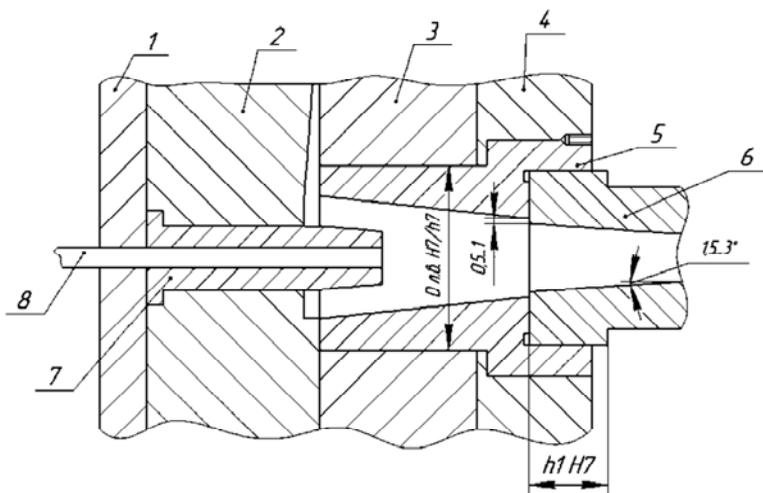


Рис. 1.5. Пример соединения литниковых втулок формы и машины с вертикальной камерой прессования:

- 1 – подкладная плита; 2 – подвижная матрица; 3 – неподвижная матрица;
 4 – неподвижная плита основания; 5 – литниковая втулка формы;
 6 – литниковая втулка машины; 7 – рассекатель; 8 – выталкиватель

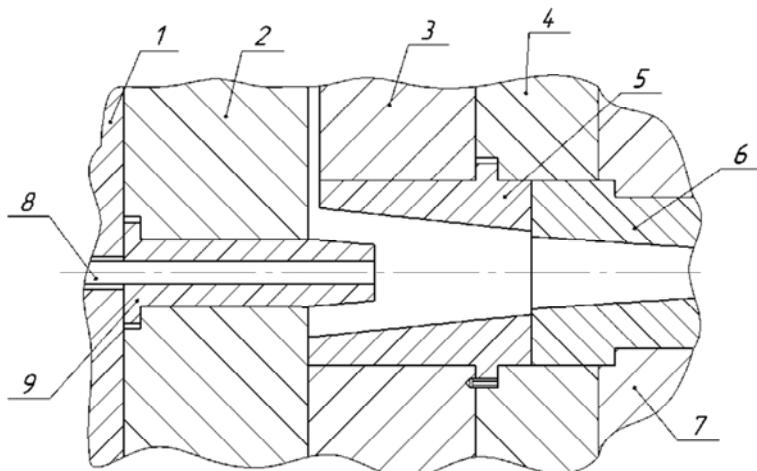


Рис. 1.6. Пример соединения литниковых втулок с помощью подкладной плиты:

- 1 – подкладная плита; 2 – подвижная матрица; 3 – неподвижная матрица;
 4 – неподвижная плита основания; 5 – литниковая втулка формы;
 6 – литниковая втулка машины; 7 – неподвижный стол машины

Наиболее широко применяемый тип рассекателя для пресс-форм используемых на машинах с горизонтальной камерой прессования показан на рис. 1.4. поз. 4. Устанавливают его в подвижной матрице напротив литниковой втулки и крепят с помощью буртика высотой 5–8 мм и подкладной плиты поз. 5 (рис. 1.4). Посадочные размеры выполняют по третьему классу точности (H_3/h_3). На поверхности, расположенной в плоскости разъема формы, делаются специальные пазы, направляющие струю расплавленного металла в литниковую систему формы, что позволяет уменьшить расход металла и улучшить условия заливки.

Рассекатели, используемые в формах для машин с вертикальной камерой прессования, имеют специальный выступ (рис. 1.7, а, б, в, г, д), необходимый для извлечения литника из литниковых втулок формы и машины. Выступающая часть может быть цилиндрической (рис. 1.7, а, в, г, д) или цилиндрической с канавкой (рис. 1.7, б).

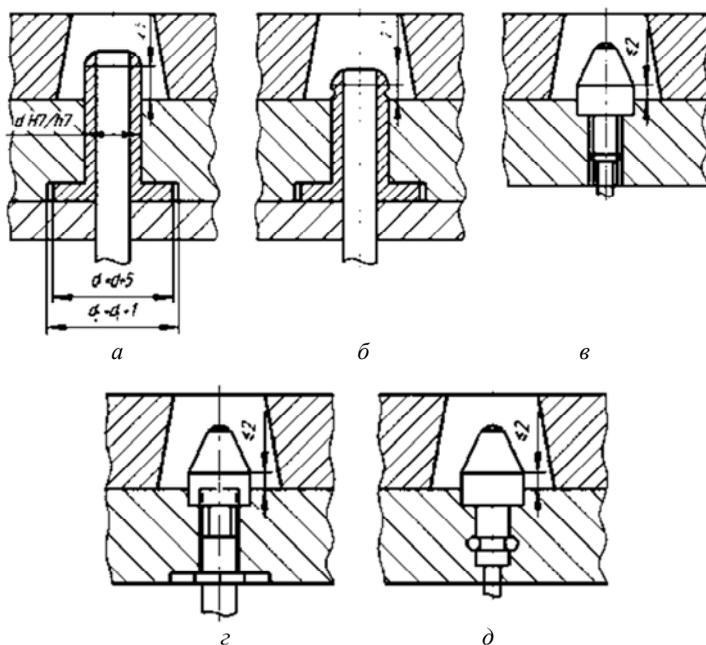


Рис. 1.7. Примеры конструкций рассекателей для пресс-форм машин с вертикальной камерой прессования

Крепление рассекателя в матрице может осуществляться с помощью буртика и подкладной плиты (рис. 1.7, а, б), с помощью резьбового хвостовика (рис. 1.7, в), крепежной детали (рис. 1.7, г) или цилиндрическими штифтами (рис. 1.7, д).

Для снятия литника с рассекателя в нем устанавливается выталкиватель, связанный с общей системой выталкивания (рис. 1.7, а, б). Установка в рассекатель выталкивателя позволяет установить его в месте, не оформляющем отливку и избежать лишних следов от выталкивателя на поверхности отливки.

При внутренней литниковой системе рассекатель одновременно является стержнем, оформляющим отверстие или другие внутренние контуры отливки (рис. 1.8). Практика показала, что такие отверстия можно получать, если диаметр их более 6 мм. При меньшем диаметре стержень не выдерживает давления жидкого сплава и отклоняется в сторону.

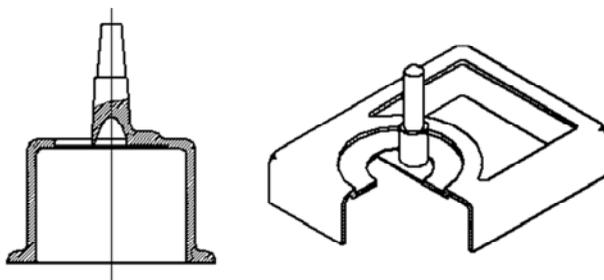


Рис. 1.8. Пример внутренней литниковой системы

Стержни. Все внутренние контуры отливки (полости отверстия, поднутрения), которые не получаются вкладывшем матрицы, оформляются стержнями. При проектировании пресс-формы необходимо располагать большую часть стержней в подвижной половине формы, чтобы отливка осталась в ней. Стержни, устанавливаемые перпендикулярно плоскости разъема формы и не препятствующие удалению отливки из полости, за исключением некоторых случаев, устанавливаются в форме неподвижно.

Для облегчения удаления отливки на формообразующих поверхностях стержней делают конус, величина которого зависит от сплава отливки (табл. 1.1) и расположения стержня в форме.

Величина литейных уклонов стержней

Сплавы отливки	Цинковые	Алюминиевые	Магниевые	Медные
Минимальный уклон	20'	40'	20'	1°

Стержни, расположенные в неподвижной части формы, должны иметь уклон формообразующей части на 3'– 5' больше чем в подвижной части формы.

Наиболее распространенной является конструкция неподвижных стержней с буртиком, опирающимся в форме на подкладную плиту 1 (рис. 1.9, а). При отсутствии подкладной плиты стержень 3 крепят гайкой 5 (рис. 1.9, б) с внутренним шестигранником.

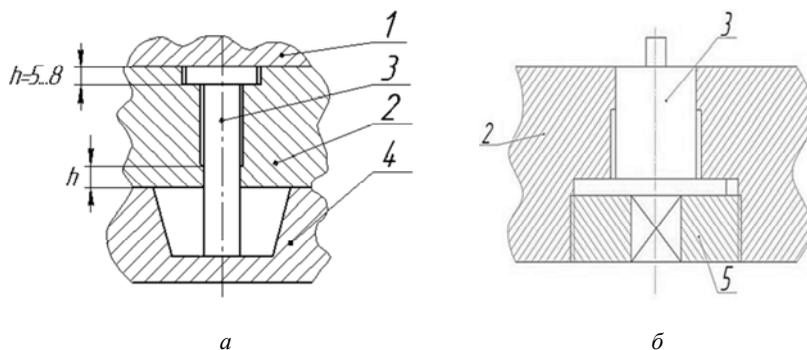


Рис. 1.9. Вариант конструкции неподвижных стержней:
1 – подкладная плита; 2 – подвижная матрица; 3 – стержень;
4 – неподвижная матрица; 5 – гайка

Для крепления группы стержней применяют планку, которая крепится к матрице винтами 5 (рис. 1.10, а).

