

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПЕТРА ВЕЛИКОГО

---

С.Н. Кункин, А.В. Мамутов, В.С. Мамутов

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ЛИСТОВОЙ  
ШТАМПОВКИ**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Санкт-Петербург

2018

УДК 621.7.044

Кункин С.Н., Мамутов А.В., Мамутов В.С. Технологические методы листовой штамповки: учебн. пособие. – СПб, 2018. – 52 с.

Цели пособия – ознакомить студентов с технологическими возможностями и технологическими устройствами основных методов листовой штамповки; освоить методы расчета и проектирования вытяжки, гибки и вырубки-пробивки листовых материалов на примере типовых деталей в жестких инструментальных штампах. Представлены типовые конструкции штампов для указанных выше операций. Даны общие сведения о листовых материалах и их штамповке. Каждый из трех основных разделов имеет перечень контрольных вопросов для самопроверки. Материал пособия составлен таким образом, чтобы при выполнении расчетных работ определить последовательность расчетов и облегчить поиск студентам справочных материалов в достаточно объемных справочниках и учебниках.

Пособие предназначено для студентов института «Металлургии, машиностроения и транспорта» при подготовке магистров по специализации «Процессы и машины обработки давлением», по курсу «Технология листовой штамповки». Приведенные в учебном пособии материалы могут быть также полезны для студентов той же специализации при изучении других курсов, связанных с листовой штамповкой, а также студентов других специальностей, изучающих методы обработки металлов давлением.

© Санкт-Петербургский политехнический университет

Петра Великого, 2018

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Общие сведения о листовых материалах и их штамповке .....	5
<b>1. ВЫТЯЖКА ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА .....</b>	<b>6</b>
Характеристика вытяжных операций .....	6
Вытяжка в жестких инструментальных штампах .....	11
Расчет вытяжки в жестких штампах типовой детали .....	13
Содержание работы .....	16
Порядок выполнения расчетов .....	18
1. <i>Определение размеров заготовки</i> .....	18
2. <i>Расчет количества операций вытяжки</i> <i>и пооперационных размеров деталей</i> .....	18
3. <i>Расчет зазоров и определение размеров рабочих частей</i> <i>матрицы и пуансона</i> .....	20
4. <i>Расчет радиусов закругления рабочих кромок матрицы и пуансона</i> .....	21
5. <i>Определение необходимости в складкодержателе (прижиме)</i> <i>для первой операции вытяжки</i> .....	21
6. <i>Расчет усилия вытяжки и усилия прижима</i> .....	22
Контрольные вопросы .....	24
<b>2. ГИБКА .....</b>	<b>24</b>
Сущность процесса гибки .....	24
Пример разработки типового технологического процесса получения гнутой заготовки .....	28
Техническое задание .....	28
1. <i>Расчет длины заготовки</i> .....	29
2. <i>Проверка допустимости радиуса гибки</i> .....	30
3. <i>Расчет упругого пружинения</i> .....	31
4. <i>Определение последовательности переходов</i>	

<i>при изготовлении детали</i> .....	33
5. <i>Определение рабочих размеров инструмента</i> .....	34
6. <i>Выбор оборудования</i> .....	35
Содержание работы.....	36
Контрольные вопросы .....	37
<b>3. РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ.....</b>	<b>37</b>
Основные разделительные операции .....	37
Усилие резания при вырубке-пробивке .....	38
Конструкции разделительных штампов .....	44
Расчет вырубке-пробивки в жестких штампах	
<i>плоской типовой детали</i> .....	46
1. <i>Выбор технологии вырубке</i> .....	46
2. <i>Расчет раскроя полосового металла</i> .....	47
3. <i>Определение усилия при вырубке и пробивке</i> .....	48
4. <i>Зазор между пуансоном и матрицей и определение</i>	
<i>исполнительных размеров пуансона и матрицы</i> .....	49
Содержание работы.....	50
Контрольные вопросы .....	51
Литература .....	51

## **Общие сведения о листовых материалах и их штамповке**

Листовая штамповка является одним из наиболее прогрессивных методов производства. Удельный вес листовой штамповки по расходу материалов составляет в отдельных отраслях: электромашиностроении – 60–70 %, приборостроении – 70–75 %, аппаратостроении – 75–80 %, в производстве предметов народного потребления – 95–98 %.

По сравнению с другими методами обработки металлов листовая штамповка имеет ряд преимуществ, как в экономическом отношении, так и в техническом отношении. Основные технические преимущества:

- возможность получения деталей сложных форм, изготовление которых другими методами металлообработки затруднено или невозможно,
- возможность создания прочных и жестких, но одновременно легких по массе конструкций деталей при небольшом расходе металла,
- возможность получения деталей с достаточно высокой точностью размеров, без последующей механической обработки.

В экономическом отношении листовая штамповка обладает следующими преимуществами:

- экономное использование материала и малые отходы,
- более низкая трудоемкость, и меньшая стоимость выпускаемой продукции,
- высокая производительность и универсальность штамповочного оборудования, что позволяет использовать процессы в массовом производстве.

В качестве исходного материала для листовой штамповки применяются листы и полосы, обычно получаемые методами прокатки на листовых станах из слябов и на литейно-прокатных агрегатах непосредственно из жидкого металла. Листовую продукцию изготавливают из обычных и специальных сталей, алюминия и его сплавов, цветных металлов, биметаллов и порошков. В процессе прокатки листовой металл подвергается обжатию без натяжения в черновых группах стана, с натяжением в чистовых и

непрерывных группах, свободному и принудительному охлаждению, разогреву в результате пластического формоизменения, удалению окалины, размотке, смотке и т.п. Свойства листового металла, определяемые процессами его изготовления необходимо учитывать при проектировании технологических процессов листовой штамповки. В частности, прокатка приводит к анизотропии механических свойств металла – отличии их в направлениях вдоль и поперек проката.

Важной характеристикой листового металла является его толщина. По толщине различают следующий металлопрокат:

- толстолистовые материалы – толщиной более 4 мм,
- листовые материалы – 0,4–4,0 мм,
- особо тонколистовые материалы (жесть) – менее 0,1–0,4 мм,
- особо тонкая жесть – 0,05–0,1 мм,
- фольга – 0,002–0,05 мм.

По характеру деформаций листовая штамповка разделяется на три основные группы, определяемые:

- пластическим деформированием металла листовой заготовки,
- разделением материала заготовки,
- комбинирование пластического деформирования с разделением.

Имеется четыре основных вида деформаций листовой штамповки:

- вытяжка – превращение плоской заготовки в полую деталь любой формы или дальнейшее изменение ее размеров,
- гибка – превращение плоской заготовки в изогнутую деталь,
- формовка – изменение формы детали или заготовки путем местных деформаций различного характера,
- резка – отделение одной части материала от другой по замкнутому или незамкнутому контуру.

## 1. ВЫТЯЖКА ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА

Вытяжкой в листовой штамповке называют процесс преобразования плоской или полый листовой заготовки в открытую сверху полую деталь, осуществляемый с помощью листовых штампов. Вытяжку из тонколистового металла в большинстве случаев производят в холодном состоянии. Вытяжку из толстолистового металла, а также из низкопластичных металлов (например, магниевые, титановые сплавы) осуществляют при нагреве заготовки.

Вытяжкой изготавливают детали автомобилей, тракторов, самолетов, детали электрических машин и аппаратов, детали типа днищ баков и кислородных баллонов, корпуса и детали приборов, часовых механизмов, предметов домашнего потребления (кастрюли, чайники и т.п.) и др.

### **Характеристика вытяжных операций**

Полые детали, получаемые методами вытяжки, по степени сложности формы можно разделить на три основные группы:

1. детали, имеющие форму тела вращения (рис. 1, а, б);
2. детали коробчатой формы (рис. 1, в, г);
3. детали сложной формы (рис. 1, д).

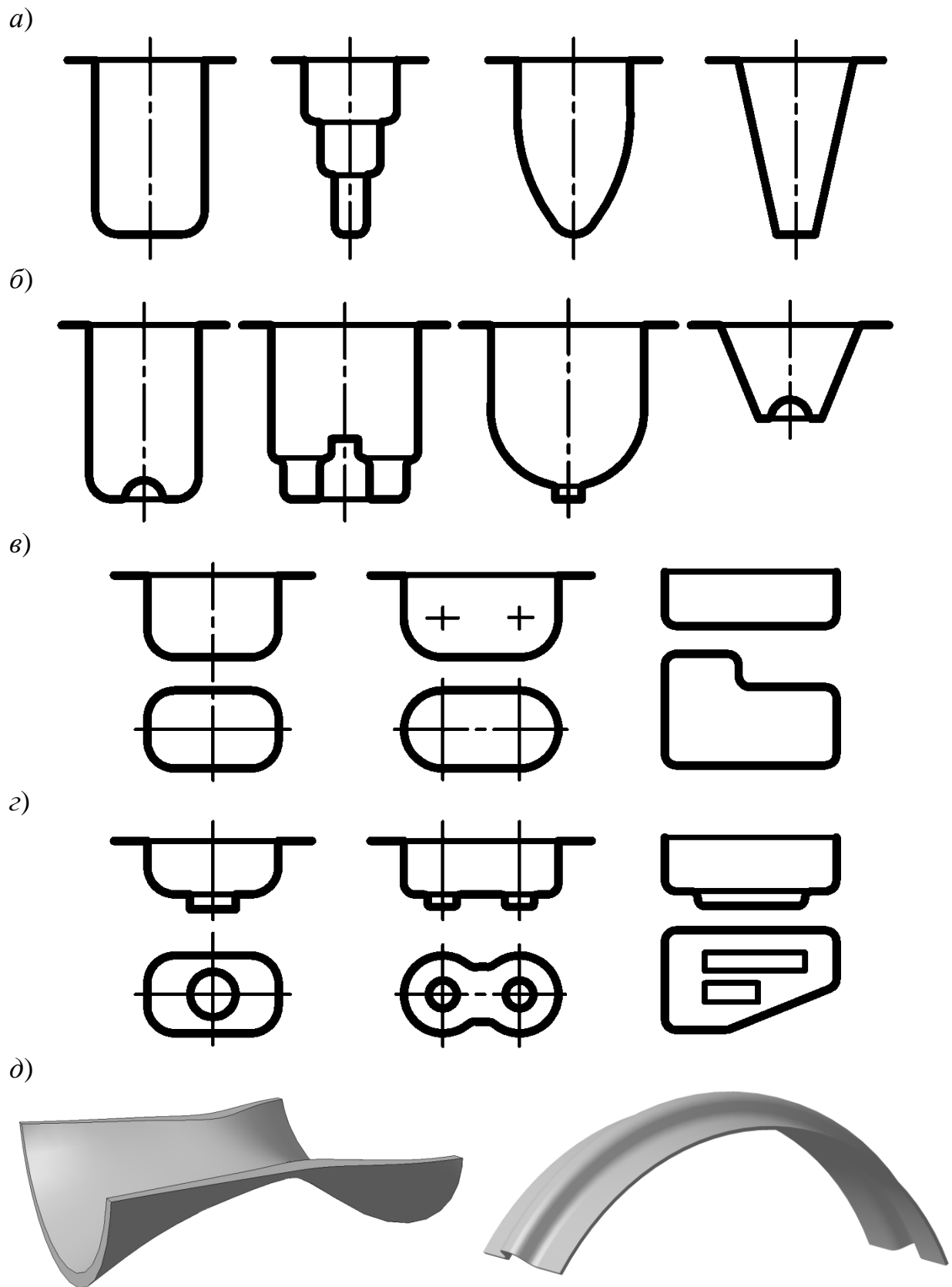


Рис. 1 Детали, получаемые вытяжкой



Осесимметричные детали могут быть цилиндрические, ступенчатые, конические или с какой-либо криволинейной образующей. Детали могут быть с фланцем или без фланца, с плоским (см. рис. 1, *а*) или с фасонным дном (см. рис. 1, *б*).

Детали коробчатой формы могут иметь квадратные, прямоугольные или криволинейные боковые стенки с фланцем или без фланца. При этом дно может быть плоское (см. рис. 1, *б*) или фасонное (см. рис. 1, *в*).

Все детали, не относящиеся к первым двум группам, относятся к деталям сложной формы. Примером могут служить дверца, крыло или другая деталь внешней обшивки автомобиля, обычно изготавливаемые вытяжкой.

По характеру деформирования заготовки различают два основных варианта процесса:

1. вытяжка без утонения стенок,
2. вытяжка с утонением стенок.

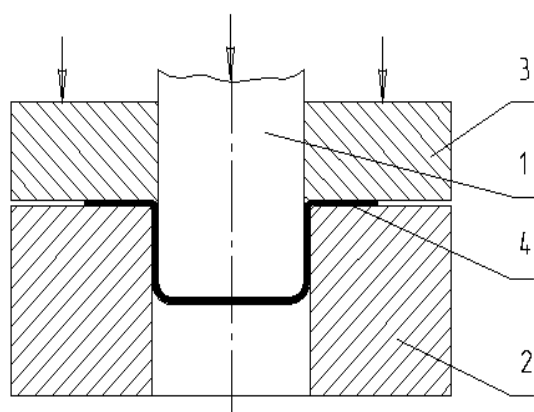
В первом случае вытяжка происходит без заранее обусловленной толщины материала стенок изделия. Во втором случае процесс вытяжки идет за счет изменения толщины листа.

По характеру напряженно-деформированного состояния заготовки различают три базовых способа вытяжки (рис. 2):

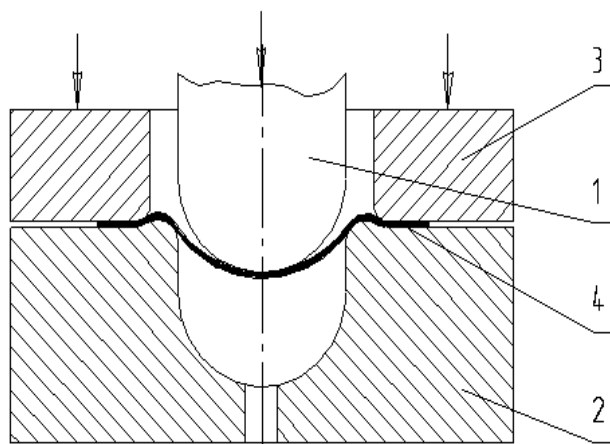
1. Вытяжка цилиндрических и коробчатых деталей при схеме напряженного состояния на фланце – сжатие-растяжение. В этом случае основная часть деформации заготовки 4 протекает под прижимом 3 на фланце и на вытяжных кромках матрицы 2 при перемещении пуансона 1 (рис. 2, *а*). Наибольшая глубина вытяжки  $h$  находится в зависимости от относительной толщины заготовки и диаметра детали  $d$  и составляет  $h = (0,5-0,95)d$ .

2. Вытяжка сферических и сложной формы деталей (рис. 2, *б*) осуществляется в штампах с вытяжными ребрами при преобладании растягивающих напряжений во фланце и неравномерном двухосном растяжении в остальной части заготовки. Основная деформация протекает вне прижима при значительном утонении материала. Глубина вытяжки обычно находится в пределах  $h = (0,2-0,6)d$ .

