

Министерство образования Российской Федерации
Ульяновский государственный технический университет

В. Н. Кокорин, К. К. Мертенс, Ю. А. Титов, А. А. Григорьев

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ В ПРОЦЕССАХ ХОЛОДНОЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

Учебное пособие
для студентов специальности 12.04.00

Ульяновск 2002

УДК

ББК

К 59

Рецензенты: д. т. н., профессор Л. Б. Аксенов,
Нач. лаборатории «Холодной штамповки» АО «УАЗ» В. В. Васин

Утверждено редакционно-издательским советом Ульяновского государственного технического университета в качестве учебного пособия

Кокорин В. Н.

К 59 Технологические расчеты в процессах холодной листовой штамповки. Учебное пособие / В. Н. Кокорин, К.К. Мертенс, Ю. А. Титов, А. А. Григорьев - Ульяновск: УлГТУ, 2002. – 36 с.

ISBN 5 - 89146 - 300 - 0

Предназначено для студентов специальности 12.04.00, изучающих курс «Технология листовой штамповки». Приведены методики расчета основных технологических операций листовой штамповки и примеры их использования для расчета параметров, определяющих эффективность раскроя листа и полосы; размеров плоской заготовки перед формоизменяющими операциями (гибка и вытяжка); количества и последовательности штамповочных переходов; энергосиловых параметров штамповки. Рассмотрены вопросы интенсификации процессов листовой штамповки.

УДК

ББК

ISBN5 – 89146 – 300 – 0

© В. Н. Кокорин, К. К. Мертенс,
Ю. А. Титов, А. А. Григорьев, 2002
© Оформление. УлГТУ, 2002

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ	5
1. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ДЕТАЛИ	6
2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ	7
2.1. Разделительные операции	7
2.1.1. Раскрой листового материала	7
2.1.2. Пример расчета раскроя листа и полосы	10
2.2. Формообразующие операции	12
2.2.1. Определение размеров плоской заготовки	12
2.2.2. Примеры расчетов размеров плоской заготовки	15
2.2.3. Определение потребного количества переходов штамповки	19
2.2.4. Примеры расчетов потребного количества и последовательности переходов штамповки	23
2.2.5. Складкообразование (гофры) при вытяжке	26
2.2.6. Пример расчета потребности прижима	27
2.3. Энергосиловые характеристики процессов штамповки	27
2.3.1. Разделительные операции	27
2.3.2. Формоизменяющие операции	28
3. ВОПРОСЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКОЙ	30
3.1 Рациональная схема технологического процесса	30
3.2. Штамповка вытяжкой-отбортовкой сталей группы 08	31
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	34
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	34
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	36

ВВЕДЕНИЕ

Повышение производительности труда, улучшение качества и эксплуатационных характеристик деталей являются важнейшими задачами листоштамповочного производства. В последние годы появилось большое число новых способов и устройств, использование которых позволило бы значительно поднять технический уровень производства. Намечились основные направления интенсификации формоизменяющих операций, позволяющие сократить число переходов штамповки, номенклатуру оснастки и оборудования, изготавливать цельноштамповочные детали взамен штампованных, исключить последующую механическую обработку, значительно повысить прочность, жесткость и точность деталей.

Развитие машиностроения и металлообработки требует дальнейшего совершенствования технологических процессов и методов расчета деформационных характеристик операций листовой штамповки.

В настоящее время имеется много экспериментальных и теоретических исследований, посвященных изучению НДС штампуемых деталей, рациональных принципов расчета технологических, прочностных характеристик. На основе этих исследований установлены соответствующие расчетные методики, общие правила и нормы проектирования как конструкции деталей, так и технологического процесса штамповки, гарантирующие высокие эксплуатационные способности деталей при обеспечении минимизации энергосиловых характеристик, трудоемкости штамповки; повышении ресурсосбережения (повышения КИМ), т. е. расширении технологических возможностей листовой штамповки.