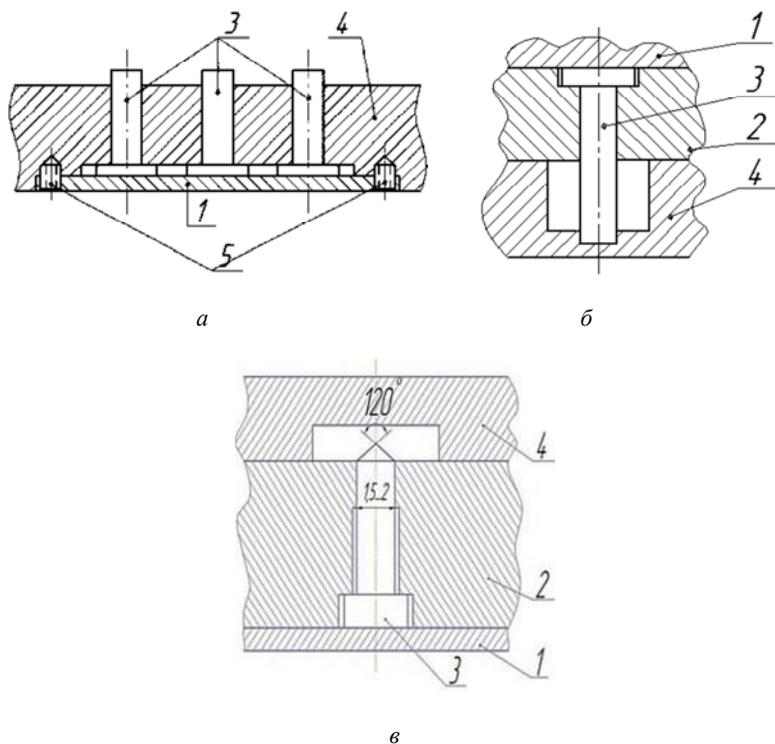


Рис. 1.10. Варианты крепления стержней в матрице:
 1 – подкладная плита; 2 – подвижная матрица; 3 – стержень;
 4 – неподвижная матрица; 5 – винт

Для повышения устойчивости стержней малого размера и большей высоты применяют установку стержней в замок (рис. 1.10, б). Установку стержней в замок следует рекомендовать во всех случаях применения стержней малых диаметров и при их высоте превышающих диаметр. Данный метод установки значительно повышает точность расположения получаемых отверстий. В случае невозможности или нецелесообразности получения мелких отверстий в отливках вместо них выполняют литые керны, по которым затем сверлят отверстия обычным способом. Конструкция стержней – керн показана на рис. 1.10, в. В соответствии с углом заточки сверла и для лучшего его направления угол, оформляющий керн, делается равным 120° , а диаметр керна обычно берут 1,5–2 мм.

Установку мелких стержней осуществляют, как правило, непосредственно во вкладыш. Крупные стержни устанавливают в плиту стержней, которая располагается на подвижной плите основания.

Все полости и отверстия в отливке, расположенные не перпендикулярно плоскости разъема, оформляются подвижными стержнями. Отличительная особенность конструкции подвижных стержней – в наличии у них увеличительной направляющей части. Требования к рабочей части этих стержней аналогично требованиям к неподвижным стержням: необходимы уклоны, высокая чистота формообразующей поверхности и замки для стержней большой длины или малых размеров.

В зависимости от расположения стержней в форме, направления их движения, конфигурации оформляющей части и направляющего устройства, способа применения и привода существуют различные конструкции подвижных стержней.

Привод подвижных стержней может осуществляться кинематически, то есть связан с поступательным движением пресс-формы при ее раскрытии, отдельными приводами или вручную. Наиболее надежно работают подвижные стержни, направляющая часть которых расположена в подвижной матрице полностью охватывающей стержень и обеспечивающей движение стержня без перекосов. Кинематическая связь между стержнем и движением подвижной части формы осуществляется клин-пальцем, который крепится в неподвижной части формы (рис. 1.11).

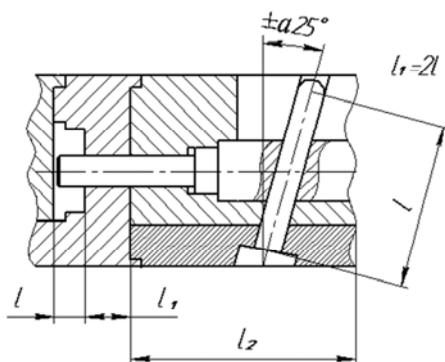


Рис. 1.11. Пример конструкции стержнеизвлекающего механизма с длиной оформляющей части до 90 мм

Угол наклона клин-пальца (α) не должен превышать 25° . Длина рабочей части пальца (L) зависит от минимального хода ползуна (S) и определяется из выражения

$$L = \frac{S}{\sin \alpha} = \frac{l + (3 - 5)}{\sin \alpha}, \quad (1.1)$$

где l – длина оформляющей части стержня;

S – минимальный ход ползуна, который берется на 3–5 мм больше оформляющей части стержня.

Длина направляющей части подвижного стержня (l_1) должна быть больше оформляющей части на 6–10 мм. Длина тела ползуна (l_2) зависит от максимального хода ползуна (S) и диаметра клин-пальца (D)

$$l_2 = S + (2 - 3)D. \quad (1.2)$$

Данный механизм с цилиндрическим клин-пальцем позволяет извлекать стержень на длину хода до 90 мм. Если длина оформляющей части стержня больше 90 мм применяют клин-палец прямоугольного сечения с переменным углом наклона. В начальной части наклон пальца делают равным $\leq 15^\circ$, так как в начале процесса извлечения стержня требуется приложить максимальное усилие, а далее уклон увеличивается, но не более 25° . При изменяющемся наклоне пальца, конструкция ползуна (рис. 1.12) отличается от показанного на рис. 1.11 тем, что движение ползуна по поверхности пальца осуществляется с помощью ролика, который позволяет перемещать ползун по изменяющейся траектории.

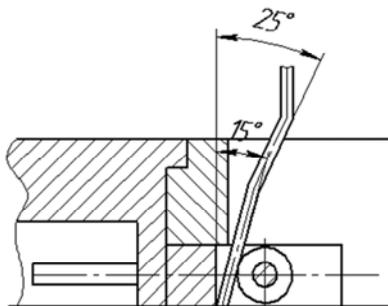


Рис. 1.12. Конструкция стержнеизвлекающего механизма с длиной оформляющей части более 90 мм

Выталкиватели и контртолкатели. Для удаления отливки из формы служит механизм выталкивания, который оснащен выталкивателями и контртолкателями. Существует несколько способов выталкивания отливки из формы, основными из которых являются выталкивание штифтовыми, трубчатыми и сегментными выталкивателями, получающими возвратно-поступательное движение относительно оформляющей части формы от различных приводов.

Штифтовые выталкиватели наиболее часто применяются для удаления отливки из подвижной части формы. Они имеют различное сечение, чаще всего круглое, которое наиболее удобно и просто в изготовлении, или прямоугольное.

Основными частями выталкивателей являются: элемент крепления (3), тело выталкивателя (4) и направляющая часть (5) (рис. 1.13, а).

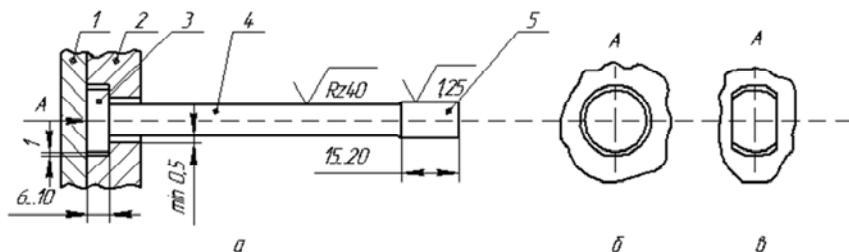


Рис. 1.13. Пример крепления штифтового выталкивателя

Для надежной работы выталкивающего устройства необходимо, чтобы выталкиватели имели достаточную длину направляющей части (5) (не менее 15–20 мм). В остальной части вкладышей и плит, вдоль которых проходят выталкиватели, отверстие увеличивают на 1 мм для образования зазора, уменьшающего трение и облегчающего процесс сборки отдельных узлов формы.

Выталкиватели крепят в плите выталкивателей 2 (рис. 1.13, а) с помощью буртика. Крепление бывает свободным или жестким. При свободном креплении (рис. 1.13, б) отверстия в плитах под посадку выталкивателя изготавливают больше диаметра выталкивателя на 1 мм. Такой метод крепления используется при расположении формообразующей поверхности выталкивателя строго перпендикулярно поверхности отливки. Если выталкиватель действует на часть поверхности отливки или расположен к формообразующей плоскости выталки-

вателя под углом, его фиксируют буртиком так, чтобы можно было установить выталкиватель только в одном положении (рис. 1.13, в).

Трубчатые и сегментные выталкиватели применяют при изготовлении отливок типа втулок или в местах, имеющих цилиндрические приливы в виде втулок. В таких местах, особенно при небольшой толщине стенки втулки (прилива), применять штифтовые выталкиватели практически невозможно. При сравнительно небольших диаметрах втулок (до 50–60 мм) применяют трубчатые выталкиватели (рис. 1.14, а, б). С увеличением диаметра и толщины стенки втулок можно использовать сегментные выталкиватели, которые действуют не на всю цилиндрическую поверхность отливки, а лишь на какую-то ее часть (рис. 1.14, в).

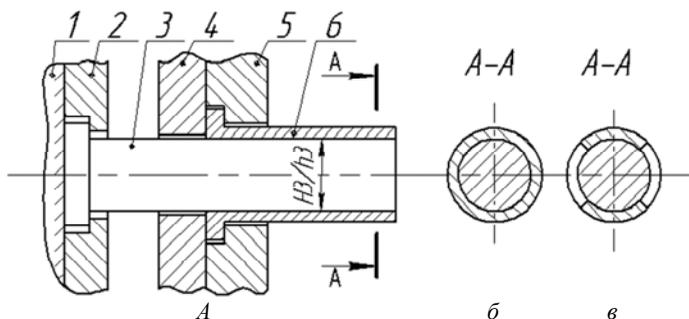


Рис. 1.14. Пример крепления трубчатого сегментного выталкивателя:

1 – подвижная плита основания; 2 – плита стержней; 3 – стержень;

4 – прижимная плита стержнеизвлекающего механизма;

5 – плита выталкивателей; б – выталкиватель

Характерной особенностью конструкции форм с трубчатыми и сегментными выталкивателями является наличие плиты стержней, в которой крепится стержень.

1.2. Конструктивные детали

Основными конструктивными деталями являются подвижная и неподвижная матрица. Вдоль этих деталей происходит разъем формы. Обычно эти плиты служат в качестве обойм, в которые вставляют формообразующие детали вкладыши, вставки, стержни, литниковые втулки, рассекатели и др.

В зависимости от конструкции формы, габаритных размеров и конфигурации вкладыша плиты матриц бывают прямоугольными, круглыми или фигурными. Отверстия под вкладыши (3) рис. 1.15 выполняются сквозными или врезными. Наиболее распространенный и надежный способ крепления сквозных вкладышей – с помощью буртика, а врезных – болтами, как показано на рис. 1.2. Толщина плиты берется равной высоте вкладыша, но не менее 40 мм, а для врезных вкладышей толщина плиты составляет две высоты вкладыша.

