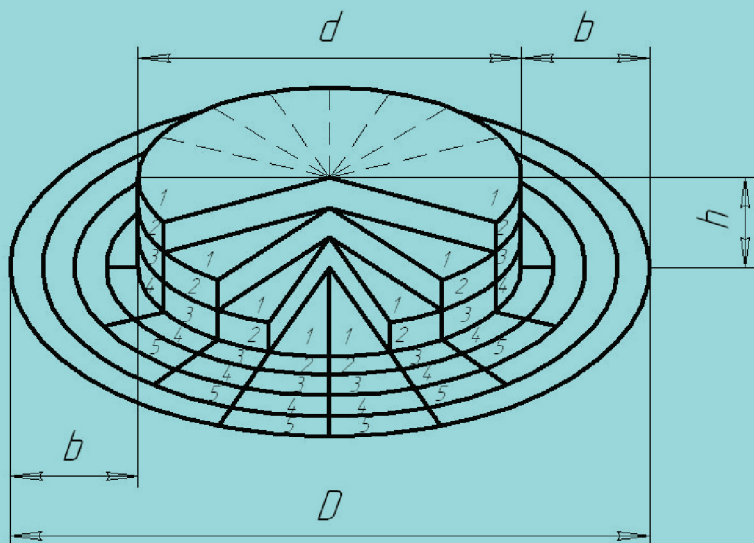


Министерство образования и науки Российской Федерации
Тольяттинский государственный университет
Институт машиностроения
Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением
и родственные процессы»

А.В. Скрипачев

ВЫТЯЖКА ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА

Электронное учебно-методическое пособие



© ФГБОУ ВО «Тольяттинский
государственный университет», 2016

ISBN 978-5-8259-0966-0

УДК 621.983.3.07
ББК 34.623

Рецензенты:
директор энергетического производства ОАО «АВТОВАЗ»
Б.В. Лифанов;
канд. техн. наук, доцент Тольяттинского государственного
университета *Е.Н. Почкуев*.

Скрипачев, А.В. Вытяжка листового материала : электрон. учеб.-метод. пособие / А.В. Скрипачев. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2016. – 1 оптический диск.

Рассмотрены процесс вытяжки листового материала в штампах и методика определения основных технологических параметров: выбор схемы технологического процесса, определение размеров заготовки, количества вытяжных операций, закруглений пуансонов и матриц, энергосиловых параметров процесса, зазоров при вытяжке, исполнительных размеров инструмента и выбор оборудования.

Предложены 60 задач, включающих детали различной конфигурации и типоразмеров. Приведен пример решения конкретной задачи.

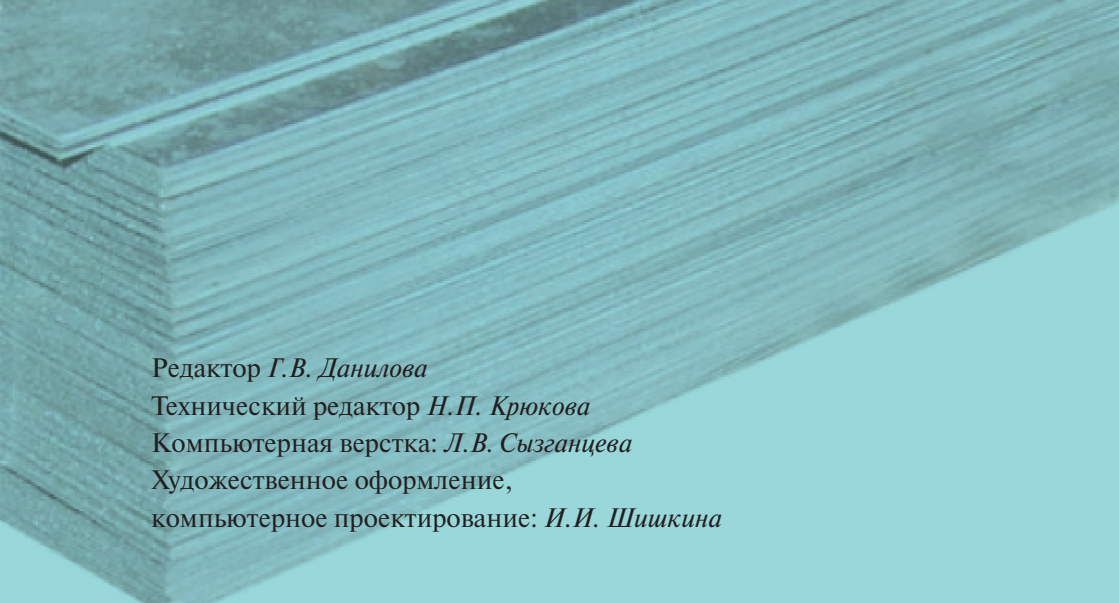
Пособие по изучению раздела «Вытяжка листового материала» дисциплины «Технология листовой штамповки» предназначено для студентов направления подготовки 15.03.01 «Машиностроение» (профиль «Машины и технология обработки металлов давлением») очной и заочной форм обучения.

Текстовое электронное издание.

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

Минимальные системные требования: IBM PC-совместимый компьютер: Windows XP/Vista/7/8; ПП 500 МГц или эквивалент; 128 Мб ОЗУ; SVGA; Adobe Reader.

© ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», 2016



Редактор *Г.В. Данилова*

Технический редактор *Н.П. Крюкова*

Компьютерная верстка: *Л.В. Сызганцева*

Художественное оформление,

компьютерное проектирование: *И.И. Шишкина*

Дата подписания к использованию 26.05.2016.

Объем издания 7,7 Мб.


Комплектация издания: компакт-диск, первичная упаковка.

Заказ № 1-33-15.

Издательство Тольяттинского государственного университета

445020, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14,

тел. 8 (8482) 53-91-47, www.tltsu.ru



Содержание

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ПРОЦЕСС ВЫТЯЖКИ ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА	7
1.1. Общая характеристика процесса	7
1.2. Основные технологические требования к конструкции полых листовых деталей, изготовленных вытяжкой	10
1.3. Определение размеров и формы заготовок при вытяжке	11
1.4. Степень деформации. Определение количества вытяжных операций	20
1.5. Определение усилий вытяжки и прижима	30
1.6. Зазоры при вытяжке	32
1.7. Исполнительные размеры рабочих частей матриц и пуансонов при вытяжке	34
2. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ	37
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	44
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	45
Приложение	46

ВВЕДЕНИЕ

Учебно-методическое пособие предназначено для изучения раздела «Вытяжка листового материала» дисциплины «Технология листовой штамповки» и рассчитано для использования на аудиторных занятиях и в самостоятельной работе студентов.

Цель и задачи пособия

Цель – способствовать формированию профессиональной компетенции ПК-11, предусмотренной ФГОС для бакалавров, а именно: уметь обеспечивать технологичность изделий и процессов их изготовления, контролировать соблюдение технологической дисциплины при изготовлении изделий.

Задачи:

- 1) дать представление о процессе и методах расчета вытяжки листовых материалов;
- 2) привить навыки проектирования технологического процесса вытяжки и расчета его основных геометрических и энергосиловых параметров;
- 3) развить умения принятия обоснованных решений при разработке технологических процессов вытяжки.

Учебные вопросы:

- характеристика процесса вытяжки;
- технологичность деталей, получаемых вытяжкой;
- определение размеров и формы заготовок при вытяжке;
- определение количества вытяжных операций;
- усилия и зазоры при вытяжке.

Изучив пособие, студент должен:

- ✓ иметь представление:
 - о процессе вытяжки;
 - о расчете параметров технологического процесса вытяжки;
- ✓ знать:
 - разновидности процесса вытяжки;
 - методику расчета параметров технологического процесса вытяжки;

- ✓ уметь:
- разрабатывать технологический процесс вытяжки;
- выбирать оборудование;
 - ✓ *владеть навыками* технолога по разработке технологического процесса вытяжки.

Методические рекомендации

При освоении пособия необходимо:

- ◆ изучить учебный материал по технологическому процессу вытяжки листового материала;
- ◆ акцентировать внимание на технологичности деталей, определении размеров и формы заготовок, определении количества вытяжных операций, усилий и зазоров при вытяжке;
- ◆ выполнить задание по разработке технологического процесса вытяжки заданной детали. Варианты заданий приведены в приложении.

1. ПРОЦЕСС ВЫТЯЖКИ ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА

1.1. Общая характеристика процесса

Вытяжка представляет собой процесс превращения плоской заготовки в полулю деталь любой формы (или дальнейшее изменение её размеров) и производится на вытяжных штампах.

На рис. 1 приведена схема вытяжки цилиндрической детали из плоской заготовки и последовательность перемещения металла в процессе вытяжки. Последнее характеризуется уменьшением наружного диаметра фланца и перемещением элементов заготовки 1–5 по мере увеличения глубины вытяжки.

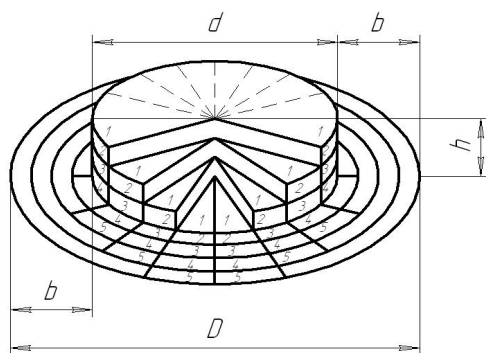


Рис. 1. Последовательность перемещения металла в процессе вытяжки

При вытяжке кольцевая часть заготовки ($D-d$) превращается в цилиндр диаметром d и высотой h . Так как объем металла при вытяжке не изменяется, то при полной вытяжке цилиндра высота детали h больше ширины кольцевой части b и составляет:

$$h = b \frac{D+d}{2d} = b \frac{K+1}{2}, \quad (1.1)$$

где $K = D/d$ – степень вытяжки. При $K = 2$ $h = 1,5b$.

Следовательно, вытяжка происходит за счет пластической деформации, сопровождаемой смещением значительного объема металла в высоту. При большой степени деформации, что соответствует глу-

бокой вытяжке, и при небольшой толщине материала смещенный объем является причиной образования гофров (волн) на деформируемой заготовке. При малой степени деформации и относительно большой толщине материала гофрообразование не происходит, так как смещенный объем металла невелик, а заготовка устойчива.

Для предотвращения образования гофров и складок при вытяжке применяется прижим заготовки складкодержателем.

По геометрической форме все полые детали могут быть разделены на три группы:

- 1) осесимметричной формы (тела вращения);
- 2) коробчатой формы;
- 3) сложной несимметричной формы.

Каждая из групп подразделяется на несколько разновидностей. Например, тела вращения по форме образующей могут быть цилиндрическими, коническими, криволинейными, ступенчатыми, выпукло-вогнутыми. Построение технологического процесса и технологические расчеты для них различны.

Установлено, что процесс глубокой вытяжки с прижимом начинается не с пластической деформации фланца заготовки, а с предшествующей ей местной пластической деформации кольцевой не зажатой части заготовки.

Таким образом, процесс глубокой вытяжки с прижимом можно условно разбить на две стадии:

- 1) локальная пластическая деформация свободного кольцевого участка (рис. 2). К концу стадии происходит пластическая деформация донной части заготовки;
- 2) пластическая деформация фланца и втягивание его в матрицу.

При вытяжке без прижима с малой степенью деформации начальная стадия практически отсутствует. Наиболее опасным местом детали является зона перехода от дна к стенкам вследствие возникшего здесь в начальной стадии вытяжки значительного утонения материала и больших растягивающих напряжений.

Основное направление рационального построения или улучшения процесса вытяжки заключается в создании наиболее благоприятных условий деформирования металла с целью снижения растягивающих напряжений в опасном сечении:

- 1) уменьшении напряжений в начальной стадии вытяжки;
- 2) уменьшении сопротивления плоского фланца деформированию;
- 3) повышении прочности металла в опасном сечении;
- 4) снижении тангенциальных напряжений сжатия в деформируемом фланце или повышении его устойчивости с целью предотвращения образования складок. Схема напряженно-деформируемого состояния в разных участках изделия при обычной вытяжке с прижимом (складкодержателем) приведена на рис. 3.