В данном пособии приведены методики расчета основных технологических операций листовой штамповки и примеры их использования для расчета параметров, определяющих эффективность раскроя листа и полосы; размеров плоской заготовки перед формоизменяющими операциями (гибка и вытяжка); количества и последовательности штамповочных переходов; энергосиловых параметров штамповки.

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ

Необходимые технологические расчеты выполняются для каждой операции (перехода) штамповки. Разработка технологической документации осуществляется в той последовательности, которая определяется технологическим процессом изготовления детали (например, резка на ножницах, вырубка заготовки, вытяжка или гибка детали в одну или несколько операций, пробивка отверстий, обрезка детали по наружному контуру и т. д.).

При разработке разделительных операций (например, вырубка, пробивка) необходимо выполнить следующие технологические расчеты:

- а) определить размеры полосы (ширину), из которой будет вырубаться заготовка;
- б) произвести выбор размеров листа и раскрой его на полосы; раскрой полос на заготовки с определением коэффициента раскроя для каждого-го варианта раскроя и выбрать наиболее рациональный раскрой;
- в) рассчитать усилие резки при раскрое листа на ножницах;
- г) рассчитать усилие вырубки (пробивки отверстий), съема и проталкивания (выталкивания) детали и отхода;
- д) вычислить (определить) зазоры между рабочими элементами матрицы и пуансона.

Для гибочных операций необходимо:

- а) определить размеры плоской заготовки;
- б) определить количество и последовательность выполнения операций гибки;
- в) рассчитать усилие гибки, прижима (выталкивания) детали;
- г) вычислить минимально-допустимые радиусы гибки;
- д) определить углы пружинения (для каждой операции);
- е) рассчитать зазоры между матрицей и пуансоном.

При разработке вытяжных операций требуется:

- а) рассчитать размеры плоской заготовки;
- б) определить количество операций вытяжки, необходимых для изготовления детали;
- в) рассчитать пооперационные размеры полуфабрикатов (диаметр, глубина вытяжки);
- г) определить потребность прижима для вытяжки с целью исключения гофрообразования;
- д) вычислить усилие вытяжки, прижима и выталкивания дет (полуфабриката), определить работу деформации;
- е) рассчитать зазоры между матрицей и пуансоном;
- ж) определить радиусы закруглений рабочих кромок матрицы и пуансона (для каждого перехода вытяжки);
- и) произвести выбор смазки для каждой операции вытяжки.

При разработке технологического процесса изготовления детали необходимо стремиться к выбору наиболее экономичного варианта в соответствии с чертежом, программой и техническими условиями.

1. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ДЕТАЛИ

Под технологичностью детали следует понимать такое сочетание основных ее элементов конструкции (форма и размеры), которое обеспечивает наиболее простое и экономное ее изготовление при обеспечении высоких эксплуатационных свойств. При этом обеспечивается соответствие параметров данной детали возможностям операций листовой штамповки, которые должны быть применены при ее изготовлении.

В качестве основных показателей технологичности деталей установлены уровни технологичности по трудоемкости штамповки и технологической себестоимости (основная статья затрат – расходы на материал).

Известны общие технологические требования к конструкции штампованных деталей и специфические требования к деталям плоской формы, получаемым вырубкой и пробивкой, а также изогнутой и полой формы, изготавливаемым гибкой, вытяжкой и формовкой.

В процессе отработки деталей на технологичность необходимо стремиться к максимальному снижению указанных показателей – трудоемкость и технологическая себестоимость – путем такого изменения конструкции деталей, при котором достигается наибольший КИМ, наименьшее число технологических переходов (операций), максимальное упрощение конструкции штампов и др. Это достигается обеспечением службами производства (технолог) технологического контроля штампуемых деталей.

Ниже указаны основные показатели технологичности.