а)



б)



в)

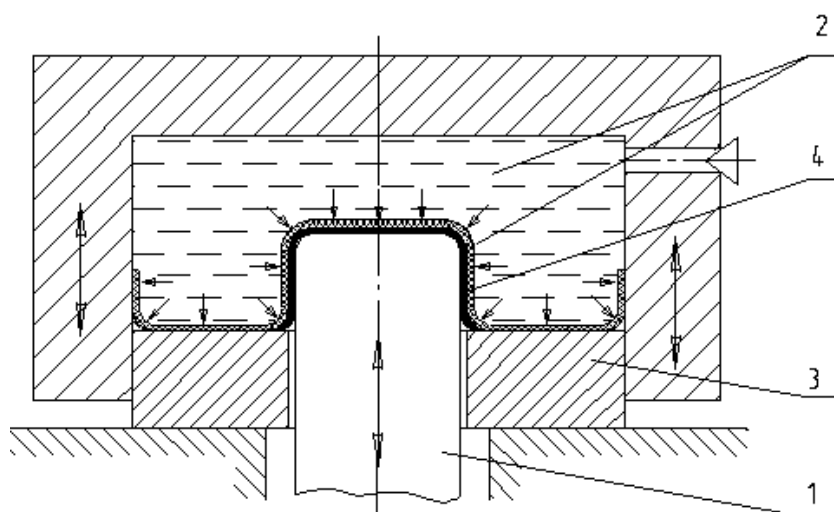


Рис. 2. Технологические схемы вытяжки: а – вытяжка цилиндрических деталей, б – вытяжка сферических и сложной формы деталей, в – вытяжка эластично-жидкостной матрицей; 1 – пуансон, 2 – матрица, 3 – прижим, 4 – заготовка)

3. Вытяжка цилиндрических, коробчатых и сферических деталей эластично-жидкостной матрицей на пуансон (рис. 2, в) производит заталкивание заготовки в очаг деформации и противодействует возникновению опасного сечения. При данной технологической схеме полнее используются пластические свойства металла, предельная глубина вытяжки резко возрастает и составляет  $h = (1,5-1,75)d$ , что недостижимо при первых двух способах вытяжки.

Вытяжку листовых металлов в условиях крупносерийного и массового производства обычно производят в жестких инструментальных штампах на кривошипных прессах двойного и тройного действия, кривошипных прессах простого действия (одноходовых) с пневматическим или гидропневматическим устройством (подушкой), гидравлических прессах, эксцентриковых прессах, а также на листоштамповочных молотах. В условиях мелкосерийного и опытного производства часто применяют штамповку эластичными средами, гидроударную, электрогидроимпульсную и магнитно-импульсную штамповку.

### **Вытяжка в жестких инструментальных штампах**

Рассмотрим типовую конструкцию жесткого инструментального штампа. Обычно такие штампы делаются комбинированными. Сначала вырубается заготовка для формовки-вытяжки, а затем выполняется операция вытяжки-формовки (рис. 3). Обязательными элементами штампа являются нижняя 1 и верхняя 2 плиты. Верхняя плита при помощи хвостовика 3 крепится к прессу. Для обеспечения необходимой соосности перемещения верхней плиты относительно нижней применяют колонки 4 и втулки 5. Характерной особенностью традиционной штамповочной оснастки (инструментального штампа) является наличие двух жестких рабочих инструментов – матрицы 6 и пуансона 7. Такие штампы обычно снабжаются приспособлениями для удаления отхода и съема заготовки (выталкивателями), а также для обеспечения прижима фланцевой части (см. рис. 3). Заготовка из полосового металла и деталь в виде колпачка показаны утолщенной линией. Обычно данные элементы на чертежах штампов не позиционируются.

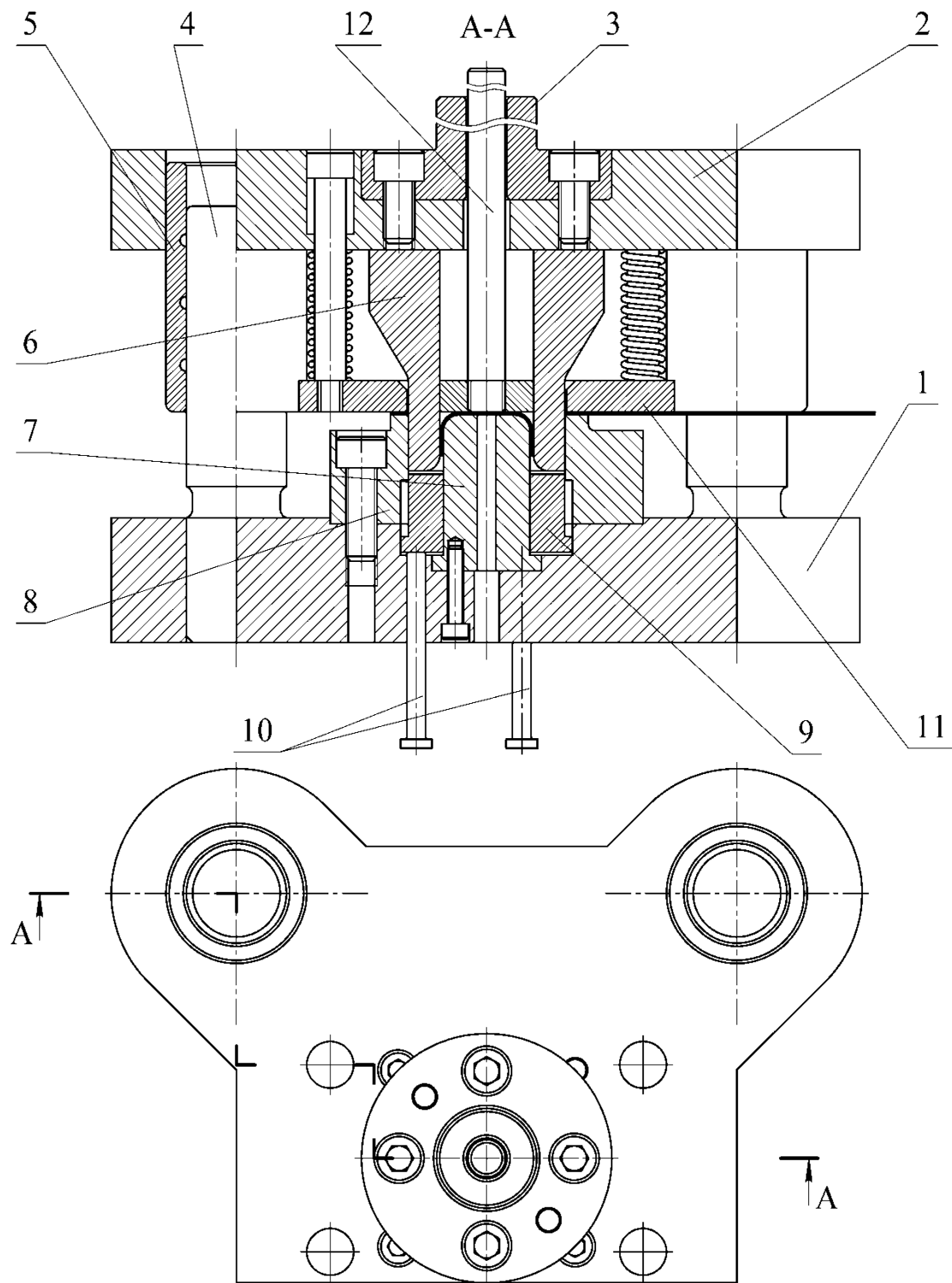


Рис. 3. Схема комбинированного штампа для изготовления детали методом формовки-вытяжки: 1 – плита нижняя, 2 – плита верхняя, 3 – хвостовик, 4 – направляющая колонка, 5 – направляющая втулка, 6 – матрица вытяжная – пуансон вырубной, 7 – вытяжной пуансон, 8 – матрица вырубная, 9, 10 – нижний выталкиватель, 11 – прижим, 12 – верхний выталкиватель

На первой стадии процесса происходит вырубка заготовки при помощи вырубной матрицы 8 и матрицы-пуансона 6, На второй стадии осуществляется однопереходная вытяжка детали пуансоном 7 по матрице 6. Полученная деталь удаляется с пуансона выталкивателями 9, 10, а из матрицы выталкивателем 12. Подпружиненный прижим 11 обеспечивает фиксацию заготовки при вырубке и полученного отхода при вытяжке.

При этом важным является то, что все сопутствующие элементы штампа не являются универсальными и делаются индивидуально для конкретного штампа. При изготовлении деталей такого штампа наибольшей трудоемкостью обладает «подгонка» формы пуансона под форму матрицы. Как правило, такая операция осуществляется вручную, занимает много времени и значительно увеличивает стоимость штампа.

Штамповкой в жестких инструментальных штампах можно получать детали от нескольких миллиметров до нескольких метров. При штамповке сложных по форме точных деталей из листовых материалов толщиной менее 0,2–0,4 мм в конструкциях штампов применяют направляющие втулки и колонки (см. рис. 3), которые часто делаются с применением прецизионных шариковых направляющих.

Каждый экземпляр инструментального штампа предназначен для изготовления конкретной детали и не может быть легко переналажен для изготовления другой детали. Это обстоятельство не имеет существенного значения в крупносерийном и массовом производстве, но часто является определяющим для выбора технологии в условиях мелкосерийного и индивидуального производства. Поэтому при крупносерийном и массовом производстве применение жестких инструментальных штампов экономически оправдано, но в условиях мелкосерийного производства приводит к повышению себестоимости продукции и увеличению сроков подготовки производства.

### **Расчет вытяжки в жестких штампах типовой детали**

Характерной деталью, на примере которой выполняется данный расчет, является цилиндрический стакан, получаемый

вытяжкой из готовой круглой листовой заготовки в общем случае за несколько переходов (рис. 4).

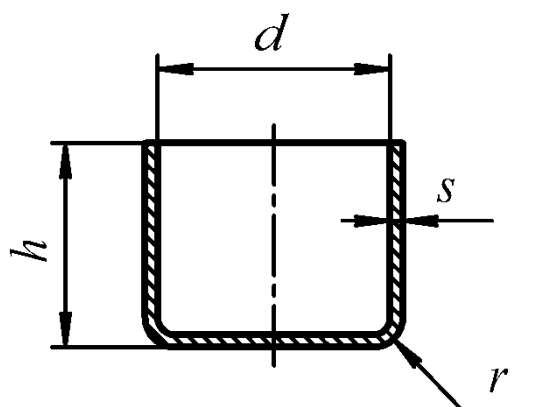


Рис. 4. Эскиз штампуемой детали

Предполагается, что круглая заготовка из листового металла уже изготовлена (вырубкой в инструментальном штампе или другим способом). Поэтому конструкция штампа в данном случае будет проще, чем конструкция, изображенная на рис. 2. Жесткий штампуемый инструмент первой операции вытяжки (рис. 5) состоит из матрицы 1, пуансона 2 и прижимного кольца 3.

Пуансон под действием ползуна прессы оказывает давление на среднюю часть заготовки 4 и втягивает ее в матрицу, образуя боковые стенки вытягиваемого стакана. Периметр заготовки при этом постепенно уменьшается до тех пор, пока ее диаметр станет равным диаметру матрицы.

Кольцевая часть заготовки, лежащая на матрице, может потерять устойчивость, вследствие чего на ней образуются волнообразные складки, которые могут привести штампуемый материал к разрушению. Чтобы этого не произошло, применяют складкодержатель 3, который прижимает заготовку к полости матрицы, предотвращая складкообразование.

Схема жесткого штампуемого инструмента для второй и последующих операций вытяжки показана на рис. 6. Жесткий штампуемый инструмент состоит из матрицы 1, пуансона 2 и прижима 3. Последний перед вытяжкой входит внутрь полуфабриката 4, прижимает его деформируемую зону к рабочей кромке матрицы и предохраняет стенки детали от складкообразования.

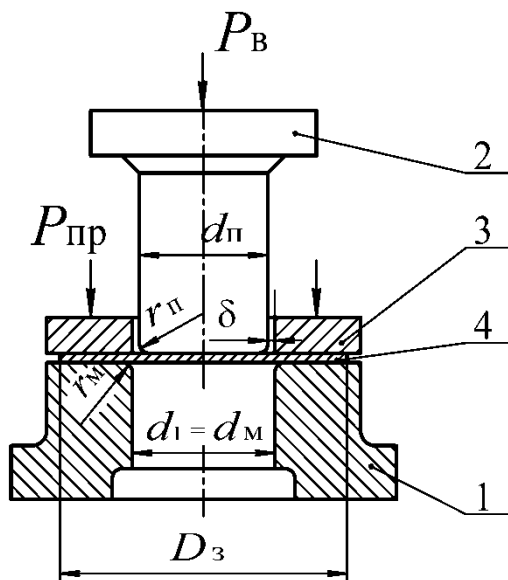


Рис. 5. Конструктивная схема жесткого штампующего инструмента для первой операции вытяжки

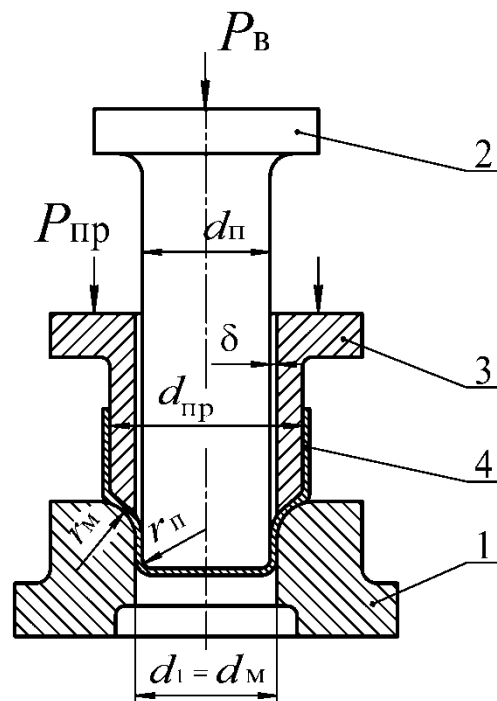


Рис. 6. Конструктивная схема штампа для второй и последующих операций вытяжки

При вытяжке материал заготовки, находящийся между прижимом и матрицей, утолщается, а в зоне перехода от дна к стенкам детали претерпевает утонение. Эта зона является опасной: при неблагоприятном сочетании параметров вытяжки в ней может произойти разрушение материала (отрыв дна).

Наружный диаметр стакана при первой и последующих операциях вытяжки равен диаметру очка матрицы.