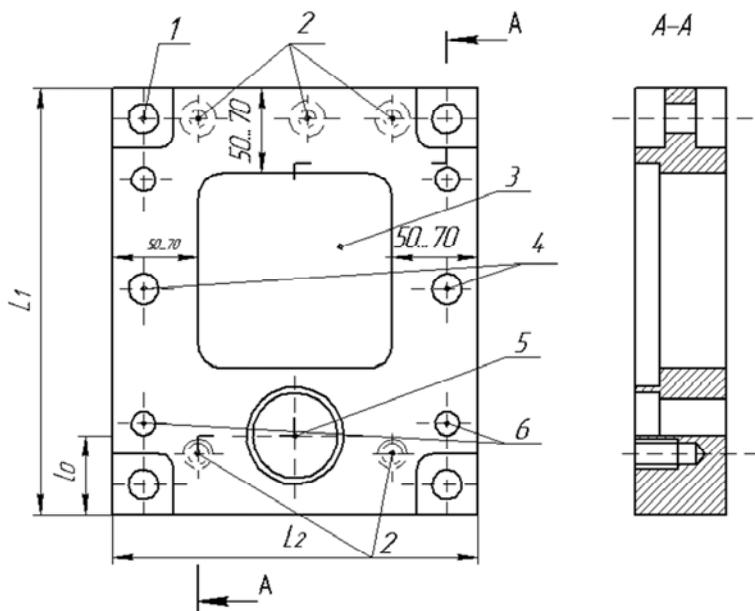


Рис. 1.15. Пример конструкции неподвижной матрицы

Кроме отверстий под вкладыши, имеется отверстие под литниковую втулку в неподвижной матрице, а в подвижной – отверстие (5) под рассекатель. По углам плиты предусматривают сквозные отверстия (1) под центрирующие штыри в подвижных плитах и под центрирующие втулки в неподвижных. Для крепления матриц к плитам основания предусматриваются резьбовые тупиковые отверстия (2). Все плиты, входящие в конструкцию пресс-форм, фиксируются друг с другом штифтами для более точной обработки и дальнейшей сборки. Штифты вставляются в отверстия (4), причем

в одной плите отверстия делают по посадке H_3 , а в другой – K_3 . В подвижной матрице предусматривается четыре сквозных отверстия (6) для прохождения контролокателей, предназначенных для возвращения механизма выталкивания в исходное положение.

Габаритные размеры плит зависят от конструкции матриц и литниковых систем. Для внутренних и симметричных литниковых систем расстояние от края вкладыша до края матрицы должно быть не менее 50–70 мм. При применении несимметричных литниковых систем относительно оси запирающего механизма и литниковой втулки размер плиты со стороны смещения (l_0) определяется из уравнения возникающих моментов сил, которое приведено в разд. 3.

Неподвижная матрица крепится к неподвижной плите основания с помощью болтов, проходящих через зенкованные отверстия (1) в плите основания (рис. 1.16). Плиты основания в местах крепления делаются шире матриц минимум на 50 мм на сторону. В этих местах предусматриваются прорезные отверстия (3) для прохождения крепежных деталей, соединяющих матрицы с неподвижным или подвижным столом машины литья под давлением. Расстояние между прорезными отверстиями (L_1) должно соответствовать расстоянию между пазами стола машины. В качестве крепежных деталей применяют болты с четырехгранной головкой, гайки и пружинные шайбы.

Неподвижная плита основания (рис. 1.1, поз. 24) (рис. 1.16, поз. 4) имеет отверстие для прохождения литниковой втулки. Крепление вкладышей, стержней, вставок в неподвижной матрице осуществляется неподвижной плитой основания, а в подвижной – подкладной плитой (17) (рис. 1.1), которая является опорой для подвижных вкладышей (16), стержней (15), рассекателя (5). Габаритные размеры подкладной плиты обычно соответствуют размерам матрицы. Толщину подкладной плиты для форм малых и средних размеров делают 30–50 мм, для крупногабаритных форм – не менее 60 мм. Через подкладную плиту проходят выталкиватели, контролокатели, стержни, расположенные в плите стержней и крепежные детали, соединяющие подвижную плиту основания с матрицей. Все эти отверстия делаются минимум на 1 мм больше, чем размеры проходящих деталей (выталкивателей, контролокателей, стержней, крепежа), что позволяет осуществлять самоцентрирование этих деталей относительно вкладышей и плит выталкивателей. Подкладная плита, как и все остальные плиты, центрируется с матрицей и брусом штифтами.

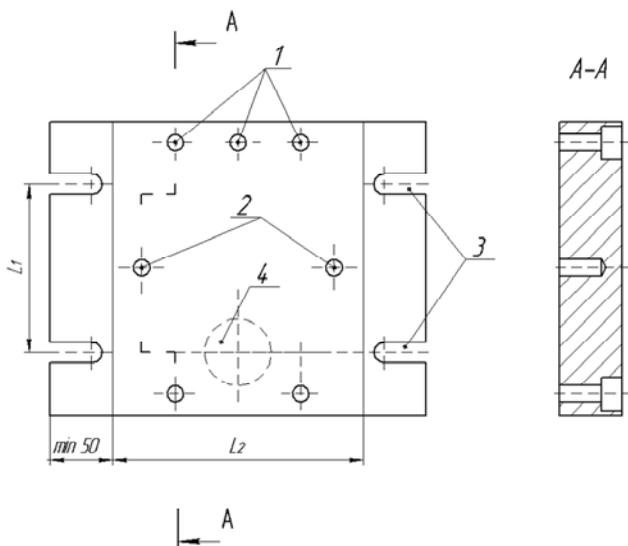


Рис. 1.16. Пример конструкции плиты основания

Направляющие штыри и втулки служат для обеспечения точного взаиморасположения подвижной и неподвижной частей формы при ее закрывании. Небольшие по размерам и малонагруженные формы изготавливают без направляющих втулок. Крепить штыри в матрице можно с помощью буртика (рис. 1.17, а) и подкладной плиты, а при ее отсутствии – запрессовкой штыря в матрицу (рис. 1.17, б) или резьбовым хвостовиком и гайкой (рис. 1.17, в).

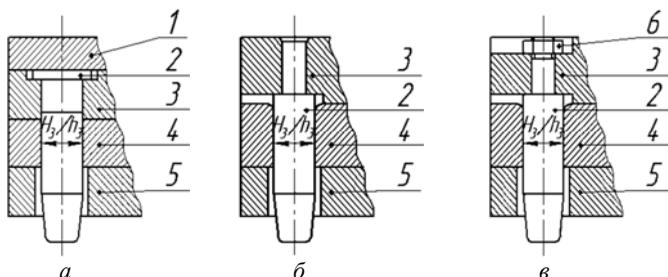


Рис. 1.17. Примеры установки и конструкции направляющих штырей: 1 – подкладная плит; 2 – направляющий штырь; 3 – подвижная матрица; 4 – матрица неподвижная; 5 – неподвижная плита основания; 6 – гайка

Направляющие втулки в подвижной матрице крепятся с помощью буртика (рис. 1.18).

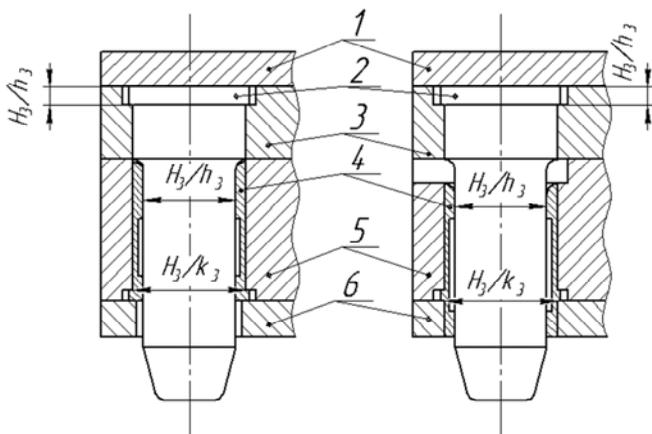


Рис. 1.18. Пример установки направляющих втулок:

- 1 – подкладная плита; 2 – направляющий штырь; 3 – подвижная матрица;
4 – направляющая втулка; 5 – неподвижная матрица;
6 – неподвижная плита основания

Направляющая часть центрирующих штырей и втулок выполняется по посадке H_3/h_3 с шероховатостью поверхности до Ra 1,25. Материалом для их изготовления являются углеродистые стали У7А и У8А с твердостью после закалки RC 50–55. Количество направляющих штырей, устанавливаемых в форму, должны быть не менее двух, но чаще всего их бывает четыре.

Для создания жесткой конструкции подвижной части формы, предусматривающей установку механизма выталкивания, применяются брусы 2 (рис. 1.19), количество которых может быть различным, но не менее двух. Длина бруса (L_I) зависит от хода механизма выталкивания и делается на 15–25 мм больше хода выталкивателей.

Толщина бруса (h) рассчитывается из условия его прочности на сжатие ($\delta_{сж}$), но не менее размера $d + \min 20$ мм. В брус предусматривается сквозные отверстия (10) для прохождения крепежных деталей, соединяющих подвижную плиту основания (1) с матрицей (9) и отверстия (11) для установки центрирующих штифтов между неподвижной плитой основания (1), брусом (2) и подкладной плитой (8).

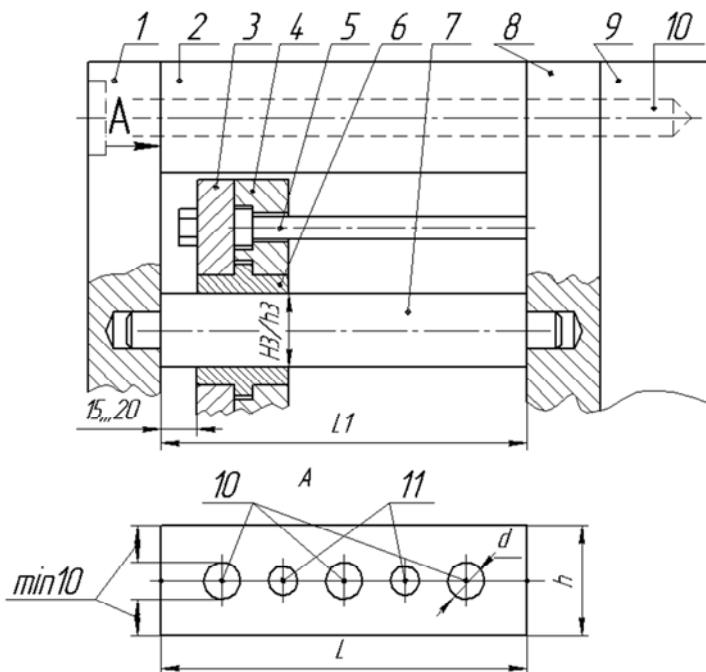


Рис. 1.19. Пример конструкции и установки бруса:
 1 – подвижная плита основания; 2 – брус; 3 – прижимная плита
 выталкивателей; 4 – плита выталкивателей; 5 – выталкиватель; 6 – втулка;
 7 – направляющая колонка; 8 – подкладная плита матрицы;
 9 – матрица; 10 – отверстия под крепежные детали;
 11 – отверстия под центрирующие штифты

Механизм выталкивания (рис. 1.19) состоит из следующих деталей: выталкивателей (5), контролокателей, направляющих колонок (7), втулок (6), плиты выталкивателей (4), прижимной плиты (3) и крепежных деталей. Конструкция выталкивателей и контролокателей и их крепление описаны ранее в разд. «Выталкиватели и контролокатели». Передвижение механизма выталкивания в форме осуществляется по направляющим колонкам (7), которые крепятся в подвижной плите основания (1) и подкладной плите. Направляющих колонок, устанавливаемых в форму, должно быть не менее двух, а для крупных форм с большим количеством стержней, несимметрично расположенных относительно колонок, – четыре.