1) Вырубка (пробивка):

- ширина выступов (впадин) должна быть больше толщины металла;
- стороны вырубяемого контура должны сопрягаться плавными кривыми возможно большего радиуса; радиус закругления наружного контура при сопряжении сторон под углом $\alpha > 90^\circ$ принимается $R \geq 0,25S$; при угле $\alpha \leq 90^\circ$ – $R \geq 0,5S$; при пробивке внутреннего контура – соответственно: $R \geq 0,3S$ и $R \geq 0,6S$;
- минимальные размеры пробиваемых отверстий зависят от их формы и механических свойств штампуемого материала;
- наименьшие размеры при обычной конструкции штампа составляют при штамповке из мягкой стали и латуни: для круглого отверстия $d \geq S$, для квадратного $a \geq 0,9S$, для прямоугольного $b \geq 0,8S$ и т. д.;
- наименьшие расстояния между краями пробиваемых отверстий, а также расстояния от края детали до края отверстия «е» составляют $e \geq S$ для круглых отверстий и $e \geq (1,5 \dots 2,0) S$ – для прямоугольных;

- при пробивке отверстий в согнутых или вытянутых деталях необходимо выдерживать определенные расстояния ($L \geq r_{\text{вн}} + d/2$) между отверстиями (d) и вертикальной стенкой детали во избежание набега края отверстия на сопряженную часть стенки и др.

2) Гибка:

- радиус гибки должен превышать минимально допустимые радиусы – $r \geq [r]_{\text{min}}$;
- высота гнутых полок H должна быть больше двойной толщины материала, т. е. $H > 2S$ и др.

3) Вытяжка:

- радиус сопряжения внутренних стенок с дном $r_{\text{п}}$ для материалов $S = (1 \dots 6)$ мм должен быть $r_{\text{п}} \geq 2S$; для наружных стенок с фланцем $r_{\text{м}} \geq (3 \dots 4)S$. При использовании дополнительной последующей операции – калибровка – $r_{\text{п}} \geq (0,1 \dots 0,3)S$ и $r_{\text{м}} \geq (0,2 \dots 0,4)S$.
- при изготовлении деталей, имеющих несимметрично вытянутую или гнутую форму, следует произвести их спаривание и др.

В полном объеме требования и методы повышения технологичности штампуемых деталей изложены в [1–5].

2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

2.1. Разделительные операции

2.1.1. Раскрой листового материала

Под раскроем (согласно ГОСТ 18970-84) понимается отыскание наиболее рационального (эффективного) размещения плоских заготовок в листе (полосе, ленте) относительно друг друга и кромок листового проката.

Проектирование (разработка) раскроя заключается в выборе рационального положения заготовок в исходном металле.

Параметрами эффективности раскроя должна быть плотность размещения заготовок в исходном материале, материальные затраты на осуществление разделения и др.

Определяя рациональность той или иной схемы раскроя, необходимо учитывать не только ее экономичность (КИМ). Раскрой должен обеспечить высокое качество деталей, высокую производительность (низкую трудоемкость), простоту конструкции штампа и высокую стойкость его рабочих частей, а также удобство и безопасность работы.

Согласно ГОСТ 18970-84 мерой эффективности раскроя служит коэффициент использования металла (КИМ) – $K_{\text{и}}$ (мера плотности размещения заготовок).

$$K_{\text{и}} = M_{\text{д}} / H, \quad (1)$$

где $M_{\text{д}}$ – масса детали, кг;

H – норма расхода материала на одну деталь, кг.

$$H = M / n_d, \quad (2)$$

где M – масса листа (рулона, фрагмента ленты) применяемого для штамповки, кг;

n_d – число деталей, полученных в результате раскроя материала, шт.