Степень деформации материала при вытяжке характеризуется коэффициентом вытяжки  $m$ . Для первой операции вытяжки коэффициент вытяжки равен

$$m_1 = d_1/D_3, \quad (1)$$

для второй операции

$$m_2 = d_2/d_1. \quad (2)$$

Для последующих операций

$$m_n = d_n/d_{n-1}, \quad (3)$$

где  $D_3$  – диаметр плоской заготовки;  $d_1$  – диаметр детали, полученной после первой вытяжки;  $d_n$  – диаметр детали, полученной после  $n$ -ой вытяжки.

Чем меньше абсолютное значение  $m$ , тем большую деформацию претерпевает материал. Коэффициенты  $m$ , при которых вытяжка происходит с наиболее полным использованием пластических свойств материала, но без его разрушения, являются предельно допустимыми (оптимальными).

Предельно допустимые коэффициенты  $m$  зависят от механических свойств штампуемого материала, толщины заготовки  $s$ , радиусов  $r_m$  и  $r_n$  закругления вытяжных кромок соответственно матрицы и пуансона.

Пользуясь предельно допустимыми коэффициентами вытяжки и формулами (1), (2) и (3), можно рассчитать количество операций, необходимых для вытяжки детали и ее пооперационные размеры.

Значительное влияние на процесс вытяжки оказывают радиусы закругления рабочих кромок матрицы и пуансона. С их увеличением снижаются напряжения в штампуемом материале и усилие вытяжки, уменьшается утонение стенок деталей и коэффициент вытяжки, но вместе с тем появляется опасность складкообразования, снижается качество поверхности стенок. Влияют на процесс вытяжки также зазоры между матрицей и пуансоном. С увеличением зазоров снижаются напряжения в штампуемом материале и его утонение, но появляется опасность затягивания в зазор образовавшихся при вытяжке складок, что ухудшает качество деталей. В связи с этим при расчетах параметров вытяжки определение оптимальных радиусов и зазоров является одной из основных задач.

Существенное значение при разработке технологических процессов вытяжки имеет также определение размеров плоской заготовки, расчет усилий вытяжки  $P_v$  и прижима  $P_{пр}$ .

## Содержание работы

Рассчитать параметры вытяжки цилиндрической детали из плоской заготовки. Размеры детали взять из табл. 1 (варианты задания выдаются преподавателем). Необходимо выполнить следующее:

1) нарисовать эскиз детали с размерами и указанием припуска на обрезку;



- 2) рассчитать диаметр заготовки;
- 3) найти необходимое количество операций вытяжки и рассчитать пооперационные размеры (диаметры) детали;
- 4) вычертить совмещенный пооперационный эскиз детали с простановкой диаметров;
- 5) определить оптимальную величину зазора между матрицей и пуансоном для всех операций вытяжки;
- 6) определить оптимальные размеры радиусов закругления рабочих кромок матриц и пуансонов;
- 7) выяснить необходимость в складкодержателе (прижиме) для первой операции вытяжки;
- 8) выполнить эскиз рабочих частей штампа первой операции (матрицы, пуансона и прижима) с простановкой основных размеров;
- 9) определить усилие вытяжки для всех операций, а для первой операции, кроме того, усилие прижима и общее усилие прессы.

Таблица 1

**Характеристики детали для вариантов расчетного задания**

Вариант задания	$h$ , мм	$d$ , мм	$r$ , мм	$s$ , мм	Материал
1	27	41	6	0,8	Сталь 10
2	26	47	7	1,0	С30ХГСА
3	27	37	4	1,2	Л68
4	30	47	7	1,4	АМцМ
5	32	44	6	2,0	АМгАМ
6	24	34	4	1,5	Д16АМ
7	26	37	5	1,2	Сталь 08
8	32	39	3	0,8	Сталь 10
9	29	48	6	0,8	Д16АМ
10	51	55	5	1,0	Л63
11	36	56	4	1,2	АМцАМ
12	41	67	7	1,4	АМгАМ
13	41	60	5	2,0	Д16АМ
14	49	51	3	1,5	АМгАМ
15	55	60	5	2,0	Сталь 10

## Порядок выполнения расчетов

**1. Определение размеров заготовки.** Размер заготовок при вытяжке без утонения стенок достаточно точно можно определить из условия равенства поверхностей заготовки и готовой детали с учетом припуска на обрезку.

Для цилиндрических деталей диаметр заготовки рассчитывается по формуле

$$D_{\zeta} = \sqrt{d^2 + 4d(h + \Delta h) - 1,72rd - 0,56r^2}, \quad (4)$$

где  $d$  – диаметр детали (наружный), мм;  $h$  – высота детали, мм;  $r$  – радиус сопряжения стенки с дном (наружный), мм;  $\Delta h$  – припуск на обрезку, мм.

Припуск на обрезку рассчитывается по формуле

$$\Delta h = (0,75 + 0,4 \frac{h}{d})(1 + 0,02h), \text{ мм.} \quad (5)$$

Найденный по формуле (4) диаметр округляется с точностью до 0,5 мм в сторону увеличения. Аналогично для величины припуска, найденного по формуле (5).

**2. Расчет количества операций вытяжки и операционных размеров деталей.** Операционные размеры детали при вытяжке находятся по формулам

$$d_1 = m_1 D_3, \quad (6)$$

для второй операции

$$d_2 = m_2 d_1, \quad (7)$$

для последующих операций

$$d_n = m_n d_{n-1}. \quad (8)$$

Если в результате расчета получим  $d \geq d_1$ , ( $d$  – заданный диаметр детали по чертежу), то вытяжка детали будет осуществляться в одну операцию, при следующих соотношениях

$d_1 > d \geq d_2$  – в две операции;

$d_2 > d \geq d_3$  – в три операции;

$d_{n-1} > d \geq d_n$  – в  $n$  операций.

Диаметр последней вытяжки должен быть равен диаметру заданной детали. По результатам расчета вычерчивается совмещенный эскиз операционной вытяжки (рис. 7).

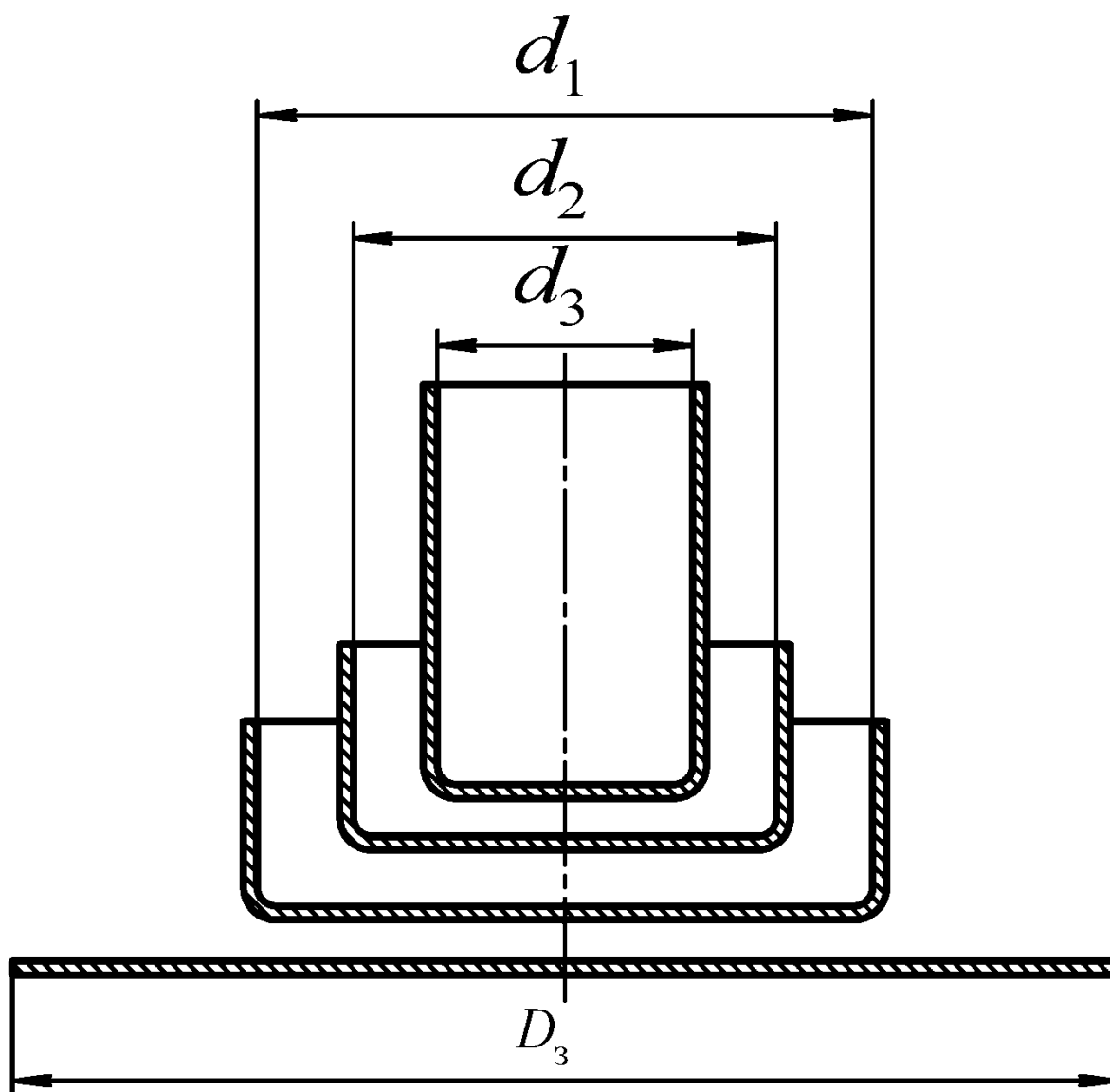


Рис. 7. Совмещенный эскиз операций вытяжки

Для расчета пооперационных диаметров детали по формулам (6), (7) и (8) пользуются экспериментальными коэффициентами вытяжки  $m_1, m_2, \dots, m_n$ , найденными в зависимости от марки штампуемого материала, его толщины и диаметра заготовки при оптимальных размерах радиусов закругления рабочих кромок штампа и зазоров между пуансоном и матрицей. Коэффициенты вытяжки приведены в табл. 2.

## Коэффициенты вытяжки

Материал	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$m_4$	$m_5$
Сталь 08	0,47–0,60	0,74–0,80	0,76–0,82	0,78–0,85	0,80–0,87
Сталь 10, 20	0,53–0,67	0,77–0,84	0,80–0,86	0,82–0,88	0,84–0,90
Сталь 30ХГСА	0,65–0,80	0,90–0,97	0,93–0,98	0,94–0,99	0,95–0,99
Латунь Л68; Л63	0,44–0,51	0,63–0,67	0,65–0,68	0,66–0,69	0,68–0,71
Алюминиевый сплав АМцМ	0,46–0,58	0,70–0,77	0,73–0,79	0,74–0,80	0,76–0,82
Алюминиевый сплав АМГАМ	0,47–0,59	0,72–0,79	0,75–0,81	0,76–0,83	0,78–0,84
Дюралюмин Д16АМ	0,62–0,78	0,89–0,96	0,92–0,97	0,93–0,98	0,95–0,99

Большие значения приведенных коэффициентов вытяжки соответствуют относительной толщине материала  $100(s/D_3) = 0,1$ , меньшие значения  $100(s/D_3) = 2,0$ .

Коэффициенты вытяжки для промежуточных значений относительной толщины определяют способом интерполирования. Так, например, для стали 08 при относительной толщине материала  $100(s/D_3) = 1,0$  коэффициент вытяжки для первой операции определится из соотношения

$$\frac{0,60 - 0,47}{2,0 - 0,1} = \frac{m_1 - 0,47}{2,0 - 1,0},$$

откуда

$$m_1 = \frac{(0,60 - 0,47)(2,0 - 1,0)}{2,0 - 0,1} + 0,47 \cong 0,54.$$

В том случае, если для вытяжки заданной детали потребуются больше пяти операций, значения коэффициента вытяжки для шестой и последующих операций будут равными  $m_5$ .

Диаметры, найденные по формулам (6), (7) и (8), округляются в сторону увеличения с точностью до 0,5 мм.

**3. Расчет зазоров и определение размеров рабочих частей матрицы и пуансона.** Оптимальную величину одностороннего зазора  $z$  (см. рис. 3 и 4) находят в зависимости от толщины штам-

пуюемого материала и необходимой точности штампуемых деталей по формуле

$$z = s + k_z(s + 1), \quad (9)$$

Коэффициент  $k_z$  зависит от порядкового номера операции вытяжки. Для первой вытяжки величина коэффициента берется  $k_z \approx 0,1$ , для промежуточной вытяжки  $k_z \approx 0,15$ , а для последней вытяжки  $k_z = 0$ .

Величины зазоров, найденные по формуле (9), округляются в сторону увеличения с точностью до десятых долей миллиметра.

Диаметр матрицы штампа для первой операции вытяжки берут равным диаметру первой вытяжки  $d_1$ . Диаметр пуансона находят по формуле

$$d_{\text{п}} = d_{\text{м}} - 2\delta.$$

**4. Расчет радиусов закругления рабочих кромок матрицы и пуансона.** Оптимальную величину радиуса закругления рабочих кромок матрицы  $r_{\text{м}}$  (рис. 5 и рис. 6) определяют в зависимости от коэффициента вытяжки  $m$  и относительной толщины заготовки  $100(s/D_3)$  по формуле

$$r_{\text{м}} = 15s(1 - 30 \frac{s}{D_3}), \text{ мм.}$$

Радиус закругления рабочей кромки пуансона  $r_{\text{п}}$  при первой операции вытяжки (рис. 4) определяют, исходя из следующих соображений:

$$\text{при } 100(s/D_3) > 0,5, \quad r_{\text{п}} = r_{\text{м}};$$

$$\text{при } 100(s/D_3) = 0,2 \div 0,5, \quad r_{\text{п}} = 1,52r_{\text{м}};$$

$$\text{при } 100(s/D_3) < 0,2, \quad r_{\text{п}} = 2,2r_{\text{м}}.$$

Для промежуточных операций вытяжки значение  $r_{\text{п}}$  рекомендуется рассчитывать по формуле

$$r_{\text{п}} = \frac{d_{\text{п}}}{2} \left( \frac{1}{m_{\text{п}}} - 1,0 \right).$$

**5. Определение необходимости в складкодержателе (прижиме) для первой операции вытяжки.** Потеря устойчивости фланца плоской заготовки при вытяжке зависит от предельного коэффициента вытяжки ( $m_{\text{пред}}$ ), относительной толщины за-

готовки  $100(s/D_3)$  и геометрических параметров вытяжной матрицы. При определенных значениях этих показателей возможна вытяжка без прижима. Для цилиндрических деталей такая возможность обуславливается соотношением

$$100(s/D_3) \geq 4,5(1 - m).$$

В том случае, если

$$100(s/D_3) < 4,5(1 - m),$$

вытяжку необходимо производить с прижимом заготовки.

**6. Расчет усилия вытяжки и усилия прижима.** Усилие вытяжки определяют по инженерным формулам, исходя из того положения, что допустимые напряжения в опасном сечении должны быть меньше разрушающих напряжений.