Направляющие втулки (6) служат для предотвращения износа колонок (7) и изготавливаются из антифрикционных материалов. Крепление втулок осуществляется в плите выталкивателей с помощью буртика.

Все штифтовые и втулочные выталкиватели, контролкатели устанавливаются в плиты механизма выталкивания. Комплект плит механизма выталкивания состоит из плиты выталкивателей (4), в которой устанавливаются выталкиватели, контролкатели и направляющие втулки и прижимной плиты (3), являющейся опорой для перечисленных деталей. В плите выталкивателей (4) расположены зенкованные отверстия для установки выталкивателей и контролкателей, отверстия для направляющих колонок или втулок, отверстия для установки центрирующих штифтов, а также резьбовые отверстия, необходимые для скрепления плит.

Толщина плиты выталкивателей небольшая – 15–25 мм, так как эта плита испытывает малую нагрузку и работает только при возвращении выталкивателей в исходное положение. В процессе выталкивания отливки из формы основная нагрузка приходится на прижимную плиту. Толщина этой плиты в зависимости от конструкции привода и габаритных размеров формы составляет 30–50 мм. Изготавливают плиты из материала Сталь 20, а для особенно нагруженных форм – Сталь 40 с последующей закалкой до твердости RC 35-40 ед.

В прижимной плите имеются отверстия для прохождения крепежных деталей (11), количество которых колеблется от четырех до восьми (в зависимости от габаритных размеров и нагрузки) и два отверстия для штифтовки плит. При наличии внешних упоров на боковых поверхностях прижимной плиты предусматриваются выступы, предназначенные для привода в движение механизма выталкивания при раскрытии пресс-формы.

2. РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФОРМЫ

2.1. Расчет пресс-формы на раскрытие

Основным условием работы формы является то, что запирающее усилие $P_{\text{зап}}$ должно превосходить разжимающее усилие P_{ϕ} от давления жидкого металла в форме

$$P_{\text{зап}} \geq kP_{\phi} \geq kp_{\phi} \Sigma F, \quad (2.1)$$

где k – коэффициент запаса; для машин с вертикальной камерой прессования ($k = 1,15$), с горизонтальной – ($k = 1,25$);

P_{ϕ} – разжимающее усилие от давления металла в форме, которое допустимо принять равным произведению давления металла p_{ϕ} в камере прессования на ΣF

$$P_{\phi} = p_{\phi} \cdot \Sigma F;$$

ΣF – сумма площадей проекции отливки и литниковой системы на плоскость разъема пресс-формы.

Рассмотрим три основных случая расчета.

1. Площадь проекции поверхности отливок и литниковой системы расположены симметрично оси запирающего механизма машины, по которой приложено усилие $P_{\text{зап}}$ (рис. 2.1).

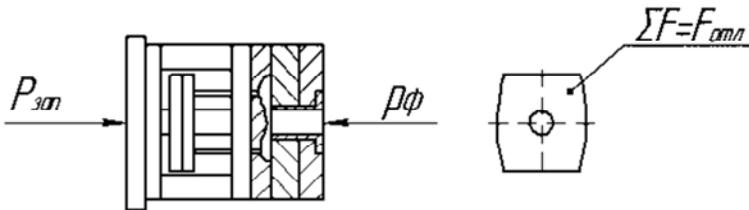


Рис. 2.1. Схема к расчету запирающего усилия при внутренней или симметричной литниковой системе

В этом случае запирающее усилие будет определяться из выражения

$$P_{\text{зап}} \geq kp_{\phi} \cdot F_{\text{отл}}.$$

2. Площадь проекции отливки $F_{отл}$ и литниковой системы $F_{л}$ расположены несимметрично относительно оси литниковой втулки и оси запирающего механизма (рис. 2.2).

В этом случае общая сила P_{ϕ} , действующая по оси машины со стороны формы, может быть найдена из уравнения моментов сил, стремящихся раскрыть форму относительно точки А.

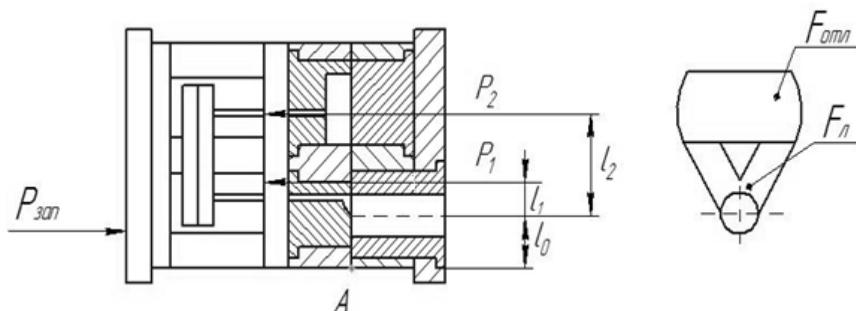


Рис. 2.2. Схема к расчету для второго случая

Уравнение моментов сил будет иметь вид:

$$P_{\phi} \cdot l_0 = P_1(l_0 + l_1) + P_2(l_0 + l_2), \quad (2.2)$$

где $P_1 = p_{\phi} F_{л}$ – сила, действующая со стороны литниковой системы;

$P_2 = p_{\phi} F_{отл}$ – сила, действующая со стороны отливки;

l_0 – расстояние от оси машины до края матрицы;

l_1 – расстояние от оси машины до центра приложения сил P_1 ;

l_2 – расстояние до центра приложения сил P_2 .

$$l_0 \geq \frac{P_1 \cdot l_1 + P_2 \cdot l_2}{\frac{P_{зап}}{k} - P_1 - P_2} \geq \frac{F_{л} \cdot l_1 + F_{отл} \cdot l_2}{\frac{P_{зап}}{k} - F_{л} - F_{отл}}. \quad (2.3)$$

Таким образом, устанавливается зависимость между размером формы l_0 и величиной запирающего усилия $P_{зап}$. При увеличении запирающего усилия $P_{зап}$ размер матрицы l_0 может быть уменьшен.

3. При расположении оси камеры прессования или литниковой втулки ниже оси запирающего механизма расстояние l_0 определяется из неравенства (2.4) (рис. 2.3).

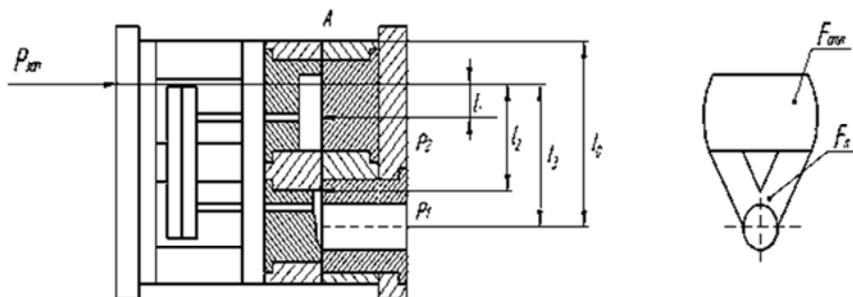


Рис. 2.3. Схема к расчету третьего случая

$$l_0 \geq \frac{F_{\text{л}} \cdot l_2 + F_{\text{отл}} \cdot l_1}{\frac{P_{\text{зап}}}{k} - F_{\text{л}} - F_{\text{отл}}} + l_3. \quad (2.4)$$

Помимо рассмотренных случаев, в практике встречаются их сочетание. При проектировании необходимо стремиться к такому расположению пресс-формы на машине, чтобы центр тяжести площади проекции рабочей полости совпадал с линией приложения запирающего усилия.

2.2. Расчет усилий удаления подвижных стержней и выталкивания отливок

При охлаждении отливки происходит усадка металла, в результате чего образуется плотное соединение между оформляющей поверхностью стержней и выступающих формообразующих частей формы, которое требует значительного усилия для их удаления. Эти усилия зависят от толщины стенки отливки площади оформляющей поверхности стержня типа заливаемого сплава и др. По величине этих усилий рассчитываются приводы стержнеизвлекающего и выталкивающего механизмов.

Усилие выталкивания отливки или удаление неподвижного стержня ($P_{\text{в}}$) или ($P_{\text{ст}}$) определяется из выражения (2.5)

$$P_{\text{в}} = P_{\text{ст}} = f_{\text{тр}} \cdot N_{\text{ст}}, \quad (2.5)$$

где $f_{\text{тр}}$ – коэффициент трения между отливкой и стержнем;

$N_{\text{ст}}$ – усилия обжатия оформляющей поверхности стержня металлом.

Усилие обжатия определяется по формуле (2.6)

$$N_{\text{ст}} = p_{\text{ст}} F_{\text{ст}}, \quad (2.6)$$

где $p_{\text{ст}}$ – давление отливки на стержень;

$F_{\text{ст}}$ – площадь обжатия стержня металлом.

Подставляя в выражение (2.5) значение $N_{\text{ст}}$, получим

$$P_{\text{в}} = P_{\text{ст}} = f_{\text{тр}} \cdot p_{\text{ст}} \cdot F_{\text{ст}}. \quad (2.7)$$

Таблица 2.1

Определение $f_{\text{тр}}$ и $P_{\text{ст}}$ в зависимости от сплава и минимального уклона

Параметр	Вид сплава			
	цинковый	алюминиевый	магниевый	медный
Min. уклон, градус	20'	40'	20'	1°
Усилие обжатия $P_{\text{ст}}$, кгс/см ²	150	175	95	300
Коэффициент трения	0,25	0,25	0,15	0,35

Для стержней круглого сечения:

$$F_{\text{ст}} = \pi \cdot d_{\text{ст}} \cdot l_{\text{ст}}.$$

Тогда

$$P_{\text{в}} = P_{\text{ст}} = f_{\text{тр}} \cdot p_{\text{ст}} \cdot \pi \cdot d_{\text{ст}} \cdot l_{\text{оф}}, \quad (2.8)$$

где $l_{\text{оф}}$ – длина оформляющей части стержня.