Кроме коэффициента использования материала в технологических расчетах используют показатель эффективности раскроя – коэффициент раскроя – η_p , определяемый по формуле

$$\text{а) полоса} - \eta_p = \frac{F_d}{B \cdot t}, \quad (3)$$

$$\text{б) лист (лента, рулон)} - \eta_p = \frac{F_d \cdot n}{B \cdot L}, \quad (4)$$

где F_d – площадь вырубаемой заготовки, мм²;

n – кол-во деталей, полученных из листа, шт.;

B – ширина полосы (листа, рулона, ленты), мм;

t – шаг подачи материала при штамповке, мм;

L – длина листа (рулона, ленты), мм.

Если коэффициент раскроя η_p зависит только от формы внешнего контура деталей и их взаимного расположения, то коэффициент использования металла $K_{и}$ кроме указанных факторов зависит еще и от наличия в детали отверстий.

Величина перемычек между вырубаемыми заготовками «в» – междетальная – и от края заготовки до края полосы (листа, рулона, ленты) «а» – боковая – зависят от формы и размеров заготовки, толщины и марки штампуемого материала, вида раскроя и способа подачи полосы в штамп.

В зависимости от перечисленных факторов ширина перемычки изменяется от 0,8 до 5,0 мм – при $S < 4,0$ мм и от 3,1 до 9,0 мм – при $S = (4 \dots 10)$ мм.

Ширина перемычек влияет на $K_{и}$ и η_p , точность размеров вырубаемых деталей и стойкость пуансонов и матриц. Чем шире перемычка, тем меньше $K_{и}$ и η_p и, следовательно, больше отходов. Перемычки должны быть достаточно жесткими. При малой жесткости (малая ширина) они теряют устойчивость и могут быть втянуты в зазор между пуансоном и матрицей, что приводит к снижению стойкости инструмента. Кроме того, недостаточная жесткость междетальных перемычек «в» снижает точность шага штамповки из-за упругого изгиба при применении автоматической крючковой подачи или при ручной подаче с упором в перемычку. Перемычка «а», как правило, превышает по величине перемычку «в» [2].

Определение перемычек производится по таблицам 139 [1], 1 [2].

При выборе рационального варианта раскроя необходимо учитывать следующее:

- вес полосы (при подаче ее в штамп вручную) не должен превышать 12 кг, а длина – 2 м (и не короче 1 м);

- при вырубке заготовок с поворотом полосы перемычки необходимо увеличивать на 50 % по сравнению с табличным значением;
- при штамповке деталей сложной конфигурации с острыми углами, обращенными в сторону перемычек, табличные значения «а» и «в» следует увеличивать на 25...30 %;
- при штамповке с поворотом полосы табличные значения «а» и «в» следует увеличить на 50 %;
- при наличии бокового прижима полосы и точной подачи в штампах с шаговыми ножами, а также при автоматической подаче валками и клещами допускается уменьшение перемычек на 20 %;
- количество рядов при вырубке круглых или многоугольных деталей не рекомендуется принимать более трех, т. к. при большем количестве рядов стоимость штампа резко возрастает (при $d \geq 140$ мм принимается однорядная схема раскроя);
- линиягиба деталей не должна совпадать с направлением волокон;
- безотходную и малоотходную вырубку рекомендуется применять для деталей прямоугольной (квадратной) формы, без радиусных внешних элементов, а также для деталей невысокой точности;
- раскрой заготовок, имеющих сложную конфигурацию, следует производить графически с применением шаблонов (рекомендуется использование ЭВМ).

Существует три типа раскроя листового проката: с отходами, малоотходный и безотходный.

При раскрое с отходами деталь получают вырубкой по замкнутому контуру, при этом перемычки «а» и «в» $\neq 0$.

Малоотходный раскрой характеризуется отсутствием боковых перемычек ($a = 0$), при этом ширина полосы равна ширине детали.

Безотходный раскрой применяют для штамповки деталей, контур которых сопрягается друг с другом ($a = b = 0$).