Для цилиндрических деталей усилие для первой операции вытяжки рекомендуется рассчитывать по формуле

$$P_1 = \pi d_1 s \sigma_B k_1.$$

Для второй и последующих операций усилие определяется по формуле

$$P_n = \pi d_n s \sigma_B k_2.$$

Коэффициенты  $k_1$  и  $k_2$  зависят от относительной толщины штампуемого материала и коэффициента вытяжки. Их ориентировочные значения приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Коэффициенты для определения усилий вытяжки**

Относительная толщина материала $100(s/D_3)$	$k_1$	$k_2$
5,0	0,75–0,28	0,85–0,15
2,0	0,90–0,35	1,00–0,20
1,2	1,00–0,37	1,10–0,25
0,8	1,10–0,40	1,20–0,27
0,5	1,20–0,45	1,30–0,30
0,2	1,30–0,50	1,40–0,33
0,1	1,40–0,60	1,50–0,40

Большие значения  $k_1$  соответствуют коэффициенту вытяжки  $m_1 = 0,5$ , меньшие  $m_1 = 0,75$ . Большие значения коэффициентов  $k_2$

соответствуют коэффициенту вытяжки  $m_n = 0,7$ , меньшие –  $m_n = 0,9$ . Для промежуточных значений  $m_1$  и  $m_n$  коэффициенты  $k_1$  и  $k_2$  определяют способом интерполирования.

Значения  $\sigma_B$  для некоторых листовых материалов приведены в табл. 4.

Таблица 4

#### Пределы прочности некоторых листовых материалов

Марка металла или сплава	$\sigma_B$ , МПа
Сталь 08	330
Сталь 10	340
Сталь 30ХГСА	700
Латунь Л63; Л68	300
Алюминиевый сплав АМцМ	120
Алюминиевый сплав АМГАМ	200
Дюралюминий Д16АМ	220

Усилие прижима определяется по формуле

$$Q = Fq, \text{ Н,}$$

где  $F$  – площадь заготовки, находящаяся под прижимом,  $\text{мм}^2$ ;  $q$  – давление прижима, Па.

Для цилиндрических деталей при первой вытяжке

$$F = \frac{\pi}{4} [D_3^2 - (d_1 + 2r_M)^2].$$

Значения давлений прижима для некоторых материалов приведены в табл. 5.

Таблица 5

#### Давление прижима

Марка металла или сплава	$q$ , МПа
Сталь 08	2,3
Сталь 10	2,8
Сталь 30ХГСА	4,7
Латунь Л63, Л68	1,8
Алюминиевый сплав АМцМ	1,0
Алюминиевый сплав АМГАМ	1,5
Дюралюминий Д16АМ	2,0

Полное усилие для первой операции вытяжки при штамповке на прессах простого действия определяется по формуле

$$P_{\text{полн}} = P_1 + Q.$$

### Контрольные вопросы

1. Какое влияние оказывает на процесс штамповки коэффициент вытяжки  $m$ ? Какие факторы влияют на предельно допустимое значение коэффициента  $m$ ?
2. Какое влияние оказывает на процесс штамповки и качество деталей величина радиуса закругления рабочего ребра матрицы и пуансона?
3. Какое влияние оказывает на процесс штамповки и качество деталей величина зазора между матрицей и пуансоном?
4. Какие принципы положены в основу определения размеров заготовки при вытяжке?
5. Для чего применяется прижим заготовки при вытяжке? При каких условиях возможна вытяжка без прижима?
6. Как рассчитывается усилие вытяжки и усилие прижима?

## 2. ГИБКА

### Сущность процесса гибки

Сущность процесса гибки в штампах состоит в том, что заготовка под давлением рабочих частей штампа изгибается и принимает их форму. По принципу действия гибочные штампы разделяются на штампы без прижима и штампы с прижимом. В штампах без прижима (рис. 8, *а*) окончательное оформление детали между пуансоном и матрицей происходит лишь в конце хода. В штампах с прижимом (рис. 8, *б, в*) часть заготовки зажимается между пуансоном и подвижным прижимом до начала гибки и в таком состоянии доходит до конечного положения. Незажатые части подвергаются изгибу в течение всего хода пуансона и также приобретают окончательную форму в конце хода.

По форме штампуемой детали различают штампы, образующие один угол, и штампы образующие два и более углов. Первый тип может быть без прижима или с прижимом, а для второго типа прижим обязателен.



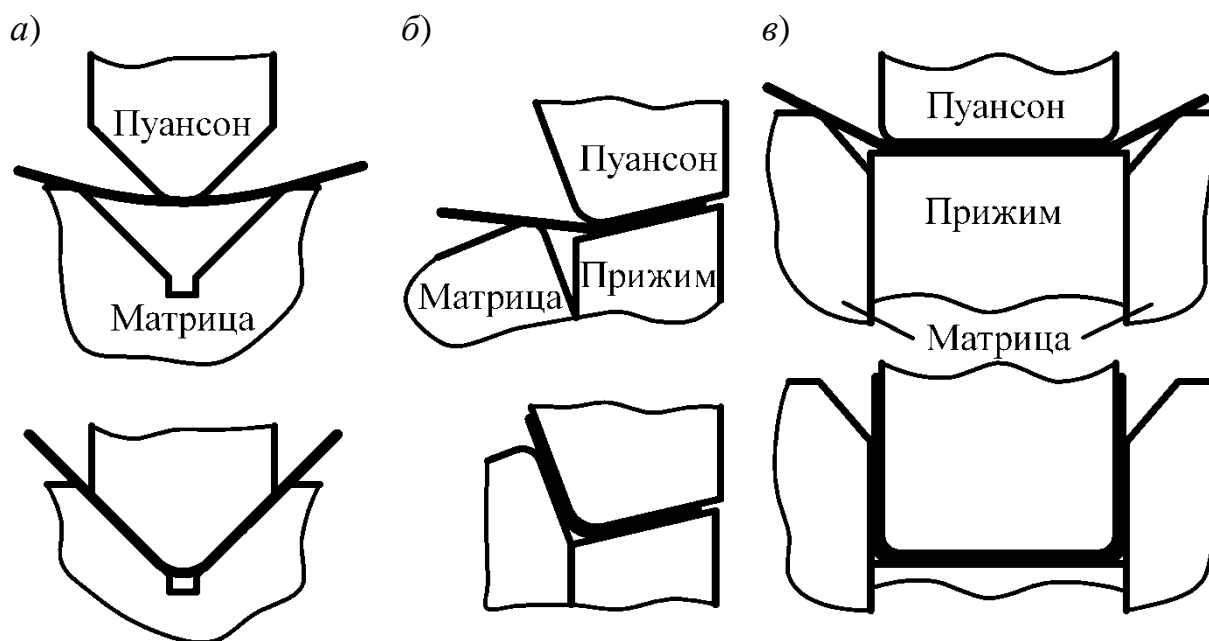


Рис. 8. Схемы процесса гибки в штампах: *а* – одноугловой, открытой; *б* – одноугловой с прижимом; *в* – двухугловой с прижимом

При гибке без прижима (см. рис. 8, *а*) заготовка имеет возможность смещаться относительно инструмента вправо или влево, и поэтому точность будет небольшой. Прижим (см. рис. 8, *б*, *в*) не дает заготовке смещаться, что увеличивает точность изготовления детали.

Конструкция простого одноуглового гибочного штампа представлена на рис. 9. Штамп состоит из нижней 1 и верхней 2 плит, на которых крепятся остальные элементы. Фланцевый хвостовик 3 служит для крепления с верхней подвижной частью прессы. Штамп имеет пару направляющих втулок 4 и колонок 5 для обеспечения соосности перемещения верхней плиты относительно нижней. На верхней плите крепится пуансон 6, а на нижней матрица 7. При штамповке заготовка укладывается в фиксатор 8, а ее перемещение ограничивается упором 9. Штамп снабжен выталкивателем 10, 11 от пневматического буфера, который служит для удаления заготовки из зоны штамповки. Сверху изображен эскиз штампуемой детали.

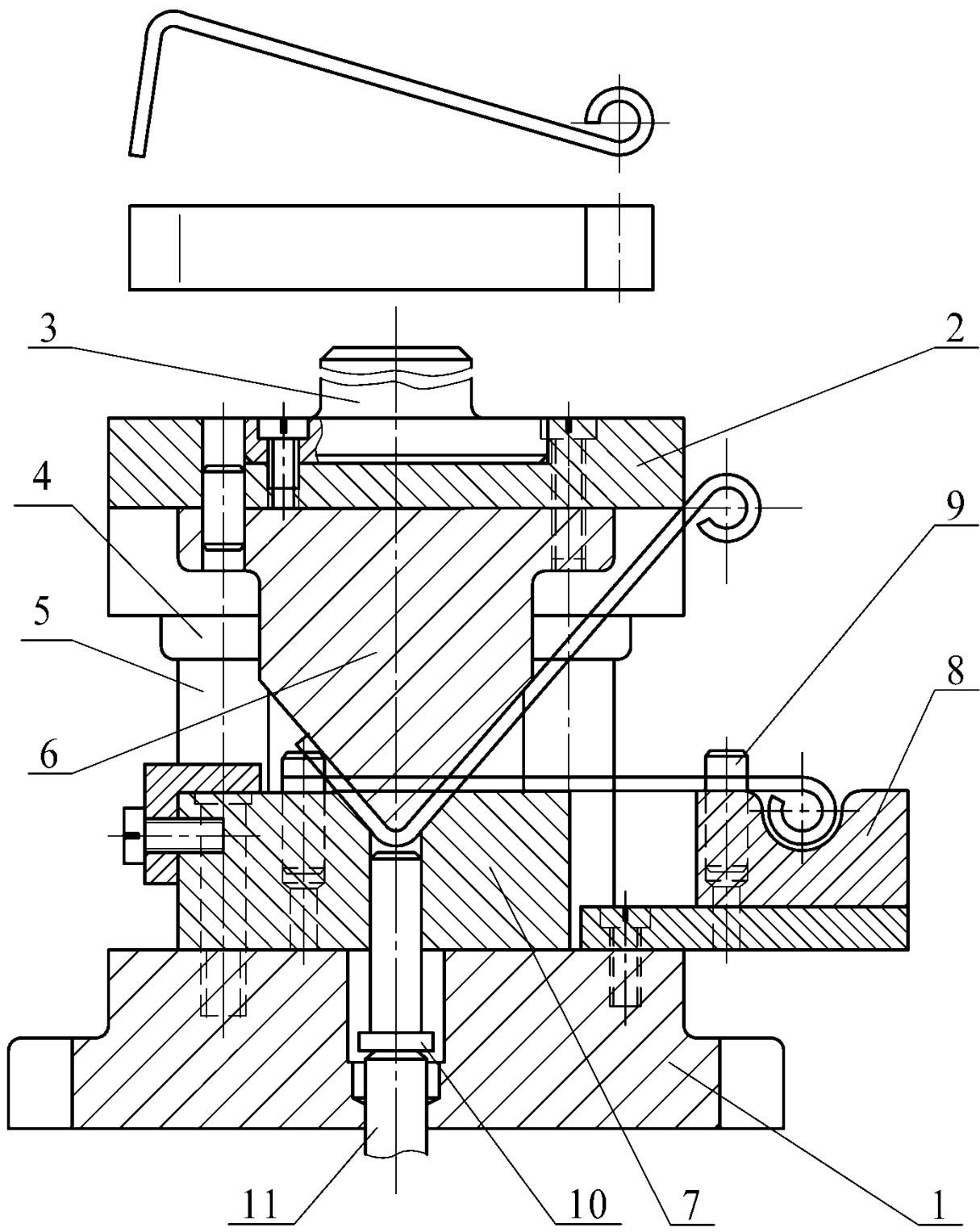


Рис. 9. Одноугловой гибочный штамп

Гибка листового металла осуществляется в результате упруго-пластической деформации, протекающей различно с каждой из сторон изгибаемой заготовки (рис. 10).

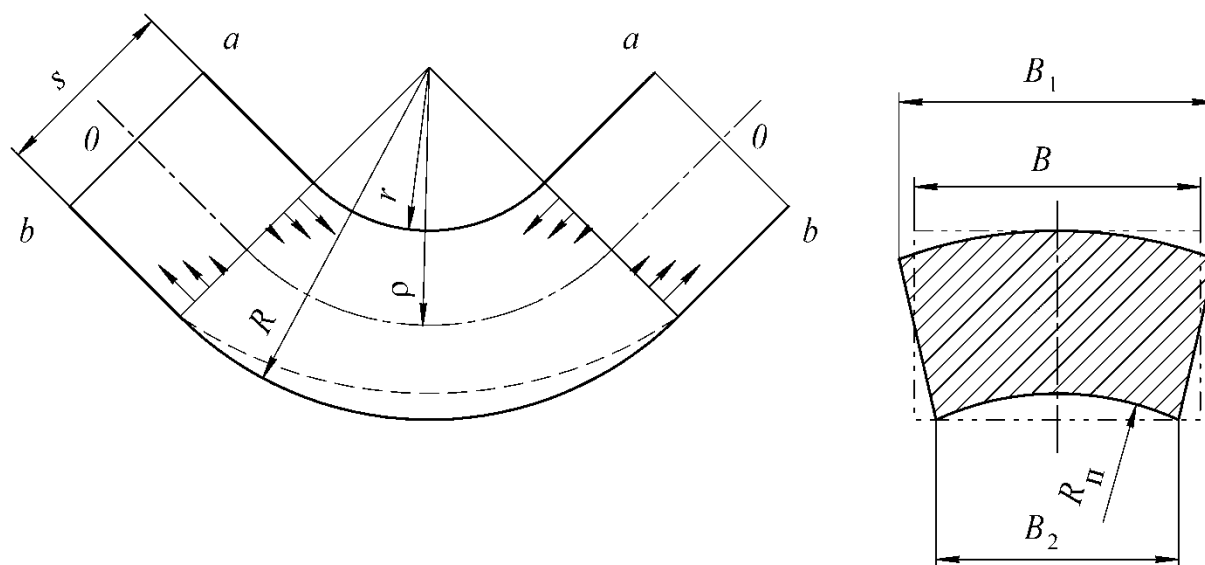


Рис. 10. Схема процесса гибки

Слои металла внутри угла изгиба  $aa$  (со стороны пуансона) сжимаются и укорачиваются в продольном и растягиваются в поперечном направлении. Наружные слои  $bb$  (со стороны матрицы) растягиваются и удлиняются в продольном и сжимаются в поперечном направлении. Между удлиненными и укороченными слоями (волокнами) находится нейтральный слой  $OO$ , длина которого равна первоначальной длине заготовки.

При гибке узких полос, имеющих незначительную ширину  $B$  относительно толщины  $s$  происходит искажение поперечного сечения. Ширина  $B_1$  заготовки вблизи внутренней поверхности загибаемого угла увеличивается ( $B_1 > B$ ), а ширина  $B_2$  вблизи наружной поверхности уменьшается ( $B_2 < B$ ), образуется поперечная кривизна с радиусом  $R_{\text{п}}$ . В результате утонения материала и искажения формы поперечного сечения нейтральный слой в месте изгиба не проходит посередине сечения, а смещается в сторону малого радиуса. Если искажение формы недопустимо, то нужно предусмотреть последующую механическую обработку.