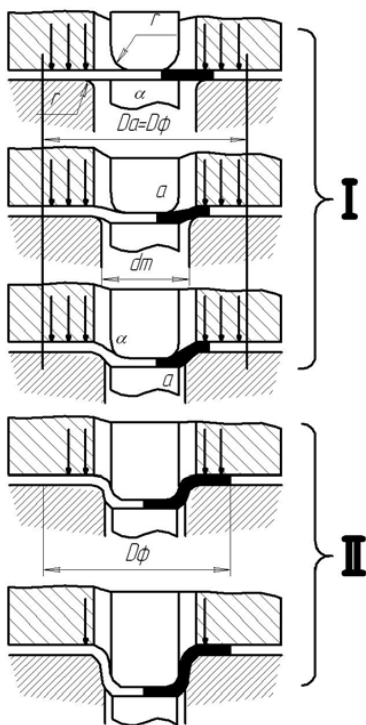


Рис. 2. Последовательность процесса глубокой вытяжки с прижимом заготовки

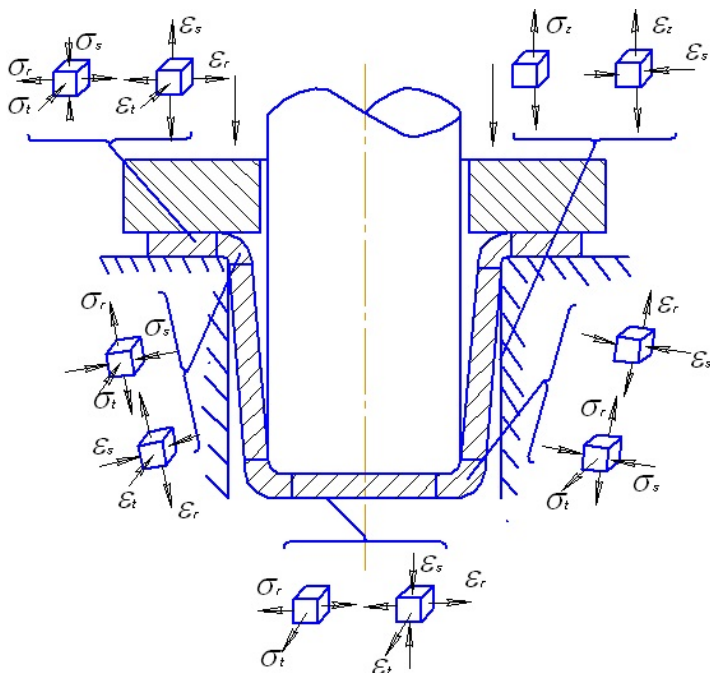


Рис. 3. Схема напряжений и деформаций при вытяжке (σ – напряжения; ϵ – деформации; индексы при σ и ϵ означают: r – радиальные; t – тангенциальные; s – осевые)

1.2. Основные технологические требования к конструкции полых листовых деталей, изготовленных вытяжкой

1. Необходимо по возможности избегать весьма сложных и несимметричных форм вытягиваемых деталей, прибегая к ним лишь в случае явной конструктивной необходимости.

2. Радиусы закруглений у фланца должны быть по возможности больше, а радиусы у дна могут быть взяты меньшими: $r \geq (2 - 4) s$.

Сопряжение стенок с дном без радиуса закругления может быть выполнено путем дополнительной калибровки или при штамповке весьма толстых заготовок ($D/S \leq 20$ при $m > 0,7$).

3. Следует избегать глубоких вытяжек с широким фланцем ($D_\phi > 3d$ при $h \geq 2d$), требующих большого количества операций.

4. Полуоткрытые несимметричные формы полых деталей нужно проектировать, учитывая возможность спаренной вытяжки с последующей разрезкой на две детали.

5. В прямоугольных коробках следует избегать острых углов в плане и у дна детали, кроме случаев изготовления коробок методом холодного выдавливания.

6. При вытяжке полых деталей сложной конфигурации необходимо предусматривать те или иные технологические базы для фиксации заготовок на операциях.

1.3. Определение размеров и формы заготовок при вытяжке

1.3.1. Определение размеров и формы заготовок для вытяжки круглых деталей

Основным правилом для определения размеров заготовок при вытяжке является равенство объемов заготовки и готовой детали, так как в процессе пластической деформации объем детали остается постоянным. При вытяжке без утонения стенок изменением толщины материала обычно пренебрегают и определение размеров заготовки производят по равенству площади поверхности заготовки и готовой детали с припуском на обрезку.

Рассмотрим два варианта расчета диаметра заготовок для вытяжки круглых деталей:

- 1) для вытяжки круглых деталей (являющихся телами вращения) простой формы;
- 2) для вытяжки круглых деталей сложной формы.

Порядок расчета для вытяжки круглых деталей простой формы:

- а) вычерчивается деталь по средней линии в соответствии с размерами последнего перехода вытяжки (или калибровки);
- б) определяется припуск на обрезку по табл. 1 или 2;
- в) определяется значение диаметра по формулам табл. 32 [1];
- г) к расчетному диаметру суммируется двусторонний припуск на обрезку;
- д) находится действительный диаметр заготовки по формуле

$$D_d = D_p \sqrt{\beta}, \quad (1.2)$$

где D_d и D_p – действительный и расчетный диаметры заготовки; β – коэффициент увеличения поверхности (определяют по табл. 33 [1]).

Порядок расчета размеров заготовки для вытяжки круглых деталей сложной формы:

- а) вычерчивается деталь по средней линии в соответствии с размерами последнего перехода вытяжки (или калибровки);
- б) определяется припуск на обрезку по табл. 1 или 2;
- в) контур детали разбивается на элементарные участки и подсчитываются размеры отдельных элементов;
- г) определяются значения площадей боковых поверхностей каждого элементарного участка детали по формулам табл. 31 [1];
- д) определяется диаметр заготовки детали по формуле

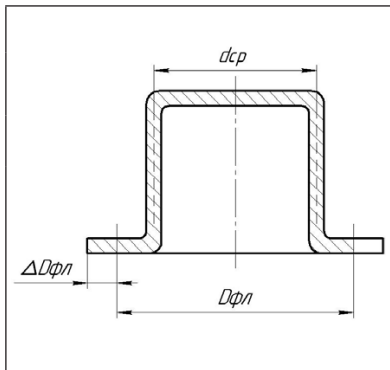
$$D = 1,13 \sqrt{F} = 1,13 \sqrt{\Sigma f \cdot \beta}, \quad (1.3)$$

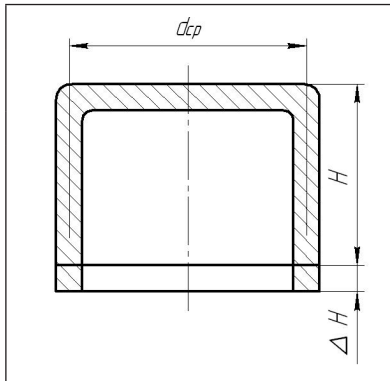
где F – площадь поверхности готовой детали, мм²; Σf – сумма площадей отдельных элементов поверхности детали, мм²; β – коэффициент увеличения поверхности (определяют по табл. 33 [1]);

е) к расчетному диаметру суммируется двусторонний припуск на обрезку.

Таблица 1

Односторонний припуск ($\Delta D_{\text{фл}}$) на обрезку деталей с фланцем

	$D_{\text{фл}}$, мм	$D_{\text{фл}}/d_{\text{ср}}$			
		до 1,5	св. 1,5 до 2,0	св. 2,0 до 2,5	св. 2,5 до 3,0
			$\Delta D_{\text{фл}}$, мм		
25	2,5	2,0	1,5	1,0	
50	3,5	3,0	2,5	2,0	
100	4,5	4,0	3,0	2,5	
150	5,5	4,7	3,7	3,0	
200	6,5	5,5	4,5	3,5	
250	7,5	6,2	5,2	4,0	
300	8,5	7,0	6,0	4,5	

Припуск (ΔH) на обрезку деталей с фланцем


H , мм	H/d_{cp}			
	св. 0,5 до 0,8	св. 0,8 до 1,6	св. 1,6 до 2,5	св. 2,5 до 4,0
	ΔH , мм			
10	1,5	2,0	2,5	3,0
20	2,0	2,5	3,5	4,0
50	3,0	3,5	5,0	5,5
100	5,0	5,5	7,5	8,5
150	6,0	6,5	9,0	10,0
200	7,0	7,5	10,5	11,5
250	8,0	9,5	13,0	14,0
300	10,0	11,5	15,0	16,0

1.3.2. Определение размеров и конфигураций заготовок для вытяжки прямоугольных коробчатых деталей

Вытяжка прямоугольных коробчатых деталей представляет собой сложный процесс холодной штамповки, так как деформация вдоль периметра прямоугольной детали переменна. Распространенное представление о том, что вытяжка происходит лишь в углах прямоугольной детали, а прямые стенки просто отгибаются, является упрощенным и недостаточно точным. Но для низких прямоугольных коробок ($H = 0,3 B$) можно пренебречь деформацией прямых стенок и с некоторой погрешностью считать, что они просто отгибаются. Для более высоких коробок ($H \geq 0,5 B$) этой деформацией пренебрегать нельзя.

В технологическом отношении следует строго отличать вытяжку низких прямоугольных коробок, вытягиваемых в одну операцию, от вытяжки высоких коробок, изготавливаемых за несколько последовательных операций. Технологические расчеты и построение заготовок для них совершенно различны, так как в первом случае окончательная форма изделия получается путем вытяжки плоской заготовки, а во втором — заготовки, имеющей полулю пространственную форму.

Наибольшая относительная высота прямоугольных коробок, вытягиваемых за одну операцию, зависит от ширины коробки B , относительного радиуса закругления в углах и у дна r/B и относи-

тельной толщины заготовки S/D . Приближенные значения высоты приведены в табл. 3.

Таблица 3

Относительная высота прямоугольных коробок, вытягиваемых в одну операцию (стали 08–10)

Относительный радиус закруглений r/δ	Относительная высота H/B при относительной толщине заготовок (S/D) 100 %			
	2,0–1,5	1,5–1,0	1,0–0,5	0,5–0,2
0,30	1,2–1,0	1,1–0,95	1,0–0,9	0,9–0,85
0,20	1,0–0,9	0,9–0,82	0,85–0,70	0,8–0,7
0,15	0,9–0,75	0,8–0,7	0,75–0,65	0,7–0,6
0,10	0,8–0,6	0,7–0,55	0,65–0,5	0,6–0,45
0,05	0,7–0,5	0,6–0,45	0,55–0,4	0,5–0,35
0,02	0,5–0,4	0,45–0,35	0,4–0,3	0,35–0,25

Примечание

1. Кроме относительных величин r/δ и S/D возможная высота вытяжки зависит от абсолютных размеров прямоугольных коробок. Поэтому наибольшие значения из приведенных в таблице относятся к коробкам небольших размеров ($B < 100$ мм), а меньшие значения – к крупным коробкам.
2. Для других материалов следует применять поправки в ту или другую сторону в соответствии с большей или меньшей пластичностью металла. Например, для стали IX18H9T и алюминия поправочный коэффициент приблизительно равен 1,1–1,15, для сталей 20–25 соответствует 0,85–0,9.

В высоту коробки H входит припуск на обрезку, величина которого приведена в табл. 4. Общая высота прямоугольной коробки, принимаемая в технологических расчетах,

$$H = H_0 + \Delta H_0 = (1 + \Delta)H_0, \quad (1.4)$$

где H_0 – высота коробки по чертежу.

Таблица 4

Припуск на обрезку прямоугольных коробок

Количество операций вытяжки	Припуск на обрезку ΔH_0
1	(0,03–0,05) H_0
2	(0,04–0,06) H_0
3	(0,05–0,08) H_0
4	(0,06–0,10) H_0

Существующие методы расчета заготовок для вытяжки прямоугольных коробок охватывают лишь отдельные частные случаи без четкого указания пределов их применения.