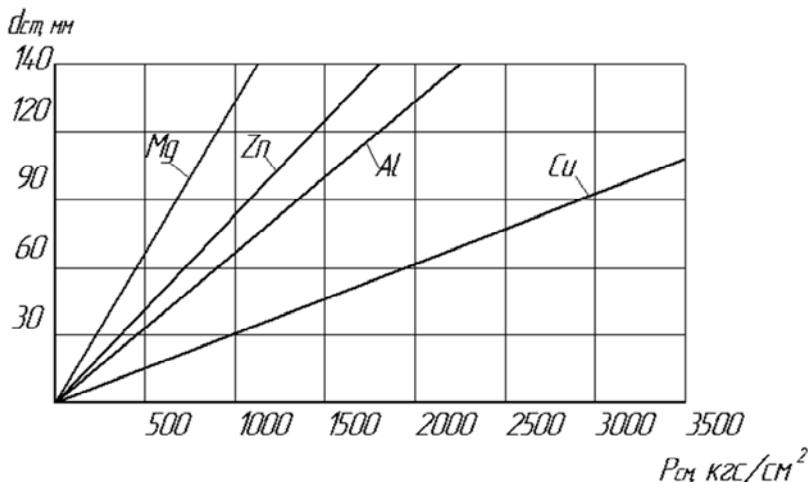


Рис. 2.4. Номограмма для определения усилия обжатия стержня

Значение $f_{\text{тр}}$ и $P_{\text{ст}}$ определяется по справочным таблицам или номограммам, примеры которых показаны в табл. 2.1 и рис. 2.4.

2.3. Расчет основных элементов пресс-формы на прочность

2.3.1. Расчет подкладной плиты подвижной матрицы

Подкладную плиту (3) на прочность рассчитывают из условия, что она жестко закреплена с двух сторон (рис. 2.5).

Изгибающий момент (M), действующий на подкладную плиту, определяется из выражения (2.9)

$$M = \frac{P_{\text{ф}} \cdot L}{8}, \quad (2.9)$$

где P_{ϕ} – усилие от давления металла в форме;

L – расстояние до крепления подкладной плиты.

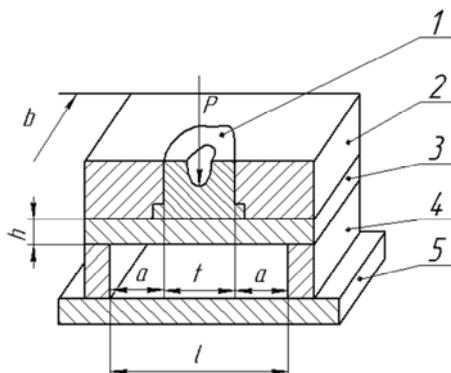


Рис. 2.5. Схема к расчету подкладной плиты:
 1 – вкладыш; 2 – матрица; 3 – подкладная плита;
 4 – брус (упор); 5 – плита основания

Напряжения σ , возникающие в подкладной плите, не должны превышать допустимые напряжения материала плиты на изгиб $[\sigma_{и}]$.

Прочность на изгиб рассчитывается по формуле (2.10):

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq [\sigma_{и}], \quad (2.10)$$

где W – момент сопротивления плиты.

Момент сопротивления определяется из выражения (2.11):

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6}, \quad (2.11)$$

где b – половина ширины плиты;

h – толщина плиты.

Кроме определения прочности подкладной плиты на изгиб, рассчитывают ее допустимый прогиб Δl по формуле (2.12)

$$\Delta l = \frac{P_{\phi} \cdot l^3}{192 \cdot E \cdot I} \leq [\Delta l], \quad (2.12)$$

где E – модуль упругости материала плиты (модуль Юнга);

I – момент инерции плиты.

Момент инерции плиты рассчитывают по формуле (2.13):

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12}. \quad (2.13)$$

2.3.2. Расчет упоров (брусов)

Упоры (брусы) пресс-формы рассчитываются на сжатие по формуле (2.14)

$$\sigma_{\text{сж}} = \frac{P}{\sum F_{\text{уп}}} \leq [\sigma_{\text{сж}}], \quad (2.14)$$

где P – силы, действующие на упор;

$\sum F_{\text{уп}}$ – суммарная поперечная площадь упоров;

$[\sigma_{\text{сж}}]$ – допустимые напряжения для материала упора на сжатие.

Сила P , действующая на упоры складывается из усилия запирающей формы ($P_{\text{зап}}$) и усилия от давления металла в форме

$$P = P_{\text{зап}} + P_{\text{ф}}.$$

2.3.3. Расчет матриц на прочность

Матрицы испытывают различную нагрузку в зависимости от конструкции вкладышей. Матрицы со сквозными вкладышами испытывают изгибающие усилия, поэтому их расчет сводится к определению допустимой величины прогиба Δl при условии, что ширина вкладыша t (рис. 2.5) больше $(1/3) l$. Тогда максимальный прогиб матрицы можно определить по формуле (2.15):

$$\Delta l_{\text{max}} = \frac{P \cdot a^2 \cdot (3 \cdot l - 4 \cdot a)}{48EI} \leq [\Delta l], \quad (2.15)$$

где $[\Delta l]$ – допустимая величина прогиба матрицы, принимаемая равной 0,15 мм;

I – момент инерции матрицы.

В матрицах с врезными вкладышами (рис. 2.6.) определяют ее прочность на срез по формуле (2.16):

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{P_{\phi}}{F_{\text{ср}}} \leq [\tau_{\text{ср}}], \quad (2.16)$$

где $F_{\text{ср}}$ – площадь среза;

$[\tau_{\text{ср}}]$ – допустимые касательные напряжения для материала матрицы.

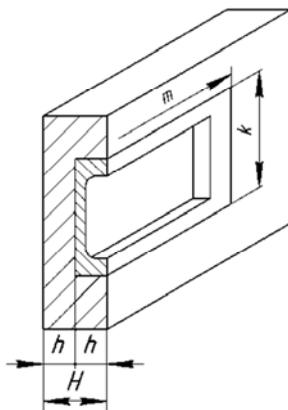


Рис. 2.6. Схема к расчету матрицы с врезными вкладышами

2.3.4. Расчет на изгиб клин-пальца стержнеизвлекающего механизма

Клин-палец стержнеизвлекающего механизма испытывает напряжение изгиба. Для цилиндрических пальцев диаметром d прочность на изгиб определяется из выражения (2.17):

$$\sigma_{\text{из}} = \frac{P \cdot l}{0,1d^3} \leq [\sigma_{\text{из}}], \quad (2.17)$$

где P – усилие, воспринимаемое клин-пальцем, равное усилию удаления стержня из отливки и определяется по формуле (2.7);

l – длина рабочей части клин-пальца.

Длина рабочей части пальца l зависит от длины формообразующей части стержня (L_1) и угла наклона пальца и определяется из выражения (2.18).

$$l = \frac{S}{\sin \alpha} = \frac{L_1 + (3-5)}{\sin \alpha}, \quad (2.18)$$

где S – максимальный ход ползуна.

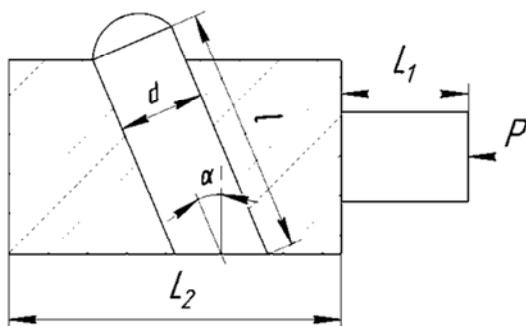


Рис. 2.7. Схема к расчету клин-пальца стержнеизвлекающего механизма

Длина направляющей части стержня должна быть на 10–15 мм больше оформляющей части стержня (L_1), а длина ползуна (L_2) определяется из выражения (2.19)

$$L_2 = S + (2-3)d, \quad (2.19)$$

где d – диаметр клин-пальца.

Такая конструкция стержнеизвлекающего механизма применяется при длине оформляющей части $L_1 \leq 90$ мм. При большей длине используют палец прямоугольного сечения с фиксацией его в подвижной части формы (рис. 1.12). Прямоугольный палец по длине имеет два различных уклона. Первый – в начале пальца, равен 15° , так как в начале извлечения оформляющей части из отливки требуется приложить максимальное усилие, а далее уклон увеличивается, но не более чем до 25° .

3. РАСЧЕТ РАЗМЕРОВ ОФОРМЛЯЮЩЕЙ ЧАСТИ ПРЕСС-ФОРМЫ

Методика расчетов размеров полости формы основана на анализе структурных схем-полей рассеивания размеров отливок.

3.1. Построение структурной схемы для гнезда формы

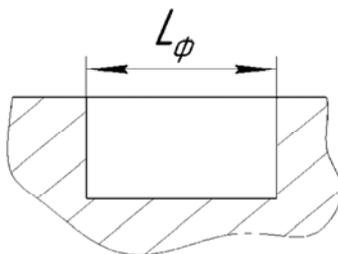


Рис. 3.1. Гнездо формы

L_ϕ – исходная величина размера гнезда формы в нормальных условиях (20°C) (рис. 3.1).

Размер L_ϕ является одновременно наименьшим для формы ($L_{\phi.\text{min}}$) и номинальным для отливки ($L_{o.\text{min}}$). Это соответствует линии 0–0 при условии допуска на изготовление размера отливки, направленного «в тело» согласно системе отверстий.

Наибольшее значение размера гнезда формы ($L_{\phi.\text{max}}$) при той же температуре берется по верхнему пределу допуска на изготовление ($\delta_{\text{изг}}$) и наибольшему допуску на износ формы ($\delta_{\text{изн}}$).

Построив от линии 0–0 поля допусков ($\delta_{\text{изг}}$ и $\delta_{\text{изн}}$), получим наибольшее значение гнезда ($L_{\phi.\text{max}}$) (рис. 3.2). От линии 0–0 откладываются также допускаемые отклонения других факторов (уклоны, плоскость разъема и др.) ($\delta_{\text{др.}}$).

Отложив от значения $L_{\phi.\text{max}}$ некоторую величину X , характеризующую увеличения размера гнезда в связи с температурным расширением материала формы, получим наибольшее (линия 1–1) и наименьшее (линия 2–2) значение размера гнезда формы при заданной температуре ($t_{\phi.\text{p}}$). Абсолютное значение X для $L_{\phi.\text{max}}$ и $L_{\phi.\text{min}}$ равны, так как температурные изменения представляют собой разность этих размеров, незначительно.

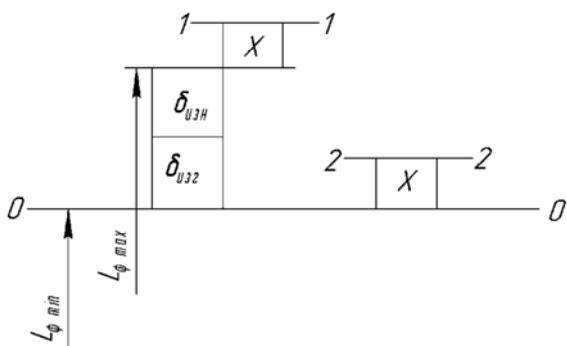


Рис. 3.2. Порядок построения структурной схемы полей рассеивания для определения размеров формы

Установив предельные значения гнезда формы, найдем наибольшее и наименьшее значение охватываемого размера отливки. Наибольшее значение отливки ($L_{\phi \max}$) будет при наибольшем размере гнезда формы и наименьшей действительной усадке. Наименьшее значение размера отливки ($L_{\phi \min}$) будет при обратном условии, – при ($L_{\phi \min}$) и наибольшей усадке, равной расчетной усадке X_p (рис. 3.3) При одностороннем расположении допуска (δ) «в тело» наибольший размер отливки является номинальным.