При гибке широких полос и листов также происходит утонение материала, но почти без искажения поперечного сечения, так как деформации в поперечном направлении противодействует

сопротивление материала большой ширины, Лишь по краям широких полос происходит деформация, аналогичная поперечной деформации узких полос.

В большинстве случаев гибка происходит при большой величине деформаций, когда в металле кроме продольных растягивающих и сжимающих напряжений образуются радиальные напряжения сжатия, которые возникают в результате давления крайних слоев металла на внутренние и достигают наибольшей величины у нейтрального слоя.

### Пример разработки типового технологического процесса получения гнутой заготовки

**Техническое задание.** Требуется спроектировать процесс и рассчитать параметры гибки детали «Скоба» из материала сталь 45. Деталь «Скоба» (см. рис. 11) представляет собой планку постоянной толщины с двумя простыми изгибами и может быть получена методом гибки из листового материала.

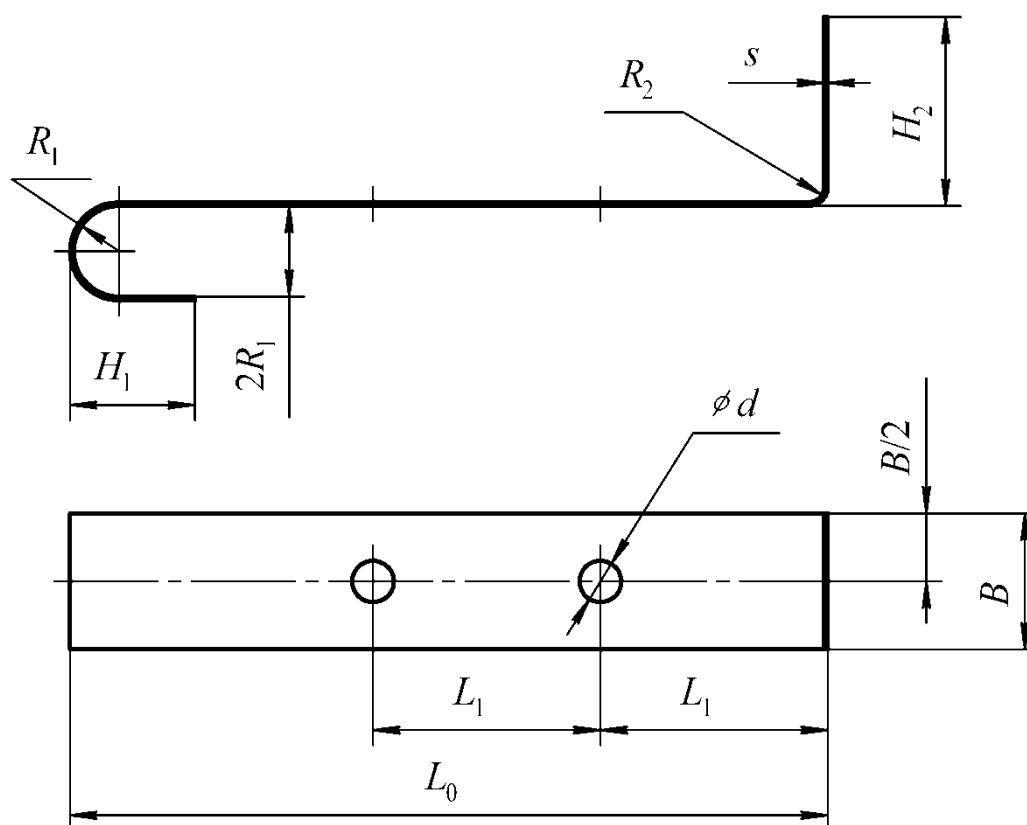


Рис. 11. Эскиз детали

Для примера расчета приняты следующие размеры детали:  $L_0 = 100$  мм,  $L_1 = 30$  мм,  $d = 5,5$  мм,  $R_1 = 6$  мм,  $R_2 = 2$  мм,  $H_1 = 16,5$  мм,  $H_2 = 25$  мм,  $s = 0,5$  мм,  $B = 18$  мм.

**1. Расчет длины заготовки.** Заготовка разбивается на отдельные простые элементы: прямые и дуги, как показано на рис. 12.

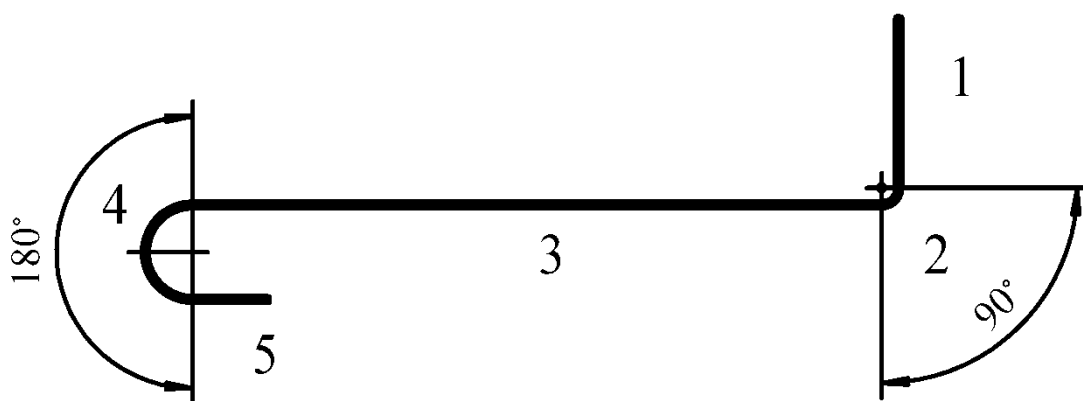


Рис. 12. Расчет длины заготовки.

Длина развернутой заготовки вычисляется как сумма длин отдельных элементов 1–5

$$L = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5.$$

Отдельные слагаемые определяются следующим образом. Размеры прямолинейных участков 1, 3 и 5 определяются из чертежа детали

$$l_1 = 22,5 \text{ мм}; \quad l_3 = 91 \text{ мм}; \quad l_5 = 10 \text{ мм}.$$

Определение размеров плоской заготовки на радиусных участках основано на равенстве длины заготовки длине нейтрального слоя изогнутой детали, которая зависит от относительного радиуса изгиба  $r/s$ . На участке 2 длина нейтрального слоя определяется по формуле

$$l_2 = \frac{\pi r}{180} (R_2 + xs).$$

Зададим согласно эскизу детали (см. рис. 11) угол изогнутого участка  $\varphi = 90^\circ$ , радиус закругления  $R_2 = 2$  мм, толщину материала  $s = 0,5$  мм. Коэффициент, определяющий смещение нейтрального слоя, для мягких сталей находится по данным табл. 6.

**Коэффициент смещения нейтрального слоя**

$r/s$	$x$	$r/s$	$x$	$r/s$	$x$	$r/s$	$x$
0,05	0,27	0,50	0,38	1,20	0,43	3,0	0,47
0,1	0,30	0,60	0,39	1,5	0,44	4,0	0,47
0,15	0,32	0,70	0,40	1,8	0,45	5,0	0,48
0,25	0,35	0,80	0,41	2,0	0,45	7,0	0,49
0,40	0,37	1,00	0,42	2,5	0,46	10,0	0,50

Для  $r/s = 4$  получаем величину  $x = 0,47$ . В итоге находим длину 2-го участка

$$l_2 = \frac{\pi \cdot 90}{180} (2 + 0,47 \cdot 0,5) \cong 3,51, \text{ мм.}$$

Аналогично определяем длину 4-го участка

$$l_4 = \frac{\pi \cdot 180}{180} (R_4 + xs) = \frac{\pi \cdot 180}{180} (6 + 0,47 \cdot 0,5) \cong 19,58, \text{ мм.}$$

Длина развернутой заготовки будет равна

$$L = 22,5 + 3,51 + 91 + 19,58 + 10 \cong 146,6, \text{ мм.}$$

**2. Проверка допустимости радиуса гибки.** Если взять относительный радиус изгиба  $r/s$  меньше критического значения, то возможно разрушение заготовки в виде трещин на наружной поверхностигиба. Минимальный радиус изгиба зависит от марки материала, состояния поставки и соотношения направления линии сгиба и направления проката. Для наиболее широко применяемых для гибки листовых металлов величина минимального радиуса гибки приведена в табл. 7.

Таблица 7

**Минимальные относительные радиусы гибки  $r/s$** 

Материал	В отожженном или нормализованном состоянии		В наклепанном состоянии	
	Расположение линии сгиба			
	Поперек проката	Вдоль проката	Поперек проката	Вдоль проката
Алюминий	0	0,3	0,3	0,8
Медь отожженная	0	0,3	1,0	2,0
Латунь Л68	0	0,3	0,4	0,8
Стали 05–08кп	0	0,3	0,2	0,5
Стали 08–10, Ст1, Ст2	0	0,4	0,4	0,8
Стали 15–20, Ст3	0,1	0,5	0,5	1,0
Стали 25–30, Ст4	0,2	0,6	0,6	1,2
Стали 35–40, Ст5	0,3	0,8	0,8	1,5
Стали 45–50, Ст6	0,5	1,0	1,0	1,7
Стали 55–60, Ст7	0,7	1,3	1,3	2,0
Сталь X18H9T	1,0	2,0	3,0	4,0
Дуралюмин	1,0	1,5	1,5	2,5

По данным табл. 7 для стали 45 в наклепанном состоянии вдоль волокон проката (т.е. в наихудшем случае) выбираем минимальный относительный радиус изгиба 1,7. Отсюда получаем минимальный допустимый радиус для данной детали:

$$R_{min} = 1,7s = 1,7 \cdot 0,5 = 0,85, \text{ мм.}$$

Полученный радиус меньше минимального радиуса изгиба для рассчитываемой детали, равного 2 мм.

**3. Расчет упругого пружинения.** Гибка характеризуется упруго-пластической деформацией. Необратимой является только пластическая деформация. После окончания гибки за счет упругого пружинения заготовка изменяет размеры. Чтобы скорректировать изменение размеров, корректируют размеры штампа на соответствующий угол пружинения. Для участка 2 односторонний угол пружинения  $\beta$  находится по формуле

$$tg\beta = 0,375 \frac{l}{k_s} \cdot \frac{\sigma_{s0}}{E},$$

где плечо гибки  $l = 6$  мм, коэффициент, определяющий положение нейтральной линии  $k = 1 - x = 1 - 0,47 = 0,53$ . Напряжение текучести  $\sigma_{s0}$  и модуль Юнга  $E$  выбираются по данным табл. 8.

Таблица 8

### Механические свойства некоторых материалов

Материал	Напряжение текучести, $\sigma_{s0}$ , МПа	Предел прочности, $\sigma_B$ , МПа	Модуль Юнга, $E$ , ГПа
Алюминий	60	100	70
Медь отожженная	80	250	112
Латунь Л68	120	320	120
Сталь 08кп	300	400	200
Сталь 10	300	370	200
Сталь 20	380	470	200
Сталь 30	292	550	200
Сталь 35	312	570	200
Сталь 40	350	600	200
Сталь 45	366	610	200
Сталь 50	400	680	200
Сталь 55	410	700	200
Сталь 60	420	750	200
Сталь Х18Н9Т	450	650	210
Дуралюмин	120	450	75

Для стали 45 напряжение текучести  $\sigma_{s0} = 366$  МПа, модуль Юнга  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа,

$$tg\beta = 0,375 \frac{6}{0,53 \cdot 0,5} \cdot \frac{366}{2 \cdot 10^5} \cong 0,016 \Rightarrow \beta \cong 0,9^\circ.$$

При гибке с большими радиусами закруглений или при U-образной гибке необходимо определить не угловое пружинение, а упругое изменение радиуса после гибки. По заданному чертежом отношению для участка 4 определяется остаточная деформация крайних волокон соотношением



$$\varepsilon_0 = \frac{1}{2r/S + 1} = \frac{1}{2 \cdot 6/0,5 + 1} \cong 0,04.$$

Затем по диаграмме растяжения данного материала определяется упругая деформация. Можно примерно считать, что упругая деформация  $\varepsilon_{\text{упр}} \approx 0,002$ . Величина общей деформации находится как сумма деформаций

$$\varepsilon_{\text{полн}} = 0,04 + 0,002 = 0,042.$$

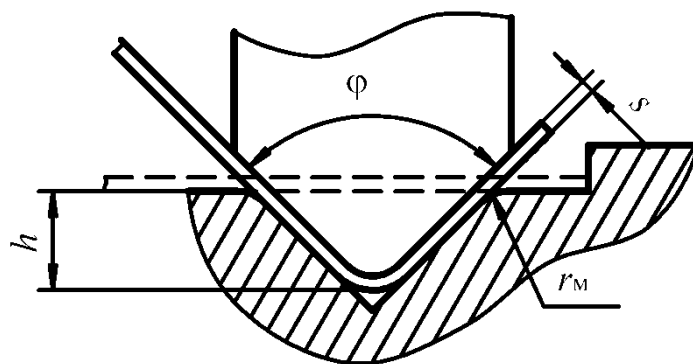
Уменьшенный радиус при гибке определяем величиной  $r = 0,5s(1/\varepsilon_{\text{полн}} - 1) = 0,5 \cdot 0,5 (1/0,042 - 1) \approx 5,70$ , мм.

**4. Определение последовательности переходов при изготовлении детали.** В условиях серийного производства целесообразно осуществлять изготовление данной детали не в комбинированном сложном штампе, а используя отдельную оснастку для каждого перехода. Оптимальной последовательностью операций будет следующая:

1. Правка листа на правильных валках.
2. Резка листа на полосы шириной 18 мм и резка полос на отдельные части длиной 146,6 мм с помощью гильотинных ножниц. Схема раскроя листа вследствие невысокой серийности производства и безразличности к направлению прокатки выбирается рабочим исходя из удобства.
3. Гибка участка 2: радиус гибки  $R_2 = 2$  мм, угол гибки  $\varphi_2 = 90^\circ - 0,9^\circ = 89,1^\circ$ .
4. Гибка участка 4: радиус гибки  $R_4 = 5,70$  мм, угол гибки  $\varphi_4 = 180^\circ$ .
5. Пробивка отверстий, которую оптимально осуществлять в конце для предотвращения смещения отверстий по длине заготовки вследствие неточности позиционирования при гибке.

Схемы применяемых гибочных процессов показаны на рис. 13.