На рис. 4 показаны отдельные области, которым соответствуют разные способы построения формы заготовки (в зависимости от сочетания указанных параметров коробки и различной степени вытеснения металла в боковые стенки). Кривые 1 и 2 указывают наибольшую высоту коробок, вытягиваемых в одну операцию при относительной толщине заготовок:

$$(S/D)100 = 2 \quad \text{и} \quad (S/D)100 = 0,6.$$

Выше этих граничных кривых находится область многооперационной вытяжки (1а–1с), а ниже – область однооперационной вытяжки. Последняя подразделена на три отдельные области по степени вытеснения металла из угловых закруглений в боковые стенки коробки: IIа, IIб, IIс.

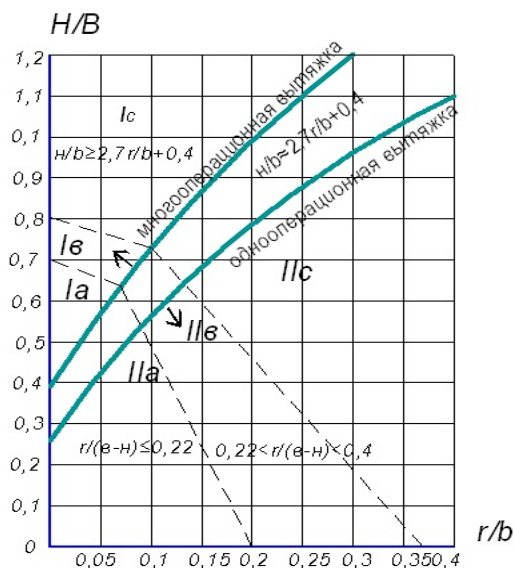


Рис. 4. Параметры различных случаев вытяжки прямоугольных коробчатых деталей

Рассмотрим три варианта построения контура заготовок:

- 1) для вытяжки низких коробок с относительно малыми радиусами угловых закруглений, выражаемых зависимостью $r/(B - H) \leq 0,22$;
- 2) для вытяжки квадратных коробок;
- 3) для вытяжки продолговатых коробок с двумя углами.

Вытяжка деталей, указанных в п. 1, характеризуется незначительным вытеснением металла из угловых закруглений в боковые стенки коробок без изменения их высоты (область *IIa*).

При построении формы заготовок для низких коробок с относительно малыми радиусами угловых закруглений условно принимают, что вытяжка происходит только в углах коробки, а прямоугольные участки стенок отгибаются. Конфигурация заготовки получается путем геометрической развертки элементов прямоугольной коробки на плоскость основания с вычерчиванием плавного контура в углах развертки (рис. 5).

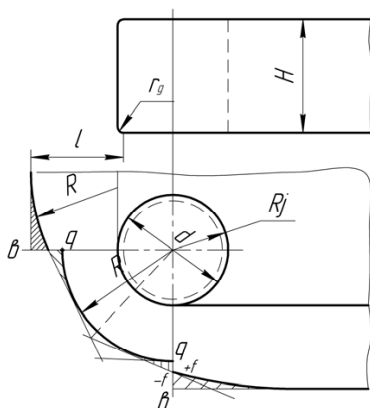


Рис. 5. Построение контура заготовки для низких прямоугольных коробок, вытягиваемых в одну операцию

Расчет и построение ведут в следующем порядке (по средней линии).

1. По заданным размерам коробки определяют длину отгибаемой части стенок l , включая закругления у дна:

$$l = H + 0,57r_{\text{д}} \quad (1.5)$$

2. Находят радиус заготовки в углах R как для вытяжки четверти цилиндрического стаканчика диаметром d и высотой H . При равенстве радиусов углового и донного закруглений ($r_y = r_d = r$)

$$R = \sqrt{2rH} = \sqrt{dH}. \quad (1.6)$$

При разных радиусах закруглений в углах и у дна коробки

$$R = \sqrt{r_y^2 + 2r_y H - 0,86r_d(r_y + 0,16r_d)}. \quad (1.7)$$

3. Строят заготовку со ступенчатым переходом от закругления к прямым стенкам.

4. Отрезки ab делят пополам и проводят касательные к окружности радиуса R .

5. Углы между касательными и прямыми стенками закругляют радиусом R .

При данном построении контура заготовки вытянутые низкие прямоугольные коробки с малым радиусом углового закругления, как правило, не требуют обрезки, так как избыточный против расчетного металл в угловом закруглении (+ f) вытесняется в боковые стенки и компенсирует срезанные участки заготовки (- f).

В зависимости от относительного радиуса углового закругления могут быть получены различные формы в углах заготовки.

На рис. 6 показаны различные формы контура в углах прямоугольной заготовки.

Рис. 6, *a* при $R = 0,54(h + 1,57r)$ – прямая линия.

Рис. 6, *б* при $R > 0,54(h + 1,57r)$ – выпуклый контур.

Рис. 6, *в* при $R < 0,54(h + 1,57r)$ – вогнутый контур.

Приведенные схемы построены при $r = r_y = r_d$.

Площади поверхности $f_1 = f_2 = f_3 = f_4$.

В случае вытяжки коробки с обрезкой фланца размер развертки L подсчитывается с учетом припуска на обрезку. При этом большой точности построения контура заготовки не требуется. Можно применять прямоугольную заготовку со срезанными углами.

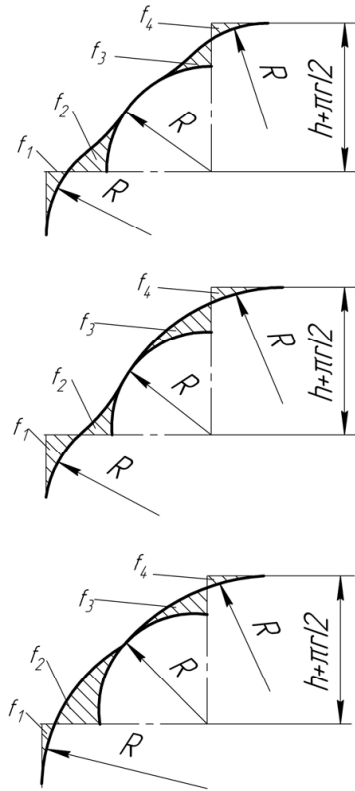


Рис. 6. Различные случаи закруглений в углах заготовки

Заготовка для вытяжки квадратных коробок (п. 2) приближается к форме круга (рис. 7), диаметр которого определяется по формуле

$$D_{\text{заг}} = 1,13 \sqrt{B^2 - 0,86r_n^2 + 4(B - 0,43r_n)(H_{\text{пр}} - 0,73r_d)}. \quad (1.8)$$

Принятые обозначения в формуле (1.8) показаны на рис. 7.

Для построения контура заготовок продолговатых (с двумя углами) коробок (рис. 8) за основу также принимают условие сохранения равенства площадей поверхности детали и заготовки. Рассмотрим методику определения «развёртки» низких продолговатых коробок (при $h \leq 0,8B$).

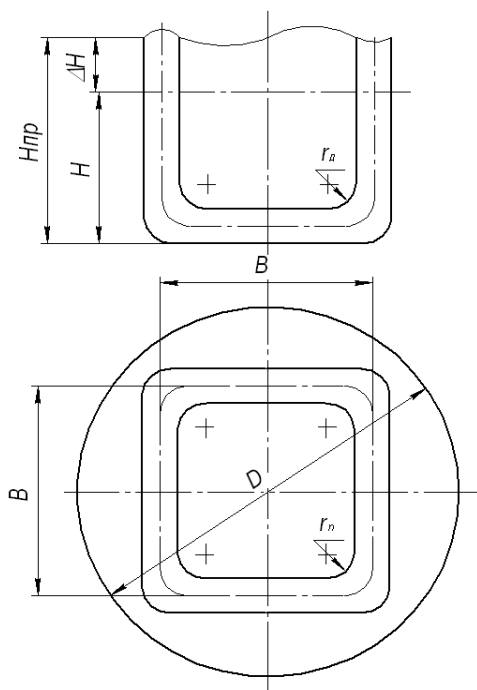


Рис. 7. К расчету заготовки для квадратной коробки

Ширину прямолинейного участка $2L$ (рис. 8) находят из условий гибки, радиус R_1 – из условий вытяжки. Их значения для коробки без фланца рассчитывают по формулам:

$$2L = 2(R + b - 0,43r) \quad \text{или} \quad L = R + h - 0,43r, \quad (1.9)$$

$$R_1 = \sqrt{R^2 + 2R(h - 0,43r) - 0,14r^2},$$

где r , R и h – взяты по средней линии.

R_2 и φ , необходимые для построения заготовки, находим по формулам:

$$R_2 = \frac{L + 3R_1}{2} \text{ (мм);} \quad \varphi = 2\sqrt{\frac{L - R_1}{L + R_1}} \text{ (радиан)}. \quad (1.10)$$

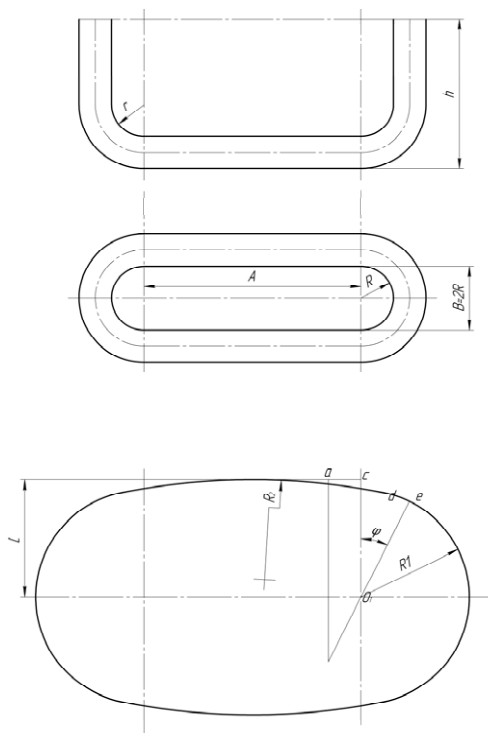


Рис. 8. Схема построения контура заготовки продолговатых коробок

1.4. Степень деформации. Определение количества вытяжных операций

1.4.1. Степень деформации

В зависимости от соотношения высоты и диаметра вытягиваемой детали, а также от относительной толщины заготовки вытяжка может быть выполнена за одну или несколько операций. Необходимо, чтобы вытяжка была произведена за наименьшее количество операций, выполняемых с возможно большей степенью деформации.

Наиболее распространенным показателем степени деформации является коэффициент вытяжки

$$m = d/D, \quad (1.11)$$

где d – диаметр детали, мм; D – диаметр заготовки, мм.

Численное значение m находится в обратной зависимости от степени деформации k (чем меньше m , тем больше степень деформации k).

Предельная деформация при первой вытяжке ограничена тремя основными причинами.

1. Недостаточная пластичность металла обуславливает повышенное сопротивление плоского фланца деформированию, что приводит к увеличению растягивающих напряжений в опасном сечении и отрыву дна.

2. Образование складок (гофров) в результате потери устойчивости фланца заготовки резко увеличивает сопротивление вытяжке и вызывает преждевременный обрыв заготовки.

3. Малая величина радиуса закруглений вытяжных кромок матрицы вызывает увеличение сопротивления вытягиваемой плоской заготовки в отверстие матрицы и приводит к повышению растягивающих напряжений в опасном сечении.

1.4.2. Определение количества вытяжных переходов для цилиндрических деталей

Коэффициенты вытяжки цилиндрических деталей без фланца выражаются соотношениями:

- для первой вытяжки $m_1 = d_1/D$;
- для второй вытяжки $m_2 = d_2/d_1$;
- для последующих вытяжек $m_n = d_n/d_{n-1}$.

Установив правильную величину коэффициентов вытяжки по операциям, находят размеры последующих вытяжек:

$$d_1 = m_1 \cdot D; \quad d_2 = m_2 \cdot d_1; \quad d_n = m_n \cdot d_{n-1},$$

а также количество операций вытяжки.