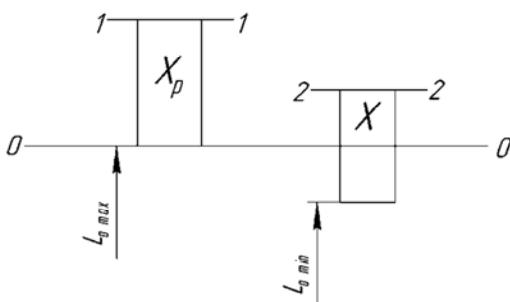


Рис. 3.3. Структурная схема определения минимального и максимального размера отливки

Искомый исполнительный размер оформляющего гнезда пресс-формы выражается формулой

$$L_{\phi} = L_{\text{ном}} + X_p - \delta_{\text{изг}} - \delta_{\text{изн}} - \delta_{\text{др}}$$

После замены экспериментально доказанного равенства $\delta_{\text{изн}} + \delta_{\text{др}} = 0,7\delta$ и X_p – значением коэффициента усадки (K_p) получим

$$L_{\phi} + \delta_{\text{изг}} = L_{\text{ном}} \left(1 + \frac{K_p}{100}\right) - 0,7\delta. \quad (3.1)$$

Окончательная структурная схема показана на рис. 3.4.

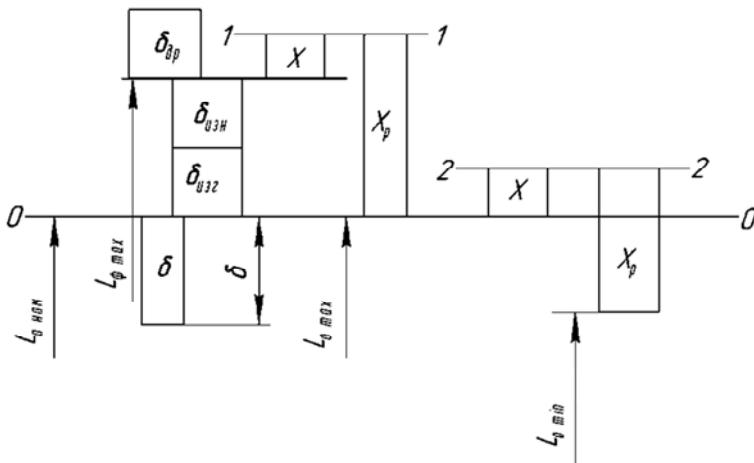


Рис. 3.4. Структурная схема для гнезда пресс-формы

3.2. Структурная схема для охватывающего размера стержня

На основании представленной схемы формула для расчета охватывающего размера будет иметь вид:

$$L_{\phi} - \delta_{\text{изг}} = L_{\text{ном}} \left(1 + \frac{K_p}{100}\right) + 0,7\delta. \quad (3.2)$$

Эти формулы выведены для расчета размеров, оформляемых в одной части формы.

При оформлении размеров отливок в обоих полуформах или подвижными стержнями необходимо учитывать дополнительные допуски (δ_1) и ($\delta_{\text{ст}}$) на зазоры между подвижными частями.

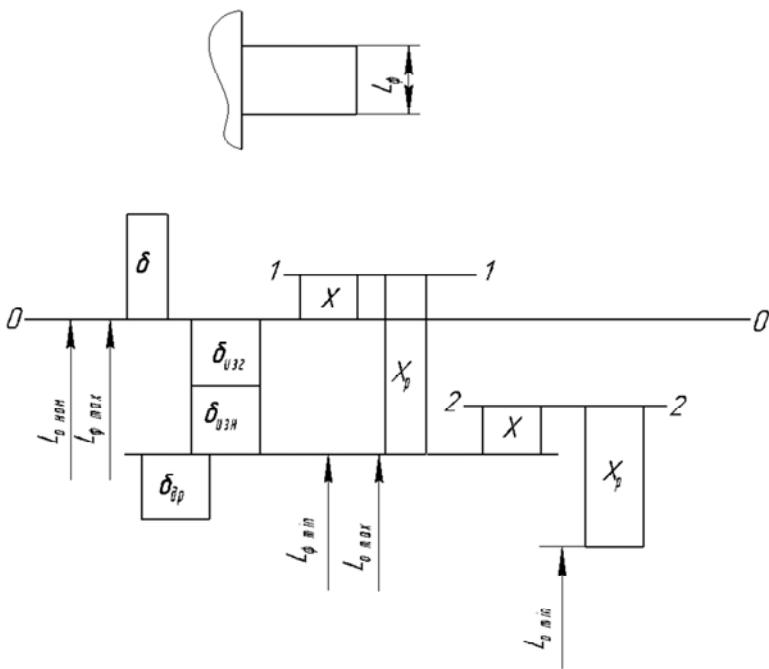


Рис. 3.5. Структурная схема для охватывающего размера стержня

При определении межцентрового расстояния между отверстиями или выступами в одной половине формы допуски располагаются симметрично по обе стороны нулевой линии, а формула для определения этого расстояния будет иметь вид:

$$L_{\phi} \pm \delta_{\text{изг}} = L_{0\text{ном}} \left(1 + \frac{K_p}{100}\right). \quad (3.3)$$

Величина размера связанного с плоскостью разреза формулы (3.3) и (3.4) примет вид:

$$L_{\phi} + \delta_{\text{изг}} = L_{0\text{ном}} \left(1 + \frac{K_p}{100}\right) - 0,7\delta - \delta_1; \quad (3.4)$$

$$L_{\phi} - \delta_{\text{изг}} = L_{0\text{ном}} \left(1 + \frac{K_p}{100}\right) + 0,7\delta + \delta_1. \quad (3.5)$$

4. ЛИТНИКОВО-ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

4.1. Основные принципы конструирования литниково-вентиляционных систем для литья под давлением

Литниковые системы пресс-форм литья под давлением представляют собой совокупность каналов, по которым металл поступает из камеры прессования в полость формы.

Литниковая система для машин с вертикальной камерой прессования (рис. 4.1, *а*) состоит из литникового хода 2 (конического литника), соединяющего камеру прессования с формой; подводящего канала 3, по которому металл поступает из литникового хода 2 в питатель 4; питателя 4, являющегося основным расчетным элементом литниковой системы; пресс-остаток 1, высота которого должна быть минимальной, но не меньше входного диаметра литникового хода.

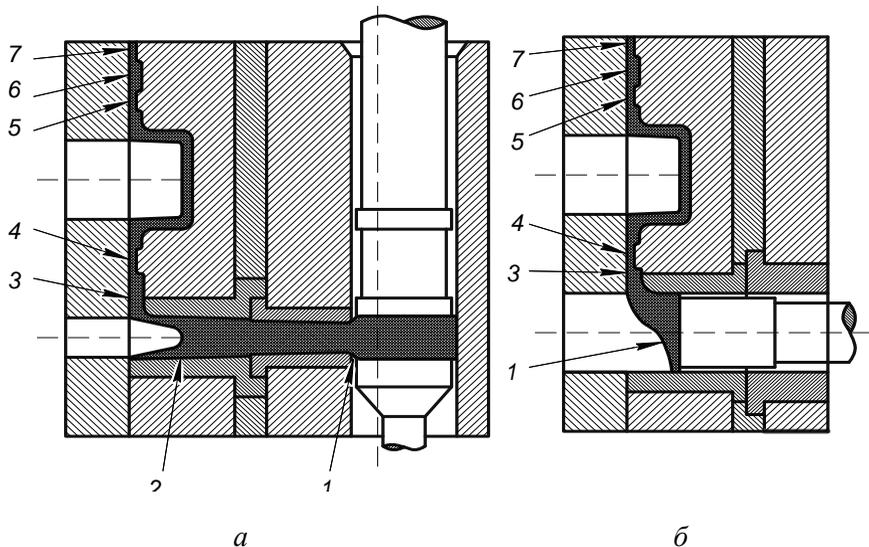


Рис. 4.1. Элементы литниковых систем для машин литья под давлением:
а – с вертикальной камерой прессования;
б – с горизонтальной камерой прессования

Литниковая система, применяемая на машинах с горизонтальной камерой (рис. 4.1, *б*), кроме пресс-остатка 1, включает в себя подво-

дящий канал 3 и питатель 4. Сокращенные пути движения металла в литниковой системе являются основным преимуществом машин с горизонтальной камерой прессования.

Вентиляционная система представляет собой совокупность каналов и резервуаров, через которые воздух и газы вытесняются из полости формы поступающим металлом.

Главным элементом вентиляционной системы является канал 7, который выполняется в виде широкой щели толщиной 0,05–0,1 мм в плоскости разреза. Вентиляционный канал может примыкать непосредственно к полости формы или к промывнику 6, сообщаясь с полостью соединительным каналом 5.

Промывники 6 служат для приема первых порций металла, загрязненных воздушными и газовыми включениями. Толщина соединительного канала 5 принимается равной толщине питателя с целью одновременного затвердевания металла в сечениях питателя и соединительных каналов.

Различные конструкции литниковых систем, в зависимости от расположения литникового хода по отношению к отливке, делятся на три типа:

прямая литниковая система, подвод металла осуществляется внутри контура проекции отливки на плоскость разреза (рис. 4.2);

внешняя (или боковая) литниковая система, металл подводится к внешнему контуру отливки.

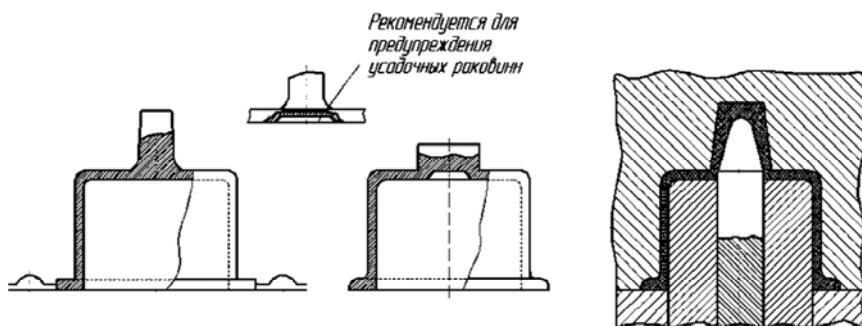


Рис. 4.2. Пример прямой литниковой системы

Прямая литниковая система (рис. 4.3, *а*) обеспечивает направленное заполнение формы сплошным потоком и применяется при изготовлении отливок, не имеющих центральных отверстий. Площадь поперечного сечения впускного канала соответствует сечению ходового литника для машин с вертикальной камерой прессования, а для машин с горизонтальной камерой – сечению пресс остатка (рис. 4.3, *в*).