а)



б)

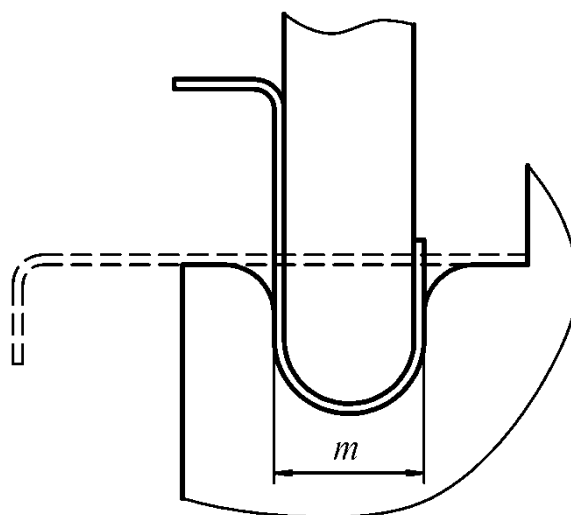


Рис. 13. Схемы гибочных штампов:  
а – одноугловая гибка, б – U-образная гибка

**5. Определение рабочих размеров инструмента.** К конструктивно-технологическим элементам относятся: зазоры, радиусы закругления матриц и другие элементы рабочих частей штампа. Выбор этих элементов осуществляется согласно данным табл. 9.

Таблица 9

**Конструктивные размеры гибочных штампов**

Размеры	Толщина материала, мм				
	До 1	1–2	2–3	3–4	4–5
$r_M$	3	5	7	9	10
$h$	4	7	11	15	18

Согласно табл. 9 определяем  $h = 4$  мм,  $r_m = 3$  мм. Величина угла равна  $\varphi = 89,1^\circ$ . При U-образной гибке:  $m = 2r = 2 \cdot 5,7 = 11,4$  мм.

**6. Выбор оборудования.** Расчет усилия гибки для участка 2 – одноуголовая гибка без калибровки:

$$P_1 = \frac{Bs^2}{r+s} \sigma_a,$$

где  $B = 18$  мм – ширина полосы;  $\sigma_B$  – предел прочности, для стали 45  $\sigma_B = 610$  МПа,

$$P_1 = \frac{18 \cdot 0,5^2}{2 + 0,5} 610 = 1096 \text{ Ё} .$$

Расчет усилия гибки для участка 4 – U-образной гибки без калибровки

$$P_2 = Bs\sigma_a k_1,$$

где величина коэффициента  $k_1$  определяется по данным табл. 10.

Таблица 10

Значение коэффициента  $k_1$

Материалы	Коэффициент $k_1$ в зависимости от отношения $l/s$				
	8	10	15	20	25
Стали 10–15, латунь, алюминий	0,23	0,18	0,12	0,09	0,06
Стали 20–25	0,21	0,17	0,11	0,086	0,07
Стали 30–50, дуралюмин	0,20	0,16	0,10	0,08	0,065

Величина плеча гибки определяется по формуле

$$l = r + 1,2s = 6,6 \text{ мм}.$$

Тогда по отношению  $l/s = 13,2$  согласно данным табл. 10 значение коэффициента  $k_1 = 0,16$ , и величина усилия гибки

$$P_2 = 18 \cdot 0,5 \cdot 610 \cdot 0,16 = 878,4 \text{ Ё} .$$

Данные усилия не являются критичными при выборе оборудования. Выбор пресса должен осуществляться из любого, доступного на производстве, исходя из размеров оснастки.

## Содержание работы

Спроектировать процесс и рассчитать параметры гибки детали «Скоба» (рис. 11). Размеры детали взять из табл. 11 (варианты задания выдаются преподавателем). Необходимо выполнить следующее:

- 1) нарисовать эскиз детали с размерами,
- 2) сделать расчет длины заготовки,
- 3) проверить допустимости радиусов гибки,
- 4) сделать расчет упругого пружинения заготовки,
- 5) определить последовательности переходов при изготовлении детали,
- 6) определить рабочие размеры инструмента, нарисовать эскиз пуансона и матрицы,
- 7) сделать расчет усилия гибки.

Таблица 11

### Характеристики детали для вариантов расчетного задания

Вариант задания	$L_0$ , мм	$H_1$ , мм	$H_2$ , мм	$R_1$ , мм	$R_2$ , мм	$B$ , мм	$L_1$ , мм	$d$ , мм	$s$ , мм	Материал
1	100	18	24	5	2	20	30	5	0,5	Сталь 10
2	100	18	24	5	2	20	30	5	0,5	Сталь 20
3	100	18	24	5	2	20	30	5	0,5	Сталь 30
4	100	18	24	5	2	20	30	5	0,5	Сталь 45
5	80	20	30	5	2	18	25	5	0,5	Сталь 50
6	80	20	30	5	2	18	25	5	0,5	Сталь 08кп
7	80	20	30	5	2	18	25	5	0,5	Сталь 10
8	80	20	30	5	2	18	25	5	0,5	Сталь 20
9	120	25	40	6	3	25	40	8	1,0	Сталь 30
10	120	25	40	6	3	25	40	8	1,0	Сталь 35
11	120	25	40	6	3	25	40	8	1,0	Сталь 40
12	120	25	40	6	3	25	40	8	1,0	Сталь 45
13	140	30	50	6	3	30	50	8	1,5	Сталь 50
14	140	30	50	6	3	30	50	8	1,5	Сталь 55
15	140	30	50	6	3	30	50	8	1,5	Сталь 60

## Контрольные вопросы

1. Почему происходит искажение заготовки в процессе гибки? Как влияет ширина заготовки на искажение поперечного сечения?
2. Зачем необходимы направляющие колонки и втулки в штампе для гибки?
3. Почему размеры детали после гибки отличаются от размеров инструмента? Почему такое отличие существенно больше по сравнению с операцией вытяжки? Что необходимо делать, чтобы при гибке получить требуемые размеры детали?
4. Что такое нейтральная линия при гибке? Какие принципы положены в основу определения размеров заготовки при гибке?
5. Для чего применяется прижим заготовки при гибке? При каких условиях возможна гибка без прижима?
6. Как рассчитывается усилие гибки?

## 3. РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ

### Основные разделительные операции

Резка-вырубка листового металла представляет собой процесс отделения одной части материала от другой по замкнутому или незамкнутому контуру при помощи штампов. В зависимости от назначения и характера выполняемой работы операции группы резки разделяют на следующие.

*Вырубка* – полное отделение металла по замкнутому контуру, при котором отделяемая часть заготовки является изделием (рис. 14, а).

*Пробивка* – операция, имеющая цель получить в вырубленной детали или листе отверстие путем отделения при помощи пробивного штампа части материала по замкнутому контуру (рис. 14, б). Отличие вырубки от пробивки заключается в том, что при вырубке часть материала, проталкиваемая пуансоном в матрицу является деталью, а при пробивке проталкиваемый через матрицу материал является отходом, а на матрице остается изделие.

*Надрезка* – операция, при которой происходит частичное отделение материала по незамкнутому контуру без удаления остатков (рис. 14, в).

*Разрезка* – разделение плоских, гнутых или полых заготовок на две или несколько деталей, например при штамповке несимметричных деталей. В этом случае часто сначала штампуют симметричную деталь, а потом разделяют на две детали (рис. 14, з).

*Обрезка* (обрубка) – полное отделение неровного края или лишнего металла по наружному контуру плоских, гнутых или вытянутых изделий (рис. 14, д).

*Зачистка* – небольшая обрезка заранее предусмотренного припуска на плоских заготовках с целью получения точных размеров и формы, точных кромок и гладкой перпендикулярной поверхности среза (рис. 14, е). Если зачистка производится одновременно с вырубкой или пробивкой, то такая операция называется *чистой вырубкой* или *пробивкой*.

*Просечка* – отделение листовых неметаллических материалов по замкнутому контуру при помощи просечных – ножевых штампов. Операция производится стальными трубчатыми пуансонами без применения стальной матрицы. Роль матрицы играют пластины из неметаллических материалов (рис. 14, ж).

Перечисленные операции в целях увеличения производительности можно объединить либо по принципу последовательной штамповки, когда деталь получается из полосы отдельными пуансонами за несколько ходов прессы, либо по принципу совмещенной штамповки, когда деталь получается за один ход прессы и за одну установку заготовки в штампе. В первом случае объединенные операции называются *последовательной вырубкой*, а во втором случае – *совмещенной вырубкой*.

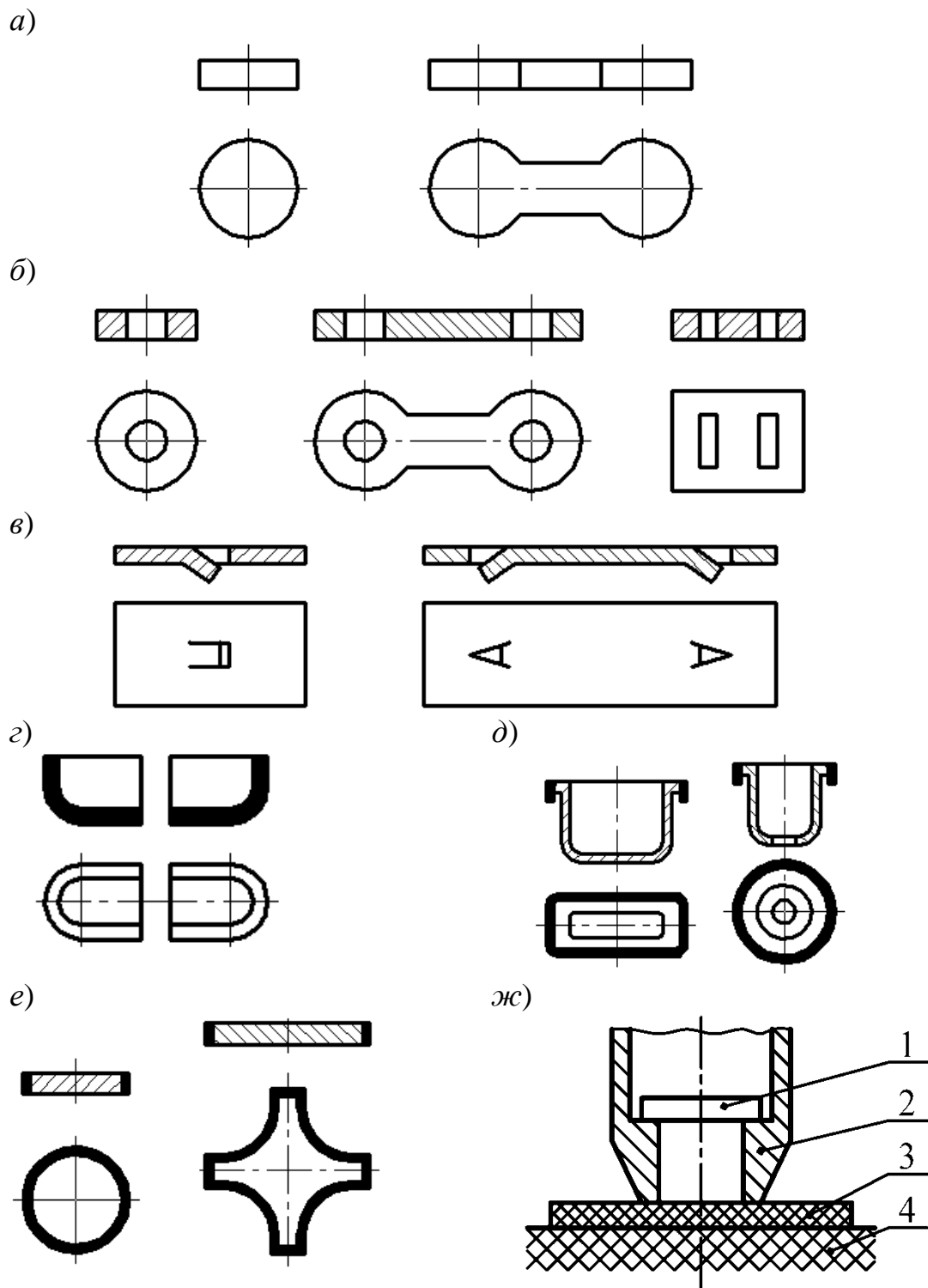


Рис. 14. Схемы операций резки: *a* – вырубка; *б* – пробивка; *в* – надрезка; *г* – разрезка; *д* – обрезка; *е* – зачистка; *ж* – просечка: 1 – выталкиватель, 2 – просечной пуансон, 3 – вырезаемый материал, 4 – подкладная пластина

## Усилие резания при вырубке-пробивке

Процесс разделения листового материала состоит из трех последовательных стадий: упругой, пластической и скалывания. На срезанной кромке листа четко выделяются две зоны: узкая блестящая полоска, соответствующая, пластической стадии, и более широкая матовая зона, соответствующая зоне скалывания. Последовательность процесса вырубке показана на рис. 15.

В первой стадии происходит упругий изгиб металла с некоторым выдавливанием его в отверстие матрицы. Вдавливание вырубного пуансона происходит не по всей торцевой поверхности, а лишь по пояску шириной  $b$ . Такое же вдавливание наблюдается и со стороны матрицы.

В результате локализованного вдавливания пуансона и матрицы возникает круговой изгибающий момент, условно представленный на рис. 15, *I*, *II* равнодействующими нормальных напряжений. Под действием кругового изгибающего момента заготовка получает пространственный изгиб (выпучивание), при котором с наружной (выпуклой) стороны заготовки возникает растяжение, а с внутренней стороны сжатие. Сжатие благоприятно для пластического течения металла, а растяжение способствует возникновению микротрещин в зоне реза. К концу второй стадии напряжения вблизи режущих кромок достигают максимальной величины, соответствующей напряжению среза материала.

В третьей стадии вырубке у режущих кромок матрицы образуются скалывающие трещины (рис. 15, *III*). После дальнейшего погружения пуансона исчерпания местной пластичности металла, скалывающие трещины возникают и у режущих кромок пуансона (рис. 15, *IV*, *V*). Скалывающие трещины распространяются на внутренние слои металла и вызывают отделение вырезаемой детали.