В табл. 45 [1] приведены оптимальные значения коэффициентов вытяжки цилиндрических деталей без фланца (при вытяжке с прижимом). Меньшие значения соответствуют повышенной величине показателя анизотропии ($R_{cp} = 1,5 - 1,7$) и большему радиусу закруглений на первых операциях, а большие значения – меньшей величине показателя анизотропии.

При вытяжке менее пластичных металлов (стали 20–25, Ст 2, Ст 3, наклепанный алюминий, латунь) коэффициент вытяжки сле-

дует брать на 1,5–2 % больше, а при вытяжке более пластичных металлов (стали 05, 08кл, алюминий) на 1,5 – 2 % меньше по сравнению со значениями, приведенными в табл. 45 [1].

Технологические расчеты вытяжки цилиндрических деталей с фланцем имеют ряд отличительных особенностей.

Основные правила при вытяжке деталей с широким фланцем:

1) в первую операцию вытягивается деталь с заданным по чертежу диаметром фланца (с прибавлением припуска на обрезку) при допустимых коэффициентах вытяжки;

2) в последующих операциях производится перераспределение металла вытянутой цилиндрической части заготовки путем увеличения высоты и уменьшения диаметра вытяжки без деформирования фланца, полученного в первой операции, и без изменения его диаметра (рис. 9);

3) в первой операции в матрицу должно быть втянуто столько металла, сколько требуется для образования окончательно вытянутой части изделия.

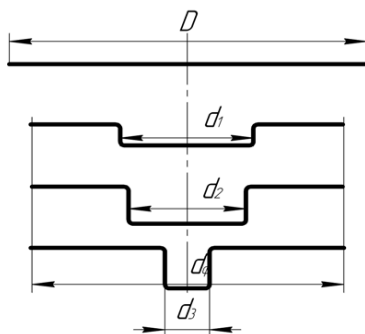


Рис. 9. Последовательность вытяжки детали с широким фланцем

В табл. 53 [1] приведены предельно допустимые коэффициенты первой вытяжки $m_1 = d_1/D$ для цилиндрических деталей с фланцем, которые уменьшаются по мере увеличения размеров фланца.

Количество последующих операций определяется необходимостью перетяжки диаметра первой вытяжки в требуемый диаметр детали d_n . Технологические расчеты переходов производятся по коэффициентам вытяжки, не зависящим от размера фланца:

$$m_n = d_n / d_{n-1}.$$

Величина этих коэффициентов может быть взята равной коэффициентам вытяжки цилиндрических деталей без фланца (табл. 45 [1]).

1.4.3. Определение количества вытяжных переходов при вытяжке коробчатых деталей

Технологические расчеты при вытяжке низких прямоугольных коробок, вытягиваемых в одну операцию, состоят из следующих этапов:

- 1) проверка возможности вытяжки коробки в одну операцию;
- 2) построение контура плоской заготовки и подсчет ее размеров (рис. 5);
- 3) проверка степени деформации в углах коробки по коэффициентам вытяжки.

Проверка возможности вытяжки коробки в одну операцию проводится по табл. 3 в зависимости от соотношения геометрических параметров коробки (r/B и S/B).

Способ расчета и построения формы заготовки определяется большей или меньшей возможностью вытеснения металла из угловых закруглений в боковые стенки коробки.

В табл. 5 приведены приближенные значения коэффициентов вытяжки для низких квадратных и прямоугольных коробок, вытягиваемых в одну операцию. В случае вытяжки менее пластичных металлов (стали 20–25 и т. п.) коэффициенты вытяжки нужно брать по верхнему пределу. А при вытяжке более пластичных металлов (алюминий, сталь 08ВГ и т. п.) – по нижнему пределу. Величина B означает ширину заготовки. Большие значения относятся к вытяжке квадратных коробок, а меньшие – к вытяжке удлиненных прямоугольных коробок.

Выбор коэффициента вытяжки по табл. 5 позволит избежать применения недопустимой степени деформации или выявить необходимость калибровочной операции.

В табл. 6–8 приведены более точные допустимые коэффициенты первой вытяжки для деталей типа коробок из плоских заготовок для сталей 08, 08кп, 10, 15пс и мягкой латуни.

Для вытяжки из сталей типа 08кп(ВГ), 08ю(СВ), 08ю(ОСВ) и алюминия значения m следует уменьшать на 1,5–2 %.

Для вытяжки из сталей 20, 25, Ст 2, Ст 3, нагартованных алюминия и латуни значения m следует увеличивать на 2–3 %.

Таблица 5

Коэффициенты угловой вытяжки m для низких квадратных и прямоугольных коробок, вытягиваемых за одну операцию (сталь 10)

Отношение r/v	Коэффициенты при относительной толщине заготовок $(S/D) 100 \%$		
	2,0–1,0	1,0–0,5	0,5–0,2
0,40	0,40–0,42	0,42–0,45	0,44–0,48
0,30	0,36–0,38	0,38–0,40	0,40–0,42
0,20	0,33–0,34	0,34–0,36	0,36–0,38
0,10	0,30	0,32	0,33
0,05	0,29	0,30	0,32

Таблица 6

Допускаемые коэффициенты первой вытяжки продолговатых коробок при $a \neq b$ (рис. 13)

Длина сторон		$(S/2r) \cdot 100 \%$					
короткая a	длинная b	св. 0,1 до 0,3	св. 0,3 до 0,6	св. 0,6 до 1,0	св. 1,0 до 1,5	св. 1,5 до 2,0	св. 2,0
r	$1,5r$	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50	0,47
	$2r$	0,56	0,54	0,52	0,50	0,48	0,46
	$3r$	0,55	0,53	0,51	0,49	0,47	0,45
	$5r$	0,53	0,51	0,49	0,47	0,45	0,43
	$8r$	0,49	0,47	0,45	0,43	0,41	0,39
	$\geq 10r$	0,47	0,45	0,43	0,41	0,39	0,37
$2r$	$3r$	0,54	0,52	0,50	0,48	0,46	0,44
	$4r$	0,53	0,51	0,49	0,47	0,45	0,43
	$6r$	0,50	0,48	0,46	0,44	0,42	0,40
	$\geq 10r$	0,46	0,44	0,42	0,40	0,38	0,36
$3r$	$4,5r$	0,51	0,49	0,47	0,45	0,43	0,41
	$6r$	0,49	0,47	0,45	0,43	0,41	0,39
	$9r$	0,46	0,44	0,42	0,40	0,38	0,36
	$\geq 10r$	0,44	0,42	0,40	0,38	0,36	0,34

Длина сторон		$(S/2r) \cdot 100 \%$					
короткая a	длинная b	св. 0,1 до 0,3	св. 0,3 до 0,6	св. 0,6 до 1,0	св. 1,0 до 1,5	св. 1,5 до 2,0	св. 2,0
$4r$	$6r$	0,48	0,46	0,44	0,42	0,40	0,38
	$8r$	0,46	0,44	0,42	0,40	0,38	0,36
	$\geq 10r$	0,43	0,41	0,39	0,37	0,35	0,33
$5r$	$7,5r$	0,44	0,42	0,40	0,38	0,36	0,34
	$\geq 10r$	0,42	0,40	0,38	0,36	0,34	0,32
$6r$		0,41	0,39	0,37	0,35	0,33	0,31
$7r$		0,40	0,38	0,36	0,34	0,32	0,30
$8r$		0,38	0,36	0,34	0,32	0,30	0,28
$9r$		0,37	0,35	0,33	0,31	0,29	0,27
$10r$		0,36	0,34	0,32	0,30	0,28	0,26

Таблица 7

Допускаемые коэффициенты первой вытяжки продолговатых коробок при $a = 0$ (рис. 13)

e	$(S/2r) \cdot 100 \%$					
	св. 0,1 до 0,3	св. 0,3 до 0,6	св. 0,6 до 1,0	св. 1,0 до 1,5	св. 1,5 до 2,0	св. 2,0
r	0,59	0,57	0,56	0,53	0,51	0,49
$2r$	0,58	0,56	0,54	0,52	0,50	0,48
$3r$	0,56	0,54	0,52	0,50	0,48	0,46
$4r$	0,55	0,53	0,51	0,49	0,47	0,45
$5r$	0,54	0,52	0,50	0,48	0,46	0,44
$6r$	0,53	0,51	0,49	0,47	0,45	0,43
$7r$	0,52	0,50	0,48	0,46	0,44	0,42
$8r$	0,50	0,48	0,46	0,44	0,42	0,40
$9r$	0,49	0,47	0,45	0,43	0,41	0,39
$10r$	0,48	0,46	0,44	0,42	0,40	0,38

Допускаемые коэффициенты первой вытяжки
квадратных коробок (рис. 13)

$a(\%)$	$(S/2r) \cdot 100 \%$					
	св. 0,1 до 0,3	св. 0,3 до 0,6	св. 0,6 до 1,0	св. 1,0 до 1,5	св. 1,5 до 2,0	св. 2,0
r	0,58	0,56	0,54	0,52	0,50	0,48
$2r$	0,55	0,53	0,51	0,49	0,47	0,45
$3r$	0,53	0,51	0,49	0,47	0,45	0,43
$4r$	0,50	0,48	0,46	0,44	0,42	0,40
$5r$	0,48	0,46	0,44	0,42	0,40	0,38
$6r$	0,46	0,44	0,42	0,40	0,38	0,36
$7r$	0,43	0,41	0,39	0,37	0,35	0,33
$8r$	0,41	0,39	0,37	0,35	0,33	0,31
$9r$	0,38	0,36	0,34	0,32	0,30	0,28
$10r$	0,36	0,34	0,32	0,30	0,28	0,26

1.4.4. Радиусы закруглений пуансонов и матриц

После установления коэффициентов вытяжки и определения количества операций находят последовательность изменения диаметров вытяжки, одновременно устанавливая постепенно уменьшающиеся радиусы закруглений.

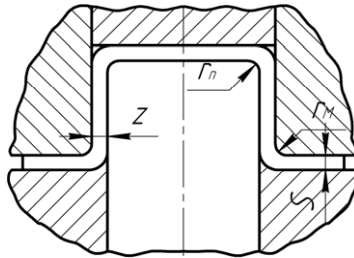


Рис. 10. Схема вытяжки

Среднее значение радиуса закругления матрицы (рис. 10) рекомендуется определять (с округлением до целых чисел) по формуле

$$r_m = K \cdot \sqrt{(D-d) \cdot S}, \quad (1.12)$$

где D — диаметр плоской заготовки или предыдущей вытяжки; d — диаметр детали после данного перехода; K — коэффициент, зависящий от толщины металла (табл. 9).

Наиболее распространенные значения радиусов матрицы приведены в табл. 10.

Таблица 9

Значения коэффициента k для расчета радиуса закругления матрицы

S , мм	до 0,6	св. 0,6 до 1,0	св. 1,0 до 2,0	св. 2,0 до 4,0	св. 4,0 до 6,0	св. 6,0 до 10,0
k	1,00	0,90	0,85	0,80	0,70	0,60

Таблица 10

Распространенные значения радиусов матрицы

$D-d$, мм	S , мм					
	до 1,0	св. 1,0 до 1,5	св. 1,5 до 2,0	св. 2,0 до 3,0	св. 3,0 до 4,0	св. 4,0 до 6,0
До 10	3	4	5	6	7	9
Св. 10 до 20	4	5	6	7	9	11
Св. 20 до 30	5	6	7	8	11	13
Св. 30 до 40	6	7	8	9	12	14
Св. 40 до 50		8	9	10	13	16
Св. 50 до 60	7	9	10	11	14	17
Св. 60 до 70			11	12	15	19
Св. 70 до 80	8	10	12	13	16	20
Св. 80 до 90			13	14	17	21
Св. 90 до 100	9	11	14	15	18	22
Св. 100 до 110				16	19	23
Св. 110 до 120	10	12	15	17	20	24
Св. 120 до 130				18	21	25
Св. 130 до 140	11	13	16	19	22	26
Св. 140 до 150				20	23	27
Св. 150 до 160	12	14	17	21	24	28

Уменьшенный радиус способствует более интенсивному торможению штампуемого металла в процессе вытяжки и может привести к образованию в нем разрывов. На последних переходах радиус матрицы постепенно приближают к размеру, указанному на чертеже.