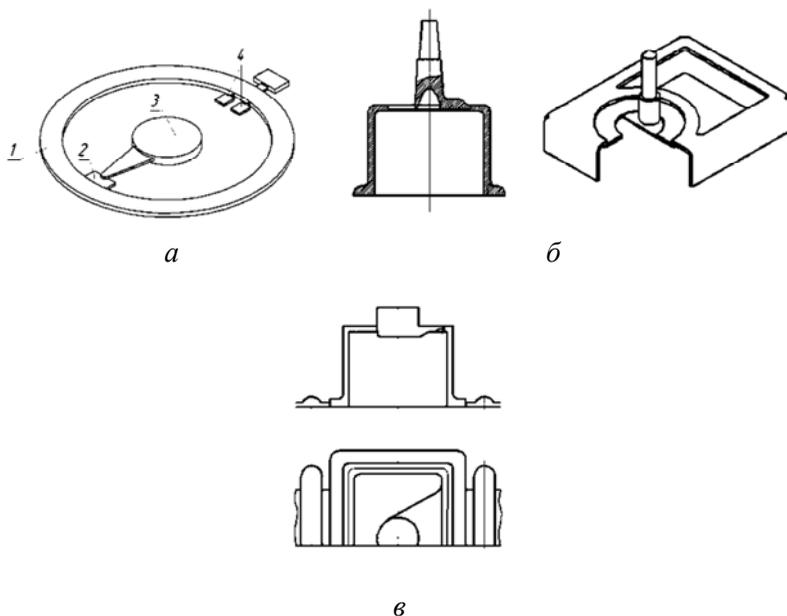


Рис. 4.3. Внутренние литниковые системы в машинах с вертикальной (*а*, *б*) и горизонтальной (*в*) камерой прессования

При заполнении толстостенных крупногабаритных отливок прямая литниковая система дает возможность снизить скорость впуска и осуществлять заливку кашеобразным сплавом по принципу минимального трения.

Неполная прямая литниковая система (рис. 4.3, *б*) применяется для изготовления отливок с центральным отверстием. Литниковый ход такой системы непосредственно переходит в кольцевой питатель, расположенный вокруг рассекателя, причем площадь впускного сечения регулируется диаметром рассекателя.

Внутренняя литниковая система может быть использована для отливок, имеющих отверстия, размеры которых допускают размещение литниковых каналов. Металл в полость формы подводится либо сплошным дисковым питателем (рис. 4.3, б), либо отдельными питателями, которые примыкают к внутреннему контуру отверстия (рис. 4.3, а, в). Внутренняя литниковая система позволяет уменьшить размеры формы.

Внешняя литниковая система представляет собой наиболее распространенный тип литниковых систем при литье под давлением. Для многогнездных форм внешняя литниковая система является единственным вариантом подвода металла к отливкам (рис. 4.4, а). В некоторых случаях металл подводят через дополнительные резервуары-коллекторы (рис. 4.4, б).

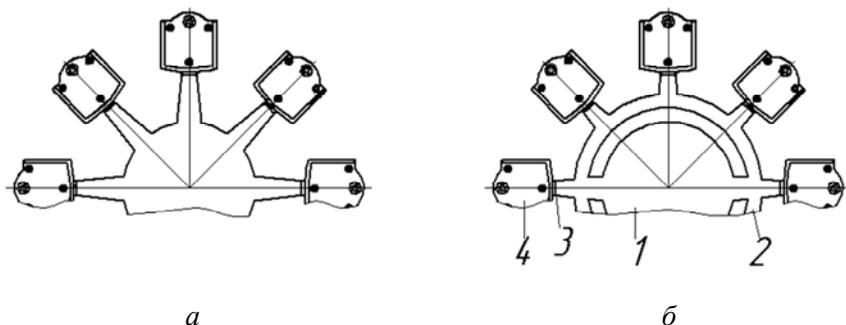


Рис. 4.4. Внешние литниковые системы: обычные (а), с коллектором для многогнездных форм (б); 1 – пресс-остаток; 2 – коллектор; 3 – питатель; 4 – отливка

Не рекомендуется применять литниковые системы с соединительными каналами, подведенными от одного гнезда к другому, с питателем одной отливки через другую, так как качество второй отливки значительно ухудшается.

При выборе типа литниковой системы необходимо стремиться к созданию максимальной направленности заполнения полости формы сплошным или дисперсным потоком.

Необходимо учитывать, что направленность заполнения зависит не только от места подвода металла, но и от соотношения толщины стенки отливки H и толщины питателя h . Если соотношение

$\frac{H}{h} < \frac{1}{2}$, то заполнение сплошным потоком начинается после удара

струи о стенку формы (рис. 4.5, *a*) – как для прямой, так и для внешней и внутренней литниковых систем. В этом случае форма заполняется в направлении, обратном движению металла в питателе.

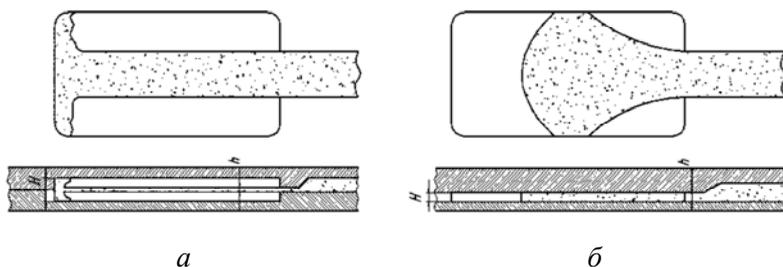


Рис. 4.5. Направление потока металла при различных соотношениях толщины отливки и питателя

Если соотношение H / h близко к единице, то струя расплавленного металла растекается по полости формы (рис. 4.5, *б*), образует сплошной поток, направление которого совпадет с направлением движения металла в литниковой системе.

В фасонной неравностенной полости «свободная струя металла» не имеет дополнительного пространства для распространения. После удара о перегородку и образования растекающегося потока расплавленный металл перекрывает тонкие сечения полости формы, которые заполняются в последнюю очередь.

Например, если подводить металл вдоль утолщенной части неравностенной отливки (рис. 4.6, *a*), то после удара струи о перегородку образуется сплошной или дисперсный поток, препятствующий заполнению тонкостенной части отливки. В результате этого тонкостенная часть отливки будет заполняться в последнюю очередь холодным металлом, что приводит к образованию «неслитин» и «спаев».

При заполнении дисперсным потоком с высокой скоростью впуска лучшим вариантом является подвод металла к центру утолщенной части отливки (рис. 4.6, *б*).

Для сплошного ламинарного или турбулентного заполнения рекомендуется подводить металл через тонкое сечение отливки

(рис. 4.6, в). В этом случае тонкое сечение заполняется в последнюю очередь более горячим металлом и через него можно осуществить подпрессовку к утолщенным местам отливки.

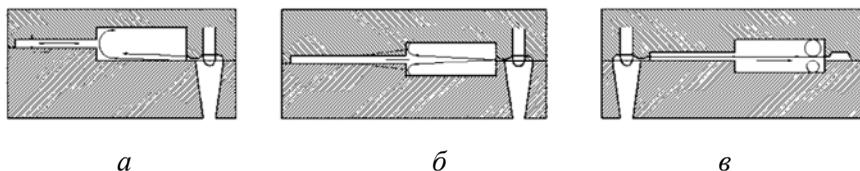


Рис. 4.6. Различные варианты заполнения неравностенной отливки

Для равностенных отливок подвод металла зависит, прежде всего, от их конфигурации. На рис. 4.7 представлены различные варианты питания отливок.

К прямоугольной пластинке (рис. 4.7, а) питатель должен подводиться к меньшей стороне, причем ширина питателя должна приближаться к ширине отливки.

При подводе металла к широкой стороне отливки уменьшается время, необходимое для вытеснения воздуха со стороны, противоположной месту подвода, что способствует захвату воздуха и образованию воздушной пористости.

Если прямоугольная отливка имеет центральное отверстие (рис. 4.7, б), то необходимо применять разветвленный питатель. При использовании сплошного питателя прямой удар металла о стержень вызывает привар отливки и увеличивает турбулентность или дисперсность потока в начале заполнения формы металлом.

Наружный подвод металла к отливке типа прямоугольной рамки (рис. 4.7, в) приводит к появлению пористости и несплавления отдельных потоков как в дальнем сечении, так и в промежутке между отдельными ветвями питателя. Внутренняя литниковая система с поворотом струи по направлению контура рамки устраняет раздвоенность потока и образование внутренних дефектов.

Столкновение потоков металла в полости формы создает неравномерные условия заполнения, при которых образуется воздушная пористость, неспай, а также ухудшается качество поверхности (рис. 4.7, г). Более правильно подводить питатель к стороне отливки, не имеющей разветвлений, что не приводит к образованию пористости и несплитин.

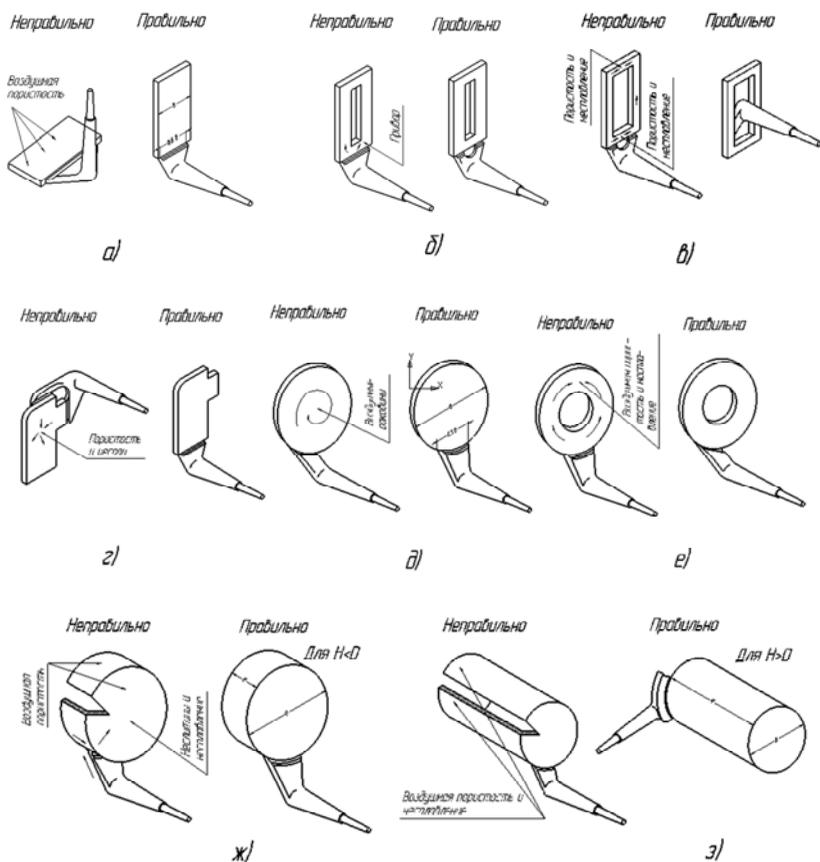


Рис. 4.7. Примеры подвода металла к равностенным отливкам различной конфигурации

Для цилиндрических отливок более рентабельно использовать радиальный питатель, ширина которого составляет около половины диаметра отливки (рис. 4.7, д). При подводе металла по касательной в центральной части отливки образуются воздушные раковины.