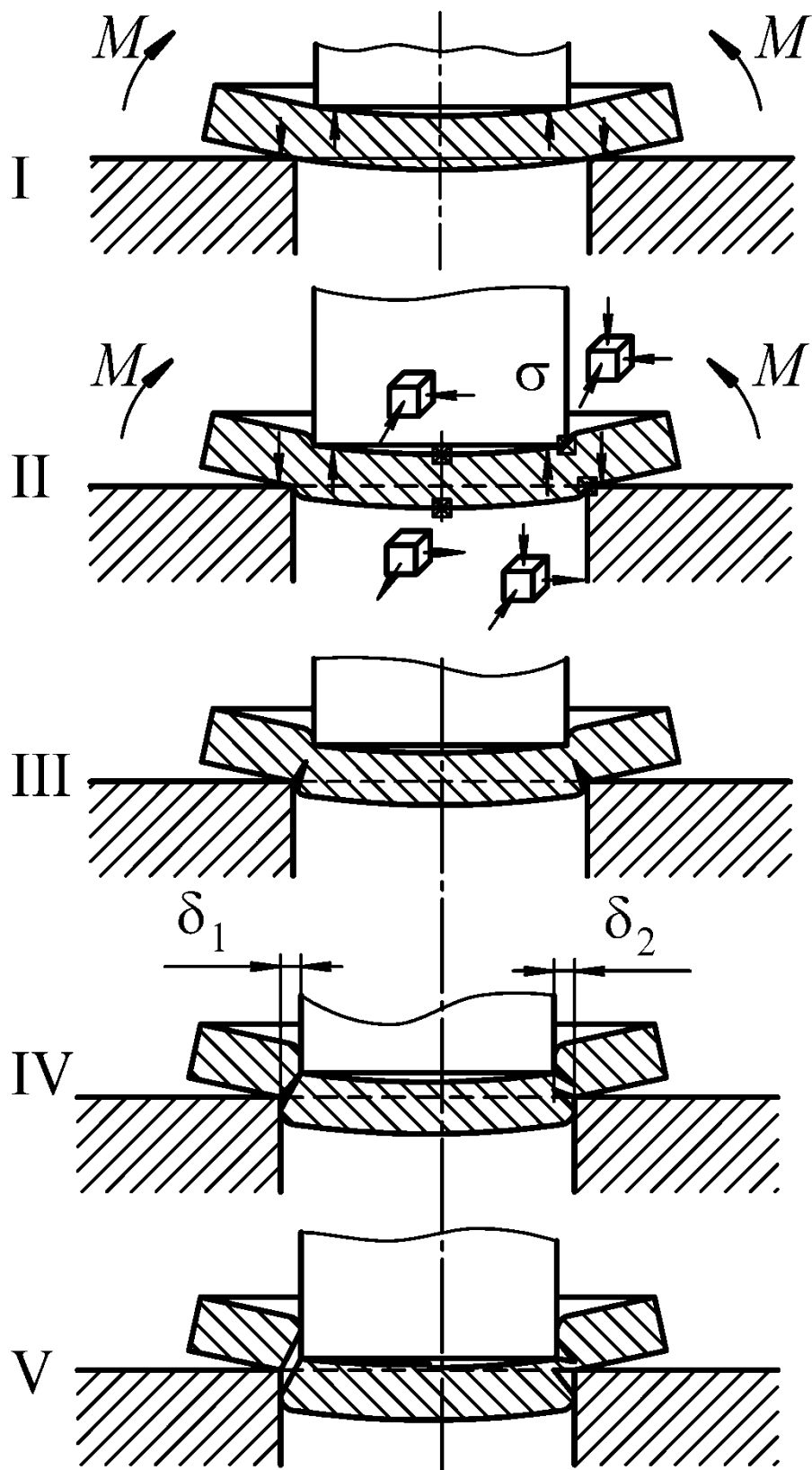


Рис. 15. Последовательность процесса вырубки

В процессе вырубki листового металла возникает сложное, неоднородное силовое поле, сконцентрированное вблизи режущих кромок пуансона и матрицы (рис. 16). Пуансон обычно вдавливается в листовую заготовку не по всей торцевой поверхности, а лишь по пояску шириной  $b$ . Такое же вдавливание происходит и со стороны матрицы. Давление пуансона может быть заменено равнодействующими удельных усилий  $P_1$  и  $P_2$ , приходящихся на единицу длины контура диаметром  $d_1$  и  $d_2$  в случае кругового контура. Пара сил вызывает изгибающий момент  $M$ , под действием которого относительно тонкая заготовка изгибается и выпучивается. Возникает давление металла на наружную поверхность пуансона и распирающее давление на кромки матрицы (удельные усилия  $Q, R$ , рис. 16). Кроме нормальных сил на поверхность заготовки действуют касательные усилия, созданные силами трения –  $\mu Q, \mu R, \mu P_1, \mu P_2$ , где  $\mu$  – коэффициент кулоновского трения.

Ввиду сложности и неоднородности силового поля при вырубке-пробивке в технологических расчетах применяется условная технологическая величина – *сопротивление срезу*, которая объединяет все силы сопротивления вырезаемого металла и учитывает упрочнение металла к моменту скола

$$\sigma_{\text{ср}} = P_{\text{max}}/Ls,$$

где  $L$  – периметр среза,  $s$  – толщина материала.

На рис. 17 приведена типовая диаграмма изменения усилия вырубki на протяжении рабочего хода прессы. Наибольшая точка кривой соответствует наибольшему усилию  $P_{\text{max}}$  и окончанию пластической стадии вырубki. Вертикальная линия соответствует окончанию вырубki, а остальная часть диаграммы соответствует проталкиванию детали в матрицу.

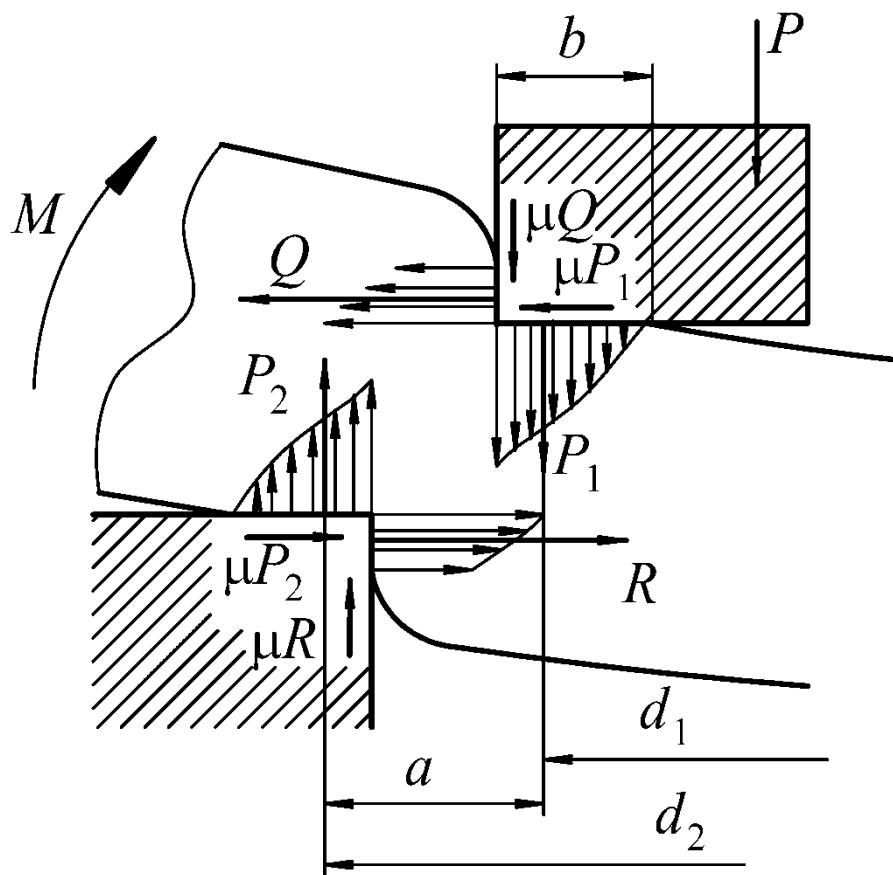


Рис. 16. Схема сил, действующих на заготовку в процессе вырубki

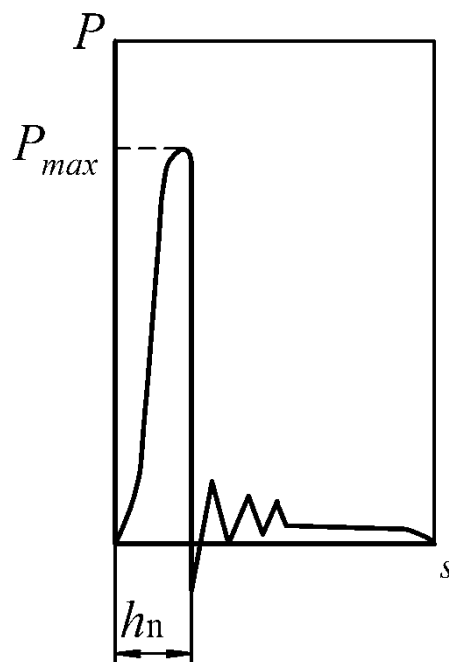


Рис. 17. Изменение усилия вырубki на протяжении рабочего хода

Сопротивление срезу зависит от механических свойств металла, степени предварительного наклепа, относительного зазора между пуансоном и матрицей (отношения двустороннего зазора между пуансоном и матрицей  $\delta$  к толщине материала  $s$ ), относительной толщины вырубаемого металла (отношения толщины  $s$  к диаметру  $d$ ), скорости движения инструмента и еще ряда других параметров. В большинстве случаев с достаточной для технологических расчетов точностью пользуются приближенной зависимостью для сопротивления срезу

$$\sigma_{\text{ср}} = (0,7-0,8) \sigma_{\text{в}}, \quad (9)$$

где  $\sigma_{\text{в}}$  – предел прочности (временное сопротивление разрыву) материала.

Расчетное усилие процесса среза определяется по формуле

$$P_{\text{ср}} = Ls\sigma_{\text{ср}}. \quad (10)$$

Полное усилие вырубki учитывает поправку на неоднородность материала и затупление режущих кромок поправочным коэффициентом запаса  $k = 1,2$ . Обычно при определении усилия вырубki учитывают также усилие сжатия буферов или пружин, съема детали

$$P = 1,2P_{\text{ср}} + Q_{\text{пр}} = 1,2Ls\sigma_{\text{ср}} + Q_{\text{с}}, \quad (11)$$

где  $Q_{\text{пр}}$  – усилие съема детали с пуансона или матрицы.

Большое значение при вырубке имеет зазор между пуансоном и матрицей  $z$ , равный разности размеров пуансона и матрицы. Он влияет на качество поверхности среза, величину заусенца, точность вырубленной детали, усилие вырубki, износ и стойкость инструмента. Наименьшее усилие вырубki при хорошем качестве деталей получается при зазорах равных

$$\delta = D_{\text{м}} - D_{\text{п}} = (0,05 - 0,18)s. \quad (12)$$

Усилие пресса обычно берется значительно больше расчетного усилия вырубki для увеличения запаса жесткости, повышения запаса надежности и долговечности пресса и штампа.

### **Конструкции разделительных штампов**

Различие по техническим параметрам деталей приводит к разнообразию конструкций штампов. Конструкции штампов для вырубki-пробивки листового металла бывают простого, последо-

вательного и совмещенного действия. Различают также специальные конструкции штампов для чистовой вырубki. Рассмотрим одну из наиболее простых конструкций штампа простого действия для вырубki круглой заготовки, например для последующей вытяжки (см. раздел 3.3.1). Конструкция штампа представлена на рис. 18.

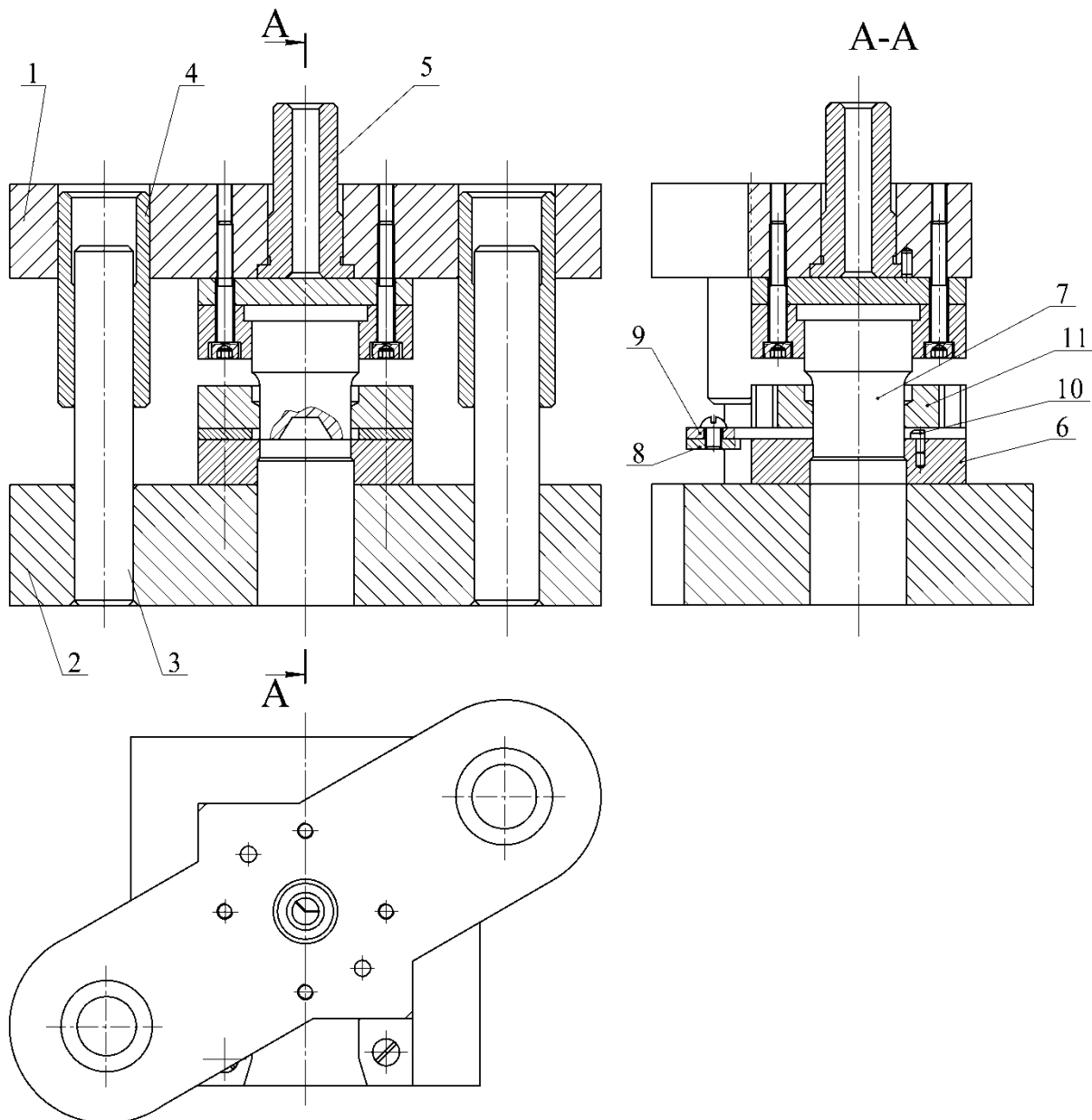


Рис. 18. Конструкция вырубного штампа

Аналогично конструкциям инструментальных штампов для вытяжки или гибки, данная конструкция имеет верхнюю 1 и нижнюю 2 плиты штампа. Для обеспечения соосности перемеще-

ния верхней плиты относительно нижней штамп имеет направляющие колонки 3 и втулки 4. В данном случае имеет место их диагональное расположение. При помощи хвостовика 5 штамп крепится к верхнему ползуну прессы. На нижней плите закреплена вырубная матрица 6, а на верхней плите – пуансон 7. Обычно штамп снабжается также вспомогательными элементами: упорами для заготовки, фиксаторами, съемниками (8, 9, 10, 11).