Радиусы пуансонов r_n для первых переходов рекомендуется принимать равными радиусам матрицы. При соответствующих значе-

ниях коэффициентов вытяжки допускается уменьшать радиусы пуансонов до $r_n < (0,5 - 1) S$.

В процессе калибровки и чеканки можно получать детали с радиусом $r_n < 0,5 S$.

Промежуточные переходы для цилиндрических деталей сводятся к трем основным формам:

- 1) с плоским дном и закруглением (рис. 11, а);
- 2) с дном в виде усеченного конуса (рис. 11, б);
- 3) со сферическим дном (рис. 11, в).

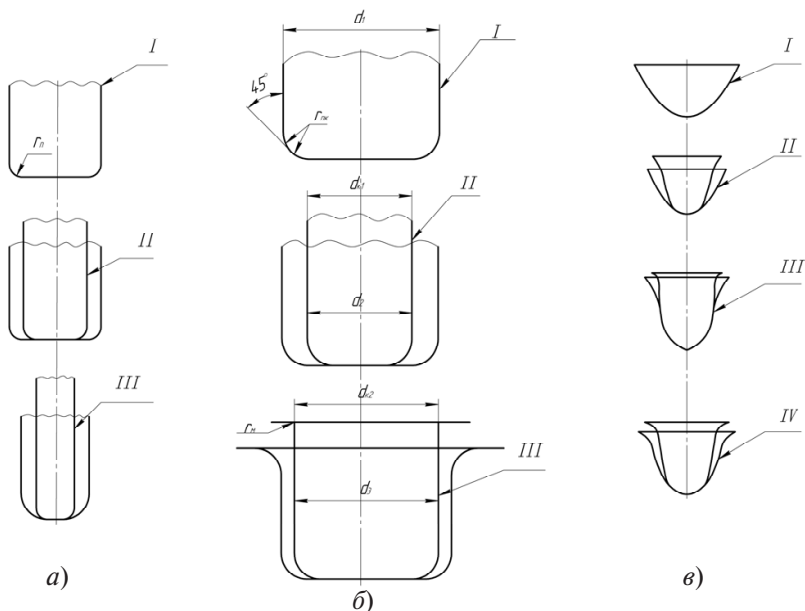


Рис. 11. Формы переходов при вытяжке

Эти формы могут быть без фланца и с фланцем в зависимости от выбранного технологического процесса и детали. Если фланец незначительно больше диаметра вытяжки, то один или несколько переходов выполняются без него, а затем образуется фланец. Когда деталь задана с большим фланцем, то все промежуточные переходы выполняются с фланцем.

Первая форма (а) применима для любых размеров цилиндра; вторая (б) – при диаметрах цилиндра более 20 мм; третья (в) – для

мелких деталей, особенно при последовательной вытяжке в ленте. В переходах с усечённым конусом радиус $r_{н.к}$ следует определять по эмпирической формуле (с округлением до целых чисел):

$$r_{н.к} = \frac{d}{10} - 1,$$

где d – диаметр вытяжки.

Коэффициенты вытяжки должны быть близкими и предельными. Если вытяжка выполняется при малых степенях деформации, то переходы следует строить с одним закруглением. Рекомендуемые значения радиусов закругления $r_{н.к}$ для некоторых распространённых диаметров вытяжки даны в табл. 11.

Таблица 11

Рекомендуемые значения радиусов $r_{н.к}$ для некоторых распространённых диаметров вытяжки

d , мм	20	30	40	50	60	70–80	90–100	110–120	св. 120
$r_{н.к}$, мм	0,5–1	1–2	2–3	3–4	4–5	5–7	7–9	9–10	10–12

1.4.5. Определение глубины вытяжки по переходам

В табл. 49 [1] приведены формулы для подсчета высоты цилиндрических деталей (глубина вытяжки) на каждой операции.

При выводе расчетных формул приняты следующие условия и допущения:

- 1) для цилиндра с плоским дном $r = 0$;
- 2) для цилиндра с закруглениями у дна

$$r = (d_1 - d_2)/2;$$

$$r = (d_2 - d_3)/2;$$

- 3) для цилиндра со скосами у дна их катеты

$$a_1 = (d_1 - d_2)/2;$$

$$a_2 = (d_2 - d_3)/2; \quad \alpha = 45^\circ;$$

4) для цилиндра с широким фланцем радиусы закруглений у дна и фланца приняты одинаковыми;

5) для всех форм (кроме цилиндра с утоненными стенками) изменение толщины материала не учитывается, что несколько увеличивает фактическую высоту вытяжки против расчетной.

1.5. Определение усилий вытяжки и прижима

Усилие вытяжки изменяется на протяжении рабочего хода пуансона, достигая максимума при глубине $h = (0,4 - 0,6)H$, где H – полная глубина вытяжки.

На рис. 12 приведены три экспериментальные кривые изменения усилий вытяжки, полученные при одинаковых размерах заготовки и одинаковых коэффициентах вытяжки:

кривая 1 – для стали 08;

кривая 2 – для латуни Л62;

кривая 3 – для алюминия.

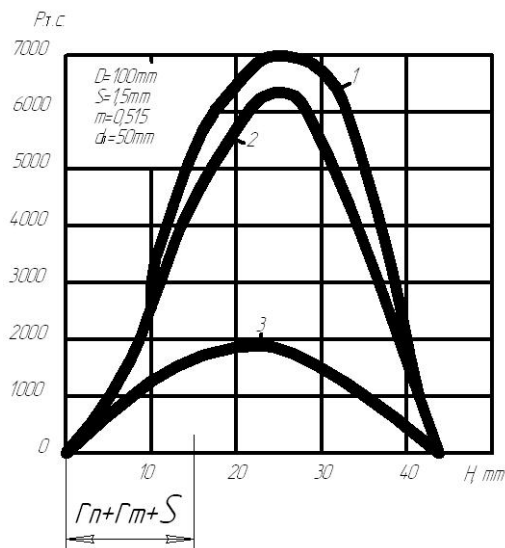


Рис. 12. Экспериментальная кривая усилия вытяжки

На практике получили применение инженерные формулы для определения усилия вытяжки, которые исходят из известного положения, что допустимые напряжения в опасном сечении должны быть меньше разрушающих, а следовательно, наибольшее усилие предельно возможной вытяжки должно быть меньше усилия, необходимого для разрыва боковых стенок изделия около дна (в опасном сечении):

$$P_p \leq LS\sigma_p, \quad (1.13)$$

где L – длина периметра изделия (по среднему диаметру); $\sigma_p = \sigma_b \cdot (1 + \sigma_b)$ – разрушающее напряжение в опасном сечении, равное для стали $10-1,2\sigma_b$, где σ_b – равномерное относительное удлинение.

Практические формулы для определения усилий вытяжки изделий различной геометрической формы приведены в табл. 72 [1].

Коэффициенты к этим формулам даны в табл. 73–77 [1].

Определение давления прижима имеет в основном расчетное и конструктивное значение для нахождения полного усилия расчета вытяжки, буфера, пружин и т. д. На практике необходимое давление прижима устанавливается по отсутствию складкообразования и разрыва металла.

Расчетное усилие прижима находится по следующим формулам:

1) усилие прижима для вытяжки деталей любой формы (в общем виде)

$$Q = Fq; \quad (1.14)$$

2) усилие прижима для первой вытяжки цилиндрических деталей (из плоской заготовки)

$$Q = 0,25\pi [D^2 - (d_1 + 2r_m)^2]q; \quad (1.15)$$

3) усилие прижима для последующих вытяжек цилиндрических деталей (из пустотелых заготовок)

$$Q = 0,25\pi [d_{n-1}^2 - (d_n + 2r_m)^2]q, \quad (1.16)$$

где F – площадь заготовки под прижимом; q – давление прижима, кг/мм²; d_1, \dots, d_n – диаметры вытяжки (матрицы) на первой и n -й операциях; r_m – радиус закругления вытяжной кромки матрицы, мм.

Удельное давление прижима рекомендуется определять по формуле

$$Q = 0,0025 [(D_{\text{заг}}/d - 1)^2 - 0,5 d/100S] \sigma_b, \quad (1.17)$$

где $D_{\text{заг}}$ – диаметр заготовки, мм; d – диаметр вытяжки, мм; S – толщина исходного материала, мм; σ_b – предел прочности материала, кгс/мм².

Полное усилие вытяжки для простого действия

$$P = P_p + Q, \quad (1.18)$$

где P_p – расчетное усилие вытяжки; Q – усилие прижима (буфера).

У крупных вытяжных прессов двойного действия усилие прижима обычно составляет 0,5–0,6 номинального усилия пресса (на вытяжном ползуне). При применении пневматических или гидropневматических буферных устройств на прессах простого действия усилие прижима обычно не превышает 25 % от номинального усилия пресса.

Усилие прижима на второй операции вытяжки меньше, чем на первой.

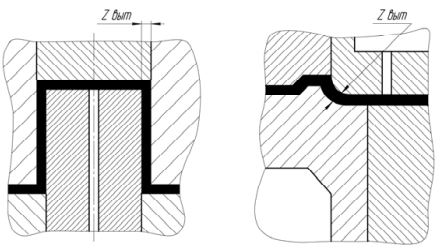
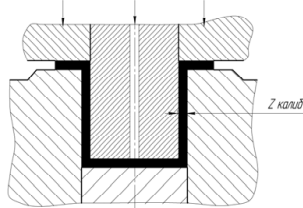
1.6. Зазоры при вытяжке

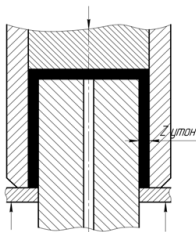
При обычной вытяжке деталей больших и средних размеров для уменьшения трения между матрицей и материалом применяется зазор между вытяжным пуансоном и матрицей. Установить единую величину зазоров, применимых во всех случаях вытяжки, невозможно, так как вытянутые детали сильно различаются по габаритам, степени точности и техническим условиям, а также по способу вытяжки.

Односторонние оптимальные зазоры даны в табл. 12. Значения коэффициентов – в табл. 13 и 14.

Таблица 12

Односторонние оптимальные зазоры между пуансоном и матрицей

Процесс и его схема	Односторонний зазор
	<p>При переходах:</p> <ul style="list-style-type: none"> • первых и промежуточных $Z_{\text{выт}} = K_1 S + S_{\text{max}}$ <ul style="list-style-type: none"> • завершающих без последующей калибровки $Z_{\text{выт}} = K_2 S + S$
	$Z_{\text{калиб}} = K_3 S + S_{\text{min}}$

Процесс и его схема	Односторонний зазор
	$Z_{\text{утон}} = S_{\text{заг}} - K_4 \cdot S_{\text{заг}}$

Примечание

1. Значение коэффициентов K_1, K_2, K_3 принимать по табл. 13, а K_4 – по табл. 14.
2. При первой вытяжке коробчатых деталей зазор между матрицей и пуансоном в углах принимают на 5–10 % больше зазора для прямолинейных участков.
3. При сложных контурах производится индивидуальная пригонка матрицы с пуансоном по штампуемому материалу и окончательная доводка зазора при оладке штампа до получения годной детали.

Таблица 13

Величина коэффициентов K_1, K_2, K_3

Процесс	Коэффициент	Толщина материала S , мм			
		до 0,8	св. 0,8 до 2,0	св. 2,0 до 4,0	св. 4,0
Вытяжка (по переходам) первый	K_1	0,4–0,3	0,3–0,2	0,2–0,15	0,15–0,1
		0,3–0,2	0,2–0,15	0,15–0,1	0,1–0,05
последующий	K_2		0,2–0,15	0,15–0,1	0,1–0,05
завершающий	K_3	0,3–0,2	0,2–0,1	0,1–0,05	0,05–0,0
Калибровка: без утонения материала					
с утонением материала		(-0,1) – (-0,05)		(-0,05) – (-0,02)	

Примечание

1. Меньшие значения принимают при меньшем числе переходов и более точных работах.
2. При малой степени деформации (независимо от точности и числа переходов) рекомендуется меньшее значение коэффициентов.
3. При однооперационной вытяжке зазор $Z_{\text{выт}}$ следует рассчитывать по формуле табл. 12 для первого перехода вытяжки; соответствующий коэффициент K_1 выбирают в зависимости от степени деформации и требований чертежа детали.