Если отливка имеет центральное отверстие (рис. 4.7, е), то при радиальном подводе металла начинается раздвоение потока, в результате чего в месте их столкновения происходит образование дефектов. В этом случае наилучшим вариантом является подвод металла по касательной.

Для коробчатых цилиндрических отливок, высота которых значительно меньше диаметра (рис. 4.7, ж), при подводе металла в торцевую часть цилиндра поток дважды меняет направление, сопровождающееся потерей скоростного напора, ухудшающего заполняемость донной части отливки. При подводе питателя к донной части отливки образование дефектов в ней отсутствует.

Если высота цилиндрической отливки значительно больше диаметра (рис. 4.7, з), то подвод металла к донной части отливки не обеспечит заполнения цилиндрической стенки. В этом случае применяется торцевой подвод через дополнительные коллекторы.

Удаление воздуха и газов из полости формы зависит от характера заполнения ее металлом. При сплошном напорном потоке воздух вытесняется в конечную часть полости, в которой должны располагаться вентиляционные каналы. Каналы, расположенные близко к питателю, быстро перекрываются потоком металла и перестают действовать.

Вентиляционные каналы прорезают в плоскости разъема пресс-формы шириной 20–40 мм и глубиной 0,05–0,2 мм. Иногда с целью увеличения площади поперечного сечения воздухоотводных вентиляционных каналов их располагают на всех подвижных частях формы – на стержнях и выталкивателях.

Если форма заполняется турбулентным (или дисперсным) потоком, возникающим в месте удара струи о преграду, то воздух вытесняется в направлении, противоположном движению металла в питателе.

При заполнении дисперсным потоком можно рассматривать два периода вентиляции формы: первый период соответствует образованию дисперсной смеси капель металла и воздуха, второй – сгущению дисперсного потока после момента «многого» заполнения.

Скорость сгущения возрастает при увеличении скорости потока. При таком характере заполнения вентиляционные каналы располагаются по всей плоскости разъема.

Промывники рекомендуется применять в тех случаях, когда сечение вентиляционных каналов не может обеспечить полного удаления воздуха из полости формы. Кроме того, в промывники вместе со сплавом выносятся воздух, попадающий в металл из литниковых каналов и камеры прессования. Промывники соединяются с полостью формы каналами, ширина которых равна ширине промывника, а толщина выбирается близкой к толщине питателя.

Промывники повышают качество отливки, так как в них перегоняются первые порции загрязненного металла, смешанного с воздухом.

Чем больше объем промывников, тем меньше воздушных включений в отливке. Место установки промывников зависит от характера движения отдельных потоков металла в полости формы. Максимальный эффект достигается при установке промывников в районе стыка двух или нескольких потоков.

Для круглых отливок рекомендуется устанавливать несколько промывников на небольшом расстоянии друг от друга.

4.2. Расчет литниково-вентиляционных систем

Питатели – самая ответственная часть литниковой системы. От них зависят характер потока и его скорость. С помощью питателей регулируют скорость впуска и время заполнения полости формы металлом.

Обычно длина питателя не превышает 3–5 мм, так как чем больше длина питателя, тем большее удельное давление требуется для запрессовки сплава. При длине питателя 3 мм перемычка между оформляющей полостью и питателем быстро изнашивается вследствие местного перегрева. При расчете питателей длина их принимается постоянной.

Площадь сечения питателя определяется по формуле (4.1)

$$f_{\text{пит}} = \frac{1,12(G_{\text{отл}} + G_{\text{пром}})}{\rho \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4}, \quad (4.1)$$

где $G_{\text{отл}}$ – масса отливки;

$G_{\text{пром}}$ – масса литника;

ρ – плотность сплава;

k_1 – коэффициент, учитывающий конфигурацию отливки;

k_2 – коэффициент, учитывающий влияние удельного давления;

k_3 – коэффициент, зависящий от рода сплава;

k_4 – коэффициент, зависящий от средней толщины стенки.

Значение коэффициентов k_1 – k_4 получены для отливок из алюминиевых сплавов массой до 2 кг при условии подстановки $G_{\text{отл}}$ и $G_{\text{пром}}$ в граммах и ρ – в г/см³.

Значение коэффициента k_1

Тип отливки:

толстостенная, простой конфигурации	0,75;
коробчатого сечения	1,0;
сложной конфигурации	1,5;
сложные отливки с ребрами толщиной 0,5-0,8 мм	2,0.

Значение коэффициента k_2 при различных удельных давлениях

Удельное давление, МПа:

До 20	2,5;
От 20 до 40	2,0;
40 – 60	1,75;
60 – 80	1,5;
80 – 100	1,25;
Свыше 100	1,0.

Значение коэффициента k_3

Сплавы:

Свинцово-оловянные	1,1;
Цинковые	1,0;
Алюминиевые	0,9;
Медные	0,75;
Магниевые	0,8;
Сталь и чугун	0,6;
Магниевые	0,45.

Значение коэффициента k_4

Средняя толщина стенки отливки, мм:

До 1	0,5;
От 1 до 2	0,75;
2 – 4	1,0;
4 – 6	1,15;
6 – 9	1,3;
Свыше 9	1,5.

Для обеспечения принципа сужения литниковой системы принимают площадь поперечного сечения подводящего канала $f_{\text{подв}} = (1,2 - 1,5)f_{\text{пит}}$. Высоту $h_{\text{подв}}$ подводящего канала определяют по эмпирической формуле

$$h_{\text{подв}} = 0,77\sqrt{f_{\text{пит}}}. \quad (4.2)$$

Вентиляционные каналы выполняются в виде прямоугольных проточек, толщина $\delta_{\text{в}}$ которых зависит от вида заливаемого сплава (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Толщина вентиляционных каналов для различных сплавов

Сплавы	$\delta_{\text{в}}$
Свинцово-оловянистые	0,05 – 0,1
Цинковые	0,08 – 0,12
Алюминиевые	0,1 – 0,12
Магниевые	0,1 – 0,15
Медные	0,15 – 0,2
Сталь	0,2 – 0,3

При заполнении форм жидкотвердыми сплавами значение $\delta_{\text{в}}$ может быть увеличено в 2–3 раза. Суммарная ширина вентиляционных каналов, необходимая для полного удаления других газов из полости формы, определяется делением их суммарной площади $\sum f_{\text{в}}$ на $\delta_{\text{в}}$. Значение $\sum f_{\text{в}}$ находят на основании решения уравнений 4.3 и 4.4:

для докритического режима ($p_{\text{г}} < 0,19$ МПа)

$$\sum f_{\text{в}} = 0,65g \frac{\rho_{\text{г}} V_{\text{отл}} \sqrt{T_{\text{г}}}}{p_{\text{г}} t_{\text{зап}} \sqrt{\beta^{1,43} - \beta^{1,71}}}; \quad (4.3)$$

для закритического режима ($p_{\text{г}} < 0,19$ МПа)

$$\sum f_{\text{в}} = 2,5g \frac{\rho_{\text{г}} V_{\text{отл}} \sqrt{T_{\text{г}}}}{p_{\text{г}} t_{\text{зап}}}, \quad (4.4)$$

где $\beta = p_{\text{ок.с}}/p_{\text{г}}$ – отношение давления вне формы (окружающей среды) к давлению газов в форме.

Плотность ρ_r газов, входящих в формулы (4.3) и (4.4), для газовой смеси, подобно воздуху, дана в зависимости от температуры T_r в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Плотность воздуха при некоторых значениях его температуры

T_r °C	ρ_r	T_r °C	ρ_r
20	0,1164	500	0,0451
50	0,1056	600	0,04
100	0,0916	700	0,0361
200	0,0723	800	0,0325
300	0,0596	900	0,0291
400	0,0508	1000	0,0268

Пример.

Определить $\sum f_B$ при истечении газов (воздуха) из полости формы объемом $V_{отл} = 200 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$, заполняемой дисперсным потоком алюминиевого сплава ($T_r = T_{зал} = 600 \text{ °C}$) на протяжении $t_{зал} = 0,06 \text{ с}$.

Принимаем $p_r = 0,15 \text{ МПа}$ и подставляем значение ρ_r из табл. 4.2 в формулу (4.3). Тогда для докритического режима

$$\sum f_B = 0,65 \cdot 9,81 \cdot \frac{0,04 \cdot 200 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{873}}{0,15 \cdot 0,068 \cdot \sqrt{\left[\frac{1}{1,5}\right]^{1,43} - \left[\frac{1}{1,5}\right]^{1,71}}} = 22 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Для той же отливки в условиях закритического режима заполнения, $p_r = 0,2 \text{ МПа}$, имеем

$$\sum f_B = 2,5 \cdot 9,81 \cdot \frac{0,04 \cdot 200^{-6} \cdot \sqrt{873}}{0,2 \cdot 0,06} = 49 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3,$$

то есть при увеличении противодействия газов в полости формы с 0,15 до 0,2 МПа необходимо увеличить суммарную площадь вентиляционных каналов более чем в 2 раза.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Белопухов, А.К. Литье под давлением / А.К. Белопухов, Л.И. Винберг, А.А. Дудин [и др.] – М. : Машиностроение, 1962. – 399 с.
2. Гини, Э.Ч. Технология литейного производства: специальные виды литья : учебник для студ. высш. уч. заведений / Э.Ч. Гини, А.М. Зарубин, В.А. Рыбкин. – М. : Изд.: Центр «Академия», 2005. – 352 с.
3. Специальные способы литья : справочник / В.А. Ефимов, Г.А. Анисович, В.Н. Бабич [и др.]; под общ. ред. В.А.Ефимова. – М. : Машиностроение, 1991. – 436 с.

Учебное издание

СКВОРЦОВ Валерий Александрович
НИКОЛАЙЧИК Юрий Александрович

**КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ
ДЕТАЛЕЙ ПРЕСС-ФОРМ ЛИТЬЯ
ПОД ДАВЛЕНИЕМ**

Учебно-методическое пособие
для студентов специальности 1 36-01-02
«Машины и технология литейного производства»

Редактор *Т. В. Мейкиане*
Компьютерная верстка *Е. А. Беспанской*

Подписано в печать 12.12.2018. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 2,96. Уч.-изд. л. 2,32. Тираж 100. Заказ 241.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.