### Расчет вырубki-пробивки в жестких штампах плоской типовой детали

Характерной деталью, на примере которой выполняется данный расчет, является точная деталь оптического прибора, получаемая вырубкой-пробивкой в жестком инструментальном штампе из полосы. Исходными данными для расчета является чертеж или эскиз детали (рис. 19), толщина материала –  $s = 0,4$  мм и марка материала: пружинная сталь 65Г. Сталь 65Г имеет предел прочности  $\sigma_b \cong 750$  МПа.

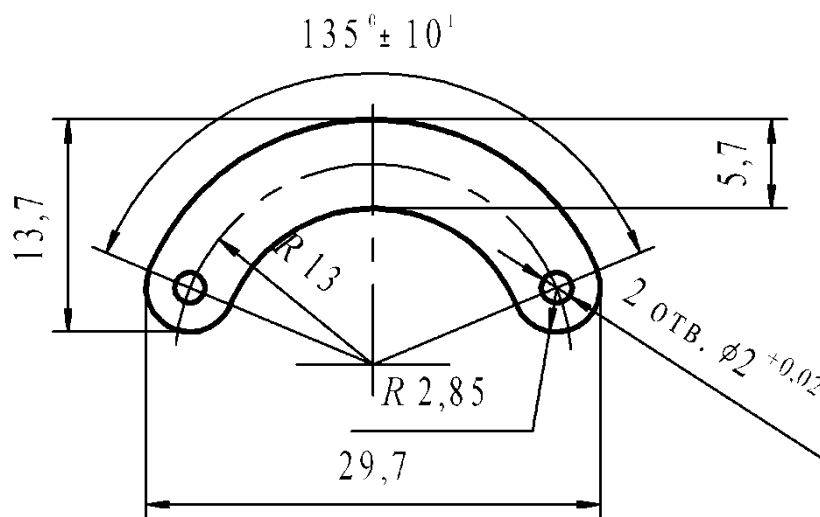


Рис. 19. Эскиз детали

**1. Выбор технологии вырубki.** Деталь изготавливаем методом последовательной вырубki из полосы – сначала на первом шаге пробиваются отверстия, а потом на втором шаге вырубается наружный контур.

**2. Расчет раскроя полосового металла.** Экономичность раскроя зависит от правильной величины перемычек, которые компенсируют погрешность подачи материала и фиксации его в штампе, чтобы обеспечить полную вырезку детали по всему контуру и предотвратить брак. Величина перемычек (рис. 20) зависит от толщины и твердости материала, размеров и конфигурации деталей, способов подачи полосы и конструкции штампа. Для основных случаев вырезки значение минимальной величины перемычек приведено в табл. 12.

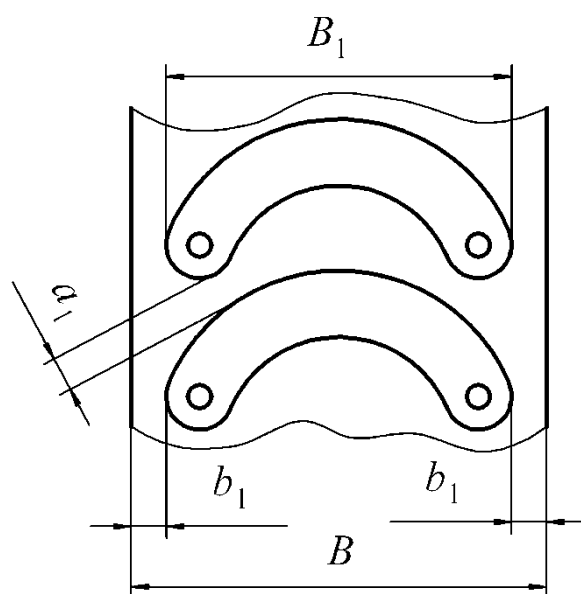


Рис. 20. Раскрой полосового металла

Таблица 12

**Наименьшая величина перемычек**

Толщина материала, мм	Перемычка, мм		Толщина материала, мм	Перемычка, мм	
	$a, b$	$a_1, b_1$		$a, b$	$a_1, b_1$
0,3	1,4	2,3	4,0	2,5	3,5
0,5	1,0	1,8	5,0	3,0	4,0
1,0	1,2	2,0	6,0	3,5	4,5
1,5	1,4	2,2	7,0	4,0	5,0
2,0	1,6	2,5	8,0	4,5	5,5
2,5	1,8	2,8	9,0	5,0	6,0
3,0	2,0	3,0	10,0	5,5	6,5
3,5	2,2	3,2			

В табл. 12 приняты следующие обозначения:  $a$  – перемычка между вырезами для небольших деталей простой конфигурации;  $a_1$  – перемычка между вырезами для больших деталей или деталей сложной конфигурации;  $b$  – боковая перемычка при работе с боковым прижимом полосы;  $b_1$  – боковая перемычка при работе без бокового прижима полосы. Для материала толщиной менее 0,5 мм выбираем простой вариант работы без бокового прижима. Так как рассчитываемая деталь имеет сложную форму, то величины перемычек  $a_1$ ,  $b_1$  могут быть найдены по толщине материала  $s = 0,4$  мм интерполяцией

$$a_1 = b_1 = 2,3 - (0,4 - 0,3)(2,3 - 1,8)/(0,5 - 0,3) = 2,05, \text{ мм.}$$

Минимальная ширина полосы  $B$  при ширине детали  $B_1 = 29,7$  мм (рис. 19) будет равна

$$B = B_1 + 2b_1 + \Delta_{\text{ш}} + \delta_0,$$

где  $\Delta_{\text{ш}}$  – односторонний (минусовой) допуск на ширину полосы, определяемый для случая резки полос на гильотинных ножницах по данным табл. 13,  $\delta_0$  – гарантированный зазор между направляющими штампа и наибольшей возможной шириной полосы. Величина  $\delta_0$  принимается 0,5–1,0 мм для полосы шириной менее 100 мм и 1,0–1,5 мм для полосы шириной более 100 мм. Таким образом, ширина полосы в расчетном случае равна

$$B = 29,7 + 2 \cdot 2,05 + 0,6 + 0,7 = 34,5 \text{ мм,}$$

Данную величину можно округлить до 0,5 мм или 1 мм в большую сторону:  $B = 35$  мм.

Таблица 13

#### Допуски на ширину полос, нарезаемых на гильотинных ножницах

Ширина полосы, мм	Допуски в зависимости от толщины материала, мм			
	До 1	1–2	2–3	2–5
До 100	0,6	0,8	1,2	2,0
Свыше 100	0,8	1,2	2,0	3,0

**3. Определение усилия при вырубке и пробивке.** По величине временного сопротивления  $\sigma_{\text{в}}$  для материала заготовки по формуле (9) определяем условное напряжение среза

$$\sigma_{\text{ср}} = (0,7 - 0,8) \cdot 750 \cong 560, \text{ МПа.}$$



**Усилие вырубki наружного контура.** По чертежу детали (см. рис. 19) определяем периметр наружного контура  $L \cong 79,62 \text{ мм} = 0,07962 \text{ м}$ . По формуле (10) определяем усилие вырубki

$$P_{\text{вср}} = Ls\sigma_{\text{ср}} = 0,07962 \cdot 0,0004 \cdot 560 \cdot 10^6 \cong 17835, \text{ Н.}$$

**Усилие пробивки отверстий.** Периметр отверстия равен  $L_d = \pi d$ , где  $d$  – диаметр отверстия, или  $L_d = 2\pi \text{ мм} \cong 6,3 \text{ мм}$ . Так как два отверстия пробиваются одновременно, то общий периметр будет в два раза больше  $L = 2L_d = 12,6 \text{ мм}$ . По формуле (10) определяем усилие пробивки отверстий

$$P_{\text{пср}} = 0,0126 \cdot 0,0004 \cdot 560 \cdot 10^6 \cong 2822, \text{ Н.}$$

Общее усилие вырубki-пробивки будет

$$P_{\text{ср}} = P_{\text{вср}} + P_{\text{пср}} \cong 17835 + 2822 = 20657, \text{ Н.}$$

Усилие съема детали с пуансона и матрицы  $Q_{\text{пр}}$  принято определять в процентном отношении от усилия вырубki

$$Q_{\text{пр}} = k_{\text{пр}} P_{\text{ср}},$$

где  $k_{\text{пр}}$  – эмпирический коэффициент, для материалов толщиной 0,5–4 мм равный для стали  $k_{\text{пр}} = 0,03$ –0,07, для меди и латуни  $k_{\text{пр}} = 0,02$ –0,04, для алюминия  $k_{\text{пр}} = 0,03$ –0,05, для дуралюмина  $k_{\text{пр}} = 0,03$ –0,07. Причем для более тонких материалов следует брать значение коэффициента ближе к верхнему пределу, а для более толстых – ближе к нижнему.

По формуле (11) определим общее усилие

$$P = 1,2 \cdot 20657 + 0,05 \cdot 20657 \cong 25821, \text{ Н.}$$

Таким образом, для штамповки данной детали подойдет пресс усилием 30 кН и больше.

**4. Зазор между пуансоном и матрицей и определение исполнительных размеров пуансона и матрицы.** Зазор между пуансоном и матрицей определяется по формуле (12)

$$\delta = (0,05 - 0,18) \cdot 0,4 \cong 0,04, \text{ мм.}$$

При вырубке наружного контура номинальные размеры детали придаются матрице, а зазор  $\delta$  осуществляется за счет соответствующего уменьшения размеров пуансона. При пробивке отверстия номинальные размеры детали придаются пуансону, а зазор  $\delta$  осуществляется за счет увеличения размеров матрицы.

## Содержание работы

Спроектировать процесс и рассчитать параметры вырубki-пробивки детали «Уголок» (рис. 21).

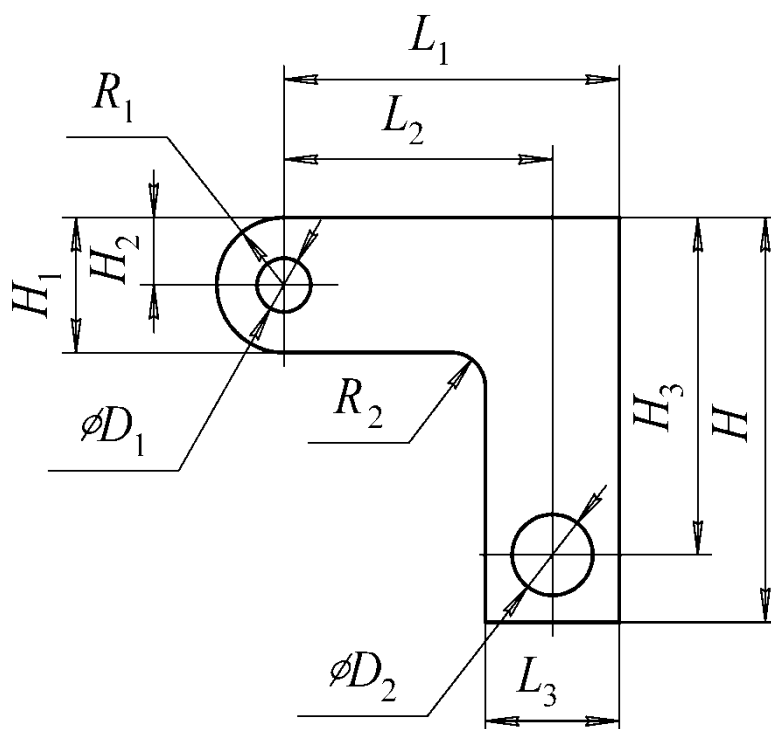


Рис. 21. Эскиз детали «уголок», штампуемой методом вырубki-пробивки из листа

Размеры детали взять из табл. 14 (варианты задания выдаются преподавателем). Полагать, что  $H_2 = H_1/2$ . Для определения механических характеристик металлов можно воспользоваться данными табл. 8.

Необходимо выполнить следующее:

- 1) нарисовать эскиз детали с размерами,
- 2) выбрать технологию вырубki,
- 3) рассчитать раскрой полосового металла,
- 4) определить усилие при вырубке и пробивке,
- 5) найти зазор между пуансоном и матрицей и определить исполнительных размеров пуансона и матрицы.

**Характеристики детали для вариантов расчетного задания**

Вариант задания	$L_1$ , мм	$L_2$ , мм	$L_3$ , мм	$H$ , мм	$H_1$ , мм	$H_3$ , мм	$D_1$ , мм	$D_2$ , мм	$s$ , мм	Материал
1	50	40	20	60	20	50	8	12	1,0	Сталь 10
2	50	40	20	60	20	50	8	12	1,2	Сталь 20
3	50	40	20	60	20	50	8	12	0,8	Сталь 30
4	50	40	20	60	20	50	8	12	0,9	Сталь 45
5	70	55	30	80	30	70	10	15	1,5	Сталь 50
6	70	55	30	80	30	70	10	15	0,9	Сталь 08кп
7	70	55	30	80	30	70	10	15	1,5	Сталь 10
8	70	55	30	80	30	70	10	15	1,5	Сталь 20
9	50	40	20	60	20	50	8	12	2,0	Сталь 30
10	50	40	20	60	20	50	8	12	2,4	Сталь 35
11	50	40	20	60	20	50	8	12	1,0	Сталь 40
12	50	40	20	60	20	50	8	12	1,0	Сталь 45
13	70	55	30	80	30	70	10	15	1,5	Сталь 50
14	70	55	30	80	30	70	10	15	1,5	Сталь 55
15	70	55	30	80	30	70	10	15	1,5	Сталь 60

**Контрольные вопросы**

1. Чем отличается последовательная вырубка от совмещенной вырубки? Какие элементарные операции может включать в себя последовательная вырубка или совмещенная вырубка?
2. Охарактеризуйте стадии процесса вырубки.
3. Что такое сопротивление срезу, почему и для какой цели вводят данную условную величину.
4. Почему и как зазор между пуансоном и матрицей оказывает влияние на точность, детали, качество поверхности среза и усилие вырубки?
5. Каким образом стадии процесса вырубки определяют график изменение усилия вырубки на протяжении рабочего хода?

**Литература**

1. Ковка и штамповка. Справочник в 4-х томах. Т.4. Листовая штамповка. Под ред. А.Д. Матвеева. – М.: Машиностроение.–1987.–544 с.
2. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. Л.: Машиностроение.–1979.–520 с.

3. Горбунов М.Н. Технология заготовительно-штамповочных работ в производстве летательных аппаратов. М., "Машиностроение", 1970.
4. Зубцов М.Е. Листовая штамповка. Л.: Машиностроение, 1967.–504 с.
5. Малов А.Н. Технология холодной штамповки. М.: Оборонгиз, 1963. – 564 с.
6. Смирнов-Аляев Г.А., Вайнтрауб Д.А. Холодная штамповка в приборостроении. Л.: Машгиз, 1963.– 436 с.
7. Третьяков А.В., Зюзин В.И. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением. М.: Металлургия, 1973. 224 с.
8. Исследование процесса вытяжки листового материала жестким штампуемым материалом. Описание лабораторной работы. Куйбышев: КУАИ – 1978.