Величина коэффициента K_4

Материал	Коэффициент K_4	
	при первом утонении	при последующих операциях
Сталь средней твердости	0,25–0,28	0,28–0,30
Сталь мягкая	0,28–0,30	0,30–0,32
Латунь, алюминий	0,30–0,32	0,32–0,35
Медь	0,32–0,35	0,35–0,40

Увеличенные зазоры при обычной вытяжке способствуют уменьшению сил трения и сопротивления вытяжке, уменьшению растягивающих напряжений в опасном сечении, а следовательно, увеличению степени деформации. Это не относится к вытяжке с утонением.

При вытяжке без прижима и без утонения стенок, учитывая возможность образования гофров, величину зазора необходимо брать наибольшей из приведённых пределов.

Правила направления зазора при вытяжке:

1) для всех операций, кроме последней, направление зазора безразлично;

2) для последней операции:

а) при вытяжке деталей с заданным наружным размером зазор делают за счёт пуансона, принимая

$$d_m = D_{\text{изд. нар}}; \quad d_n = d_m - 2Z;$$

б) при вытяжке деталей с заданным внутренним размером зазор делают за счёт матрицы, принимая

$$d_n = d_{\text{изд. вн}}; \quad d_m = d_n + 2Z.$$

1.7. Исполнительные размеры рабочих частей матриц и пуансонов при вытяжке

При определении исполнительных размеров инструмента следует исходить из размеров штампуемого изделия, его точности (допуска на размеры) и характера износа штампа.

Если на чертеже детали указан внутренний диаметр, то при расчёте исполнительных размеров инструмента за основу принимают

пуансон, а размеры матрицы подсчитывают в зависимости от размеров пуансона и технологического зазора.

В противном случае (на рабочем чертеже детали указан наружный диаметр) за основу принимается пуансон.

Исполнительные размеры рабочих контуров матрицы и пуансона определяются в соответствии с допускаемыми отклонениями размеров изделия по формулам, приведённым в табл. 15, где B – номинальный наружный диаметр контура детали; B – номинальный внутренний диаметр; B_m – исполнительный размер рабочего окна матрицы; B_{Π} – исполнительный размер рабочей части пуансона; Δ и Δ_1 – верхнее и нижнее допускаемые отклонения штампуемой детали; b_m и b_{Π} – допуск на изготовление соответственно матрицы и пуансона.

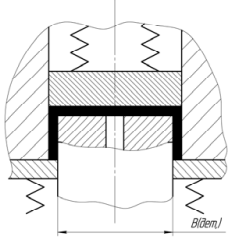
Допускаемые отклонения на неточность изготовления рабочих деталей b_m и b_{Π} следует принимать в зависимости от допуска на размеры детали:

- при допуске на деталь по 11-му и 12-му квалитетам – по $H7$ и $h6$;
- при допуске на деталь по 14, 15 и 16-му квалитетам – по $H9$ и $h9$.

Таблица 15

Формулы для расчета исполнительных размеров «основных» рабочих деталей штампов

Схема процесса	Как заданы предельные отклонения на штампуемую деталь	Основная рабочая деталь	Формула
	$B_{-\Delta_1}$	Матрица	$B_m = (B - 0,6_{\Delta_1})^{+\delta_m}$
	$B_{-\Delta_1}^{-\Delta}$		$B_m = (B - 0,4\Delta - 0,6_{\Delta_1})^{+\delta_m}$
	$B_{+\Delta_1}^{+\Delta}$		$B_m = (B + 0,4\Delta + 0,6_{\Delta_1})^{+\delta_m}$
	$B_{-\Delta_1}^{+\Delta}$		$B_m = (B + 0,4\Delta - 0,6_{\Delta_1})^{+\delta_m}$
	$B_{-\Delta}^+$		$B_m = (B - 0,2_{\Delta})^{+\delta_m}$
		При $\Pi_{\text{ин}} = 0,6\Pi^*$	

Схема процесса	Как заданы предельные отклонения на штампуемую деталь	Основная рабочая деталь	Формула
	$B^{+\Delta}$	Пуансон	$B_n = (B + 0,4\Delta)_{-\delta_n}$
	$B_{+\Delta}^{+\Delta}$		При $\Pi_{\text{ин}} = 0,4 \Pi_0^*$ $B_n = (B + 0,4\Delta + 0,6\Delta_1)_{-\delta_n}$
	$B_{-\Delta}^{+\Delta}$		$B_n = (B + 0,4\Delta - 0,6\Delta_1)_{-\delta_n}$
	$B_{-\Delta}^+$		$B_n = (B - 0,2\Delta)_{-\delta_n}$

* При условии, что размеры детали не выходят из поля допуска. В противном случае величину допуска на износ назначают индивидуально.

Допустимые отклонения на неточность изготовления рабочих деталей (δ_m и δ_n) следует принимать в зависимости от допуска на размеры детали:

- при допуске на деталь по 11-му и 12-му квалитетам – по $H 7$ и $h 6$;
- при допуске на деталь по 14, 15 и 16-му квалитетам – по $H 9$ и $h 9$.

2. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Исходные данные для определения основных параметров процесса вытяжки представлены в виде чертежа детали с указанием марки, толщины материала и вариантов размеров, заданных в виде таблицы. В графе «Примечания» преподавателем задается тип производства (серийное, крупносерийное, массовое). Принимается 12 квалитет точности для всех вариантов деталей.

Условия задач

Разработать схему технологического процесса:

- 1) описать схему процесса (характер, количество, последовательность и совмещенность операций);
- 2) проанализировать технологичность формы или конструктивных элементов детали;
- 3) определить форму и размеры заготовки, КИМ (для последовательной вытяжки в ленте);
- 4) найти коэффициенты вытяжки, размеры детали по переходам, радиусы закруглений по переходам;
- 5) вычислить потребные усилия;
- 6) определить зазоры при вытяжке и исполнительные размеры инструмента;
- 7) выбрать оборудование.

Пример выполнения задачи

Разработать технологический процесс вытяжки детали, изображенной на рис. 13. Материал детали – сталь 08кп ГОСТ 1050–84.

1. Разработка схемы штамповки

При разработке схемы технологического процесса следует установить характер, количество, последовательность и совмещенность операций, которые определяются геометрией детали, требуемой точностью, программой выпуска и условиями конкретного производства.

2. Анализ технологичности формы или конструктивных элементов детали (см. разд. 1.2)

1. Данная деталь симметрична и несложна в изготовлении.
2. Радиус закругления у дна находится в интервале

$$r \geq (2 - 4) S; \quad 4,2 \geq (4 - 8) \text{ мм.}$$

3. Проверим условия $d_{\phi} > 3d$, при $h \geq 2d$.

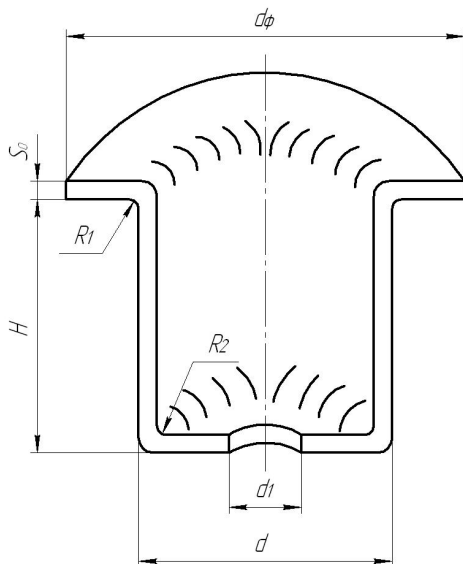


Рис. 13. Типовая деталь, полученная вытяжкой

На чертеже детали указаны размеры:

$h = 38$ мм, $d = 40$ мм, т. е. $h < d$;

$d_{\phi} = 58$ мм, $d = 40$ мм, т. е. $d_{\phi} < 3d$.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что деталь является технологичной. Анализ п. 4–6 разд. 1.2 не проводим.

3. Определение формы и размеров заготовки

Рассматриваемая деталь получена вытяжкой без утонения стенок. Следовательно, определение размеров заготовки производится по равенству площадей поверхности заготовки и готовой детали. Для данного случая вытяжки заготовка имеет форму круга, диаметр которого определили с помощью табл. 32 [1].

Для решения этой задачи воспользуемся алгоритмом расчета диаметра заготовок для вытяжки деталей простой формы п. 1.3.1.

1. Чертеж детали в соответствии с размерами последнего перехода вытяжки указан в задании.

2. Определим припуск на обрезку по табл. 1.

Найдем диаметр детали по средней линии:

$$d_{cp} = d - S = 40 - 2 = 38 \text{ мм.}$$

Тогда соотношение $d_{\phi} / d_{cp} = 58 / 38 = 1,53$.

По табл. 1 найдем односторонний припуск на обрезку деталей с фланцем.

3. Определим значение диаметра заготовки по формуле (12) в табл. 32 [1].

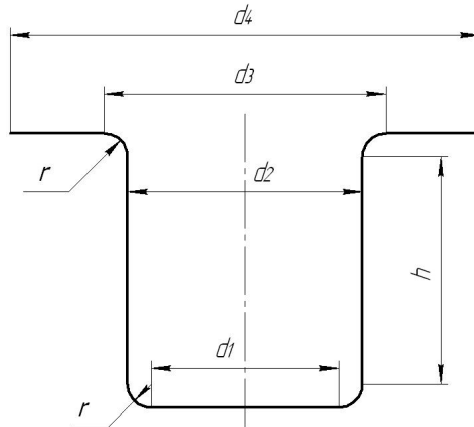


Рис. 14. Схема детали

При помощи чертежа детали (рис. 14) найдем размеры d_1, d_2, d_3, d_4, h :

$$h = H - R_1 - R_2 - S_0 = 38 - 4 - 4,2 - 2 = 27,8 \text{ мм;}$$

$$d_2 = d - 2 \cdot S_0 = 40 - 2 \cdot 2 = 36 \text{ мм;}$$

$$d_1 = d_2 - 2R_2 = 36 - 2 \cdot 4,2 = 27,6 \text{ мм;}$$

$$d_3 = d + 2R_1 = 40 + 2 \cdot 4 = 48 \text{ мм;}$$

$$d_4 = d_{\phi} + 2\Delta D_{\phi} = 58 + 2 \cdot 3 = 64.$$

Используя полученные данные и формулу табл. 32 [1], найдем диаметр заготовки:

$$\begin{aligned} D'_p &= \sqrt{d_1^2 + 4d_2h + 2\pi r(d_1 + d_2) + 4\pi r^2 + d_4^2 + d_3^2} = \\ &= \sqrt{27,6^2 + 4 \cdot 36 \cdot 27,8 + 2\pi \cdot 4,2(27,6 + 36) + 4\pi \cdot 4^2 + 64^2 - 48^2} = \\ &= 91,84 \text{ мм} \approx 92 \text{ мм.} \end{aligned}$$

4. К полученному диаметру прибавим двусторонний припуск на обрезку:

$$D_p = D'_p + 2\Delta D_\phi = 92 + 2 \cdot 3 = 98 \text{ мм.}$$

5. Действительный диаметр заготовки вычислим по формуле

$$D = D_p \sqrt{\beta},$$

где $\beta = 1,02$ (коэффициент вытяжки принимаем условно $m = 0,6$);

$$D = 98 \cdot \sqrt{1,02} = 98,9 \approx 99 \text{ мм.}$$

4. Определение коэффициентов вытяжки, размеров детали и радиусов закруглений по переходам

Для дальнейших расчётов найдём диаметр фланца с припуском на обрезку

$$D_\phi^p = D_\phi + 2\Delta D_\phi = 58 + 2 \cdot 3 = 64 \text{ мм.}$$

По табл. 53 [1] определим наименьшее значение коэффициента первой вытяжки для цилиндрических деталей с фланцем. Для этого найдём соотношения

$$(S/D) \cdot 100 = (2 \cdot 98) \cdot 100 = 2,02;$$

$$d_\phi / d = 64/40 = 1,6.$$

Тогда $m_1 = 0,45$.

При коэффициенте вытяжки $m_1 = 0,45$ на первой операции можно получить диаметр

$$d_1 = m_1 D = 0,45 \cdot 95 = 42,75,$$

тогда как по условию задачи требуется делать с диаметром 40 мм, т. е. необходим ещё один переход вытяжки.

По табл. 45 [1] найдём коэффициент вытяжки для второго перехода:

$$m_2 = 0,7 - 0,72.$$

Произведём корректировку коэффициентов вытяжки по переходам. Общий коэффициент вытяжки

$$m = d/D = 40/99 = 0,404; \quad m = m_1 \cdot m_2.$$

Принимаем $m_2 = 0,7$. Тогда $m_1 = m/m_2 = 0,404/0,7 = 0,577$.

Диаметры детали по переходам

$$d_1 = D \cdot m_1 = 99 \cdot 0,577 = 57,1 \text{ мм;}$$

$$d_2 = d_1 \cdot m_2 = 57,1 \cdot 0,7 = 40 \text{ мм.}$$

Для определения высоты детали по переходам необходимо найти радиусы закруглений у дна и фланца детали по переходам (по формуле 1.12):

$$r_m = K \cdot \sqrt{(D-d) \cdot S},$$

где $K = 0,85$ (табл. 9);

$$r_{m1} = 0,85 \sqrt{(99-57) \cdot 2} = 7,8 \text{ мм};$$

$$r_{m2} = 0,85 \sqrt{(57-40) \cdot 2} = 5 \text{ мм}.$$

Радиусы закруглений пуансонов принимаем равными радиусам закругления матрицы.

После второго перехода вытяжки радиусы закруглений матрицы и пуансона равны 5 мм, что не удовлетворяет требованиям чертежа, поэтому после второй вытяжки необходима калибровка с радиусами закруглений:

- матрицы $r_m = R_1 = 4 \text{ мм}$;
- пуансона $r_n = R_2 = 4,2 \text{ мм}$.

Для определения пооперационной высоты вытяжки заготовки воспользуемся табл. 49 [1].

Высота детали по переходам:

$$\begin{aligned} h_1 &= 0,25 (D/m_1 - d_\phi^2/a_1 + 3,44r_1) = \\ &= 0,25 (99/0,577 - 64^2/57 + 3,44 \cdot 7,8) = 31,6 \text{ мм}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_2 &= 0,25 (D/m_1 \cdot m_2 - d_\phi^2/d_2 + 3,44r_2) = \\ &= 0,25 (99/0,577 \cdot 0,7 - 64^2/40 + 3,44 \cdot 5) = 40 \text{ мм}, \end{aligned}$$

где h – полная высота детали (от нижнего края дна до верхнего края фланца).

5. Определение потребных усилий

Для определения усилий вытяжки по переходам воспользуемся табл. 72 [1].

Для первой операции вытяжки используем формулу

$$P_1^p = \pi d_1 \cdot S \sigma_B k_\phi,$$

где $\sigma_B = 30 \text{ кгс/мм}^2$ (табл. 220 [1]); $k_\phi = 0,75$ (табл. 75 [1]);

$$P_1^p = \pi \cdot 57 \cdot 2 \cdot 30 \cdot 0,75 = 8058,2 \text{ кгс} = 8,06 \text{ тс} = 80 \text{ кН}.$$

Для второй операции усилие вытяжки детали с фланцем находится так же, как для цилиндрических деталей без фланца.

$$P_2^p = \pi d_2 \cdot S \sigma_B k_2,$$

где $k_2 = 1.1$ (табл. 74 [1]);

$$P_2^p = \pi \cdot 40 \cdot 2 \cdot 30 \cdot 1,1 = 8293,8 \text{ кгс} = 8,3 \text{ тс} = 83 \text{ кН}.$$

Усилие прижима для первой и второй вытяжек определяем по формулам (1.15) и (1.16), где

$$q = 0,0025 [(D_{\text{зар}}/d - 1)^2 - 0,5d/100S] \sigma_\theta.$$

Для первой операции

$$q_1 = 0,0025 [(99/57 - 1)^2 - 0,5 \cdot 57/100 \cdot 2] \cdot 30 = 3 \cdot 10^{-2} \text{ кгс/мм}^2.$$

Для второй вытяжки

$$q_2 = 0,0025 [(99/40 - 1)^2 - 0,5 \cdot 40/100 \cdot 2] \cdot 30 = 1,56 \cdot 10^{-2} \text{ кгс/мм}^2.$$

Усилия прижима по операциям:

$$\begin{aligned} Q_1 &= 0,25\pi [D^2 - (d_1 + 2r_m)^2] q_1 = \\ &= 0,25\pi [99^2 \cdot (57 + 2 \cdot 7,8)^2] \cdot 3 \cdot 10^{-2} = 106,7 \text{ кгс} = 1,1 \text{ кН}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_2 &= 0,25\pi [d_{n-1}^2 - (d_n + 2r_m)^2] q_2 = \\ &= 0,25\pi [57^2 \cdot (40 + 2 \cdot 5)^2] \cdot 0,156 = 91,8 \text{ кгс} = 0,9 \text{ кН}. \end{aligned}$$

Найдем полные усилия вытяжки по операциям по формуле (1.18):

$$P_1 = P_1^p + Q_1 = 80 + 1,1 = 81,1 \text{ кН};$$

$$P_2 = P_2^p + Q_2 = 83 + 0,9 = 83,9 \text{ кН}.$$

6. Определение зазоров и исполнительных размеров инструмента при вытяжке

Для определения односторонних зазоров между пуансоном и матрицей воспользуемся табл. 12–14.

На первом переходе зазор

$$Z_1 = K_1 S + S_{\text{max}},$$

где $K_1 = 0,25$ (табл. 13); $S_{\text{max}} = 2 \text{ мм}$ при $S = 2_{-0,11}$;

$$Z_1 = 0,25 \cdot 2 + 2 = 2,5 \text{ мм}.$$

На втором переходе

$$Z_2 = K_2 S + S = 0,1752 + 2 = 2,35 \text{ мм},$$

где $K_2 = 0,175$ (табл. 13).

По условию задачи точность изготовления детали соответствует 12-му качеству. При указанном на чертеже детали внутреннем ди-

аметре отклонения назначим по системе отверстия, при наружном – по системе вала.

В данной ситуации определим поля допусков по системе вала (по $h12$).

На первой операции $d_1 = 57_{-0,3}$.

На второй операции $d_2 = 40_{-0,25}$.

Основной деталью при вытяжке заданной детали является матрица.

По табл. 15 найдем исполнительные размеры матрицы: на первой операции

$$B_{M1} = (B_1 - 0,6\Delta_1)^{+\delta_M} = (57 - 0,6 \cdot 0,3)^{+\delta_M} = 56,8^{+\delta_M};$$

на второй операции

$$B_{M2} = (B_2 - 0,6\Delta_2)^{+\delta_M} = (40 - 0,6 \cdot 0,25)^{+\delta_M} = 39,8^{+\delta_M}.$$

В соответствии с примечаниями к табл. 15 допуск на инструмент принимаем по $H7$ и $h6$ (на матрицу по $H7$, на пуансон по $h6$):

$$B_{M1} = 56,8^{+0,03}; \quad B_{M2} = 39,8^{+0,025}.$$

Исполнительные размеры пуансона определим через зазор между матрицей и пуансоном:

$$B_{П1} = (B_{M1} - 2Z_1)_{-\delta_{П}} = (56,8 - 2 \cdot 2,5)_{-0,019} = 51,8_{-0,019};$$

$$B_{П2} = (B_{M2} - 2Z_2)_{-\delta_{П}} = (39,8 - 2 \cdot 2,35)_{-0,016} = 35,1_{-0,016}.$$

Таким образом:

$$B_{M1} = 56,8^{+0,03}; \quad B_{П1} = 51,8_{-0,019}; \quad B_{M2} = 39,8^{+0,025}; \quad B_{П2} = 35,1_{-0,016}.$$

7. Выбор оборудования

Оборудование выбираем по номенклатурному каталогу, для чего переводим усилия вытяжки в кН:

$$P_1 = 81,1 \text{ кН}; \quad P_2 = 83,9 \text{ кН}.$$

И первая, и вторая операции могут быть осуществлены на прессах одного типа.

Оборудование подбираем по назначению, номинальному усилию и величине хода ползуна:

- пресс однокривошипный открытый простого действия ненаклоняемый КД2122Е с номинальным усилием 160 кН;
- ход ползуна 5–55 мм, число ходов ползуна в минуту 150, мощность привода 1,7 кВт.

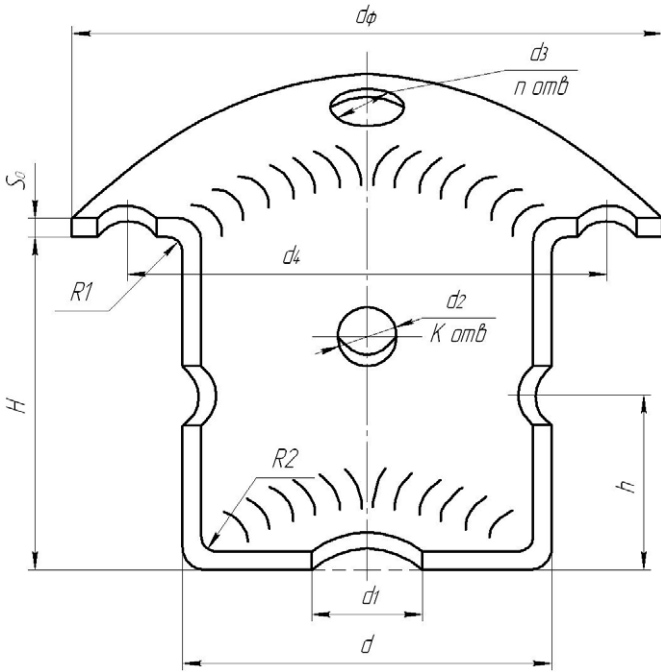
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Общая характеристика процесса вытяжки.
2. Виды деталей, получаемых вытяжкой.
3. Вытяжка с прижимом.
4. Вытяжка без прижима.
5. Благоприятные условия деформирования металла при вытяжке.
6. Схема напряженно-деформируемого состояния при вытяжке.
7. Технологические требования к конструкции полых листовых деталей, изготовленных вытяжкой.
8. Расчет диаметра заготовок для вытяжки круглых деталей простой формы.
9. Расчет диаметра заготовок для вытяжки круглых деталей сложной формы.
10. Построение контура заготовок для вытяжки низких коробок.
11. Построение контура заготовок для вытяжки квадратных коробок.
12. Построение контура заготовок для вытяжки продолговатых коробок.
13. Коэффициент вытяжки.
14. Предельная деформация при первой вытяжке.
15. Определение количества вытяжных переходов для цилиндрических деталей.
16. Вытяжка деталей с широким фланцем.
17. Определение количества вытяжных переходов при вытяжке коробчатых деталей.
18. Радиусы закруглений пуансонов и матриц.
19. Определение глубины вытяжки по переходам.
20. Определение усилий вытяжки и прижима.
21. Зазоры при вытяжке.
22. Исполнительные размеры рабочих частей матриц и пуансонов при вытяжке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

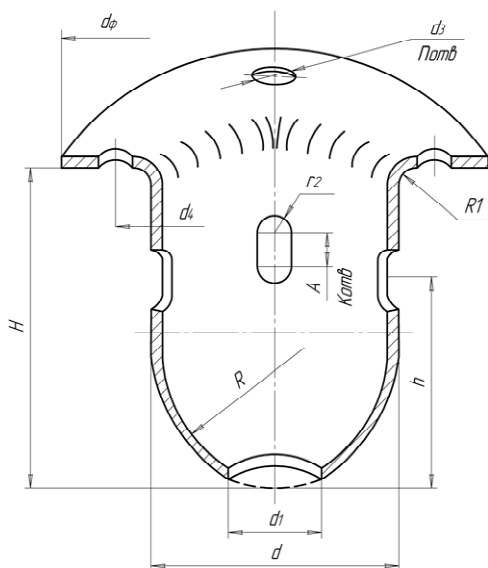
1. Романовский, В.П. Справочник по холодной штамповке / В.П. Романовский – Л. : Машиностроение, 1979. – 520 с.
2. Смолин, Е.Л. Основы конструирования штамповой оснастки : учеб. пособие для вузов / Е.Л. Смолин. – Тольятти : ТГУ, 2004. – 44 с.
3. Бочаров, Ю.А. Кузнечно-штамповочное оборудование : учеб. для вузов / Ю.А. Бочаров. – М. : Академия, 2008. – 480 с.

Варианты заданий



$$* d_4 = d + 2R1 + \left(\frac{d_\phi - d - 2R1}{2} \right)$$

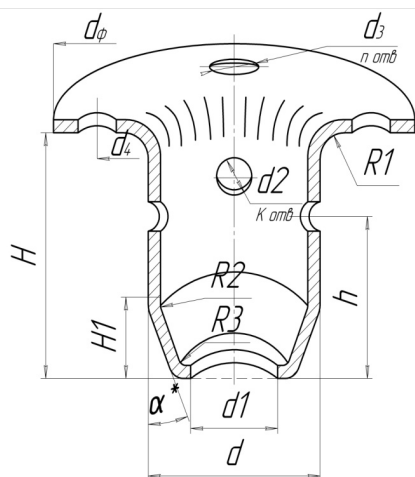
№	Материал	S_0	d_ϕ	d	H	R_1	R_2	d_1	d_2	d_3	h	k	n
1	Ст 45	0,8	50	32	38	2,2	3,0	12	—	3	—	—	4
2	Ст 1	1,0	44	36	38	2,4	3,0	—	8	—	20	3	—
3	08 КП	1,2	62	40	38	2,6	3,0	14	—	4	—	—	6
4	08Ю	1,4	58	44	38	3,2	4,2	—	10	—	22	4	—
5	15ГС	1,6	72	48	52	3,4	4,2	16	—	5	—	—	3
6	10ХСНД	1,8	70	52	52	3,6	4,2	—	12	—	26	6	—
7	Л68	2,0	84	56	52	3,8	4,2	18	—	6	—	—	4
8	10КП	2,2	82	60	52	4,0	5,2	—	14	—	28	2	—
9	14ХГС	2,4	96	64	66	4,2	5,2	20	—	8	—	—	6
10	60Г	2,6	92	68	66	4,4	5,4	—	16	—	34	4	—



$$*R = d/2$$

$$*d_4 = d + 2R1 + \left(\frac{d_\phi - d - 2R1}{2} \right)$$

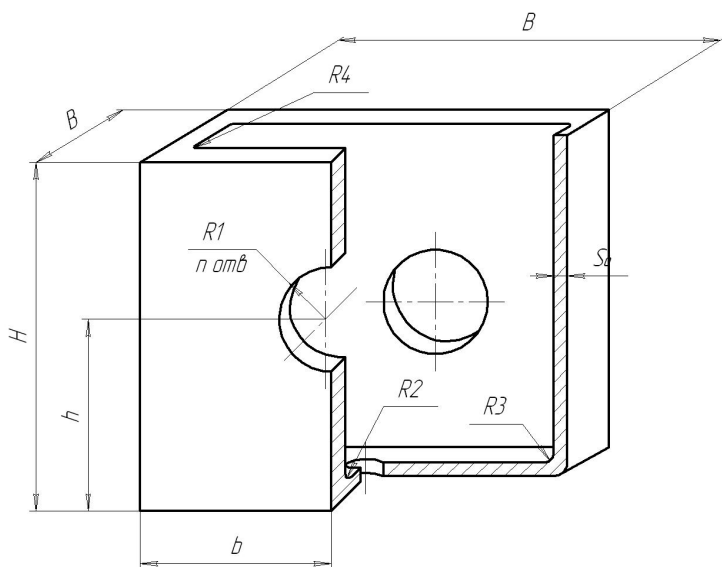
№	Материал	S_0	d	d_ϕ	H	R	R_1	d_1	A	r_2	d_3	d_4	h	n	K
11	Ст 50	0,8	26	54	42		2,4	14	—	—	4		—	3	—
12	X17	1,1	31	40	42		2,6	—	2	3	—		24	—	4
13	Сталь 20	1,3	36	62	42		2,7	16	—	—	5		—	4	—
14	10ХГ2СН	1,5	41	56	42		3,0	—	3	4	—		30	—	3
15	12Г2А	1,7	46	74	54		3,2	18	—	—	5,6		—	5	—
16	Ст 7	1,9	51	68	54		3,4	—	4	4	—		36	—	6
17	ЛС59-1	2,1	56	86	54		3,6	20	—	—	6,2		—	6	—
18	Ст 3	2,3	61	80	54		3,2	—	4	5	—		42	—	3
19	12ХГН	2,5	66	96	54		4,8	22	—	—	6,4		—	8	—
20	08КП	2,7	71	92	60		4,4	—	4	3	—		44	—	4



* α – град

$$*d_4 = d + 2R_1 + \left(\frac{d_\phi - d - 2R_1}{2} \right)$$

№	Материал	S_0	d	d_ϕ	R_1	R_2	R_3	α	H_1	d_1	d_2	h	d_3	k	n
21	65Г	0,8	28	52	3,0	6	2	10	24	8	—	—	3	—	3
22	Ст 6	1,2	34	44	3,2	6,4	2,4	15	24	—	8	32	—	3	—
23	14ХГ2Н	1,6	40	68	3,4	7	2,8	20	28	10	—	—	4	—	4
24	Х17Н2	2,0	46	58	3,6	2,4	3,0	25	28	—	10	38	—	4	—
25	АД1	2,4	52	86	3,8	8	3,2	30	20	12	—	—	5	—	6
26	40Х13	2,8	58	74	4,0	8,2	3,4	12	26	—	12	40	—	5	—
27	70Г	3,2	64	98	4,2	9	3,6	14	22	14	—	—	4	—	8
28	08ФКП	3,6	70	86	4,4	9,4	3,8	16	24	—	10	36	—	4	—
29	Сталь 20	4,0	76	112	4,6	10	4,0	18	30	16	—	—	6	—	4
30	15ХСНД	4,2	82	98	4,8	10,4	4,2	20	32	—	8	42	—	3	—

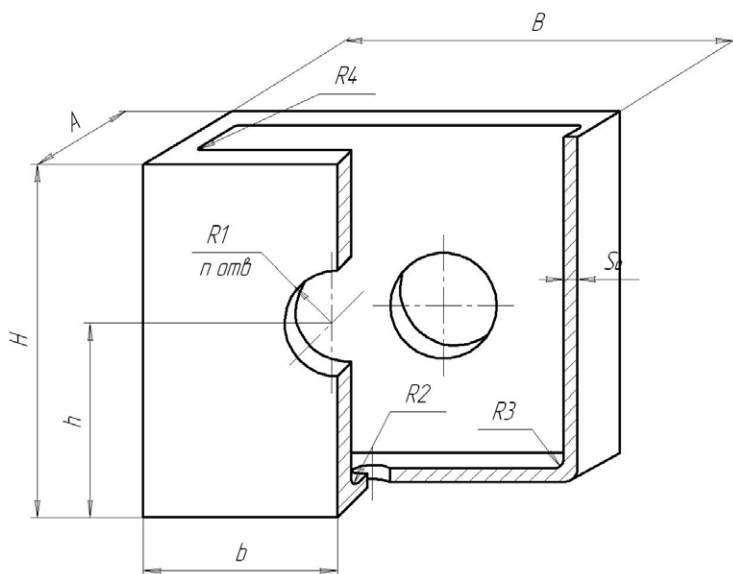


$$h = H/2$$

$$b = B/2$$

$$R_4 = R_3$$

№	Материал	S_0	H	B	R_1	R_2	R_3	h	Примечание
31	Ст1	2,0	45	128	7	—	22,4	4	
32	08КП	1,8	66	166	—	12	29,1	—	
33	08Ю	2,0	94	208	14	—	36,4	2	
34	15ГС	1,8	78	224	—	11	44,8	—	
35	10ХСНД	2,0	73	183	11	—	36,6	4	
36	Л68	1,8	79	176	—	9	35,2	—	
37	Сталь 10кп	2,0	51	169	8	—	38,1	2	
38	14ХГС	1,8	54	154	—	6	34,7	—	
39	60Г	2,0	66	195	9	—	48,8	4	
40	X17	1,8	43	144	—	5	35,8	—	

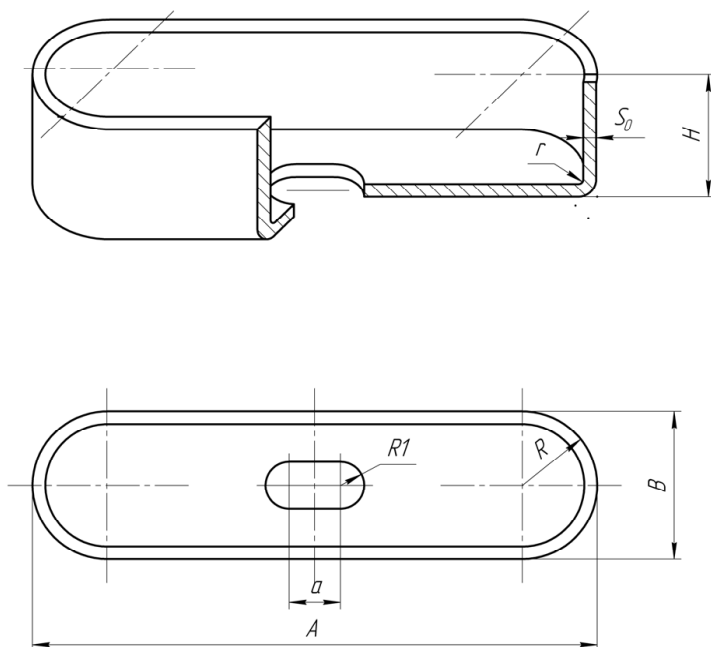


$$h = H/2$$

$$b = B/2$$

$$R4 = R3$$

№	Материал	S_0	A	B	H	R_1	R_2	R_3	n	Примечание
41	Л60	2,0	110	136	34	6	—	6,8	4	
42	Сталь 20	1,8	106	152	46	—	12	7,6	—	
43	10ХГ2СН	2,0	150	168	59	8	—	12,6	2	
44	12Г2А	1,8	154	192	38	—	16	19,2	—	
45	Ст7	2,0	166	204	51	7	-	20,4	4	
46	Ст3	1,8	128	146	58	—	13	14,6	—	
47	12ХГН	2,0	124	174	35	5	—	26,1	2	
48	10Г2А	1,8	163	186	56	—	14	23,3	—	
49	08КП	2,0	168	202	91	10	—	20,2	4	
50	Сталь 45	1,8	190	224	78	—	17	28	—	



$$B = 2 \cdot (R + S_0)$$

№	Материал	S_0	A	H	r	R	R_1	a
51	Сталь 50	2,0	128	84	8,8	28,8	14	15
52	08Ю	1,8	166	100	7,5	41,5	14	18
53	10ХГ2СН	2,0	208	146	7,2	57,2	16	15
54	4Х13	1,8	224	79	8,8	72,8	16	18
55	Д62	2,0	183	110	9,5	59,5	15	15
56	14ХГС	1,8	176	88	8,8	52,8	15	18
57	60Г	2,0	169	135	10	55	13	15
58	Х17Н2	1,8	154	100	7,8	57,8	13	18
59	Сталь 35	2,0	195	88	8,1	73,1	12	15
60	20 кп	1,8	144	108	9,4	54	9	18