При малоотходном и безотходном раскроях происходит отрезка по незамкнутому контуру, при этом наблюдается снижение стойкости инструмента (пуансон и матрица) в связи с тем, что возникающие при отрезке изгибающие моменты и распорные усилия взаимно не уравниваются (при $a = 0$; $b \neq 0$ и $a = b = 0$), в отличие от вырубki по замкнутому контуру.

Различают шесть основных видов раскроя деталей в полосе, область применения которых определяется формой и размерами штампуемых деталей: при штамповке деталей простой геометрической формы – прямоугольной, овальной – применяют прямой раскрой; при штамповке деталей Т- и Ш-образной формы – встречный раскрой; Г-образной формы – наклонный раскрой; комбинированный раскрой.

При штамповке деталей небольших размеров в крупносерийном и массовом производствах применяют многорядный раскрой (параллельный и шахматный), который эффективно использовать при штамповке круглых деталей

сравнительно небольшого диаметра – до (100...120) мм, причем число рядов рекомендуется принимать от 10 (при диаметре детали до 10 мм) и до 1...2 (при диаметре свыше 120 мм). При большем числе рядов полоса становится широкой (тяжелой), работа с ней требует больших физических затрат.

Оптимальную схему раскроя полосы в каждом конкретном случае определяют путем анализа нескольких вариантов.

При выборе раскроя полосы следует учитывать возможность последующей гибки вырубленной (отрезанной) заготовки и располагать ее на полосе таким образом, чтобы линии сгиба размещались перпендикулярно направлению волокон прокатки или под некоторым углом ($\geq 30^\circ$, в основном, – 45°) [Морозов].

Раскрой листа на полосы осуществляется по трем схемам: продольная, поперечная, наклонная (косая) с учетом КИМ, производительности процесса резки (продольный раскрой всегда производительнее поперечного). Для повышения эффективности (за счет уменьшения угловых отходов) раскроя листа применяют наклонный раскрой.

Габариты листов, полос, рулонов и лент выбираются в соответствии с ГОСТ 19904-90 [6].

2.1.2. Пример расчета раскроя листа и полосы

Произвести раскрой листа и полосы на заготовки (образец показан на рис.1) и выбрать рациональную схему.

Материал заготовки – сталь 08кп ГОСТ 9045 – 93, толщина – $S = 1,5$ мм.

Анализируя геометрическую форму, размеры и назначение заготовки, приходим к следующим выводам:

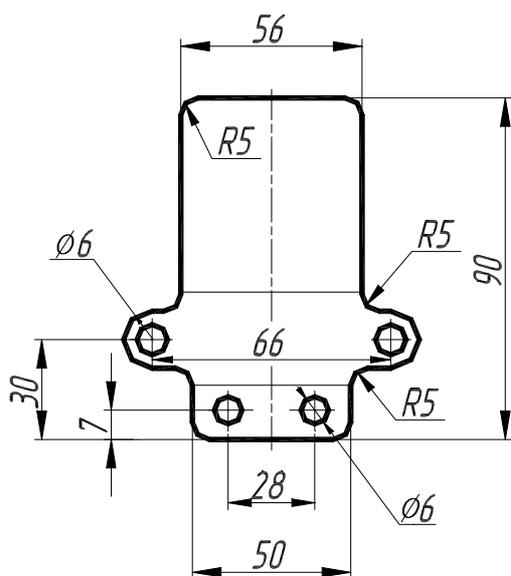


Рис. 1. Эскиз исходной заготовки

- деталь изготавливается гибкой;
- линиягиба детали с малыми радиусамигибки [1] ($r < 0,5 \dots 1,0$ мм, сталь мягкая) не должна совпадать с направлением волокон проката при гибке с большими радиусами закруглений – $r > [r]_{\text{дон}}^{\text{min}}$ – расположение волокон проката безразлично, что может позволить получить более экономичный раскрой материала;
- для предотвращения возможного повреждения поверхности материала, а также для снижения утомляемости штамповщика целесообразно принять в полосе однорядное расположение заготовок;

- для удобства работы длина полосы не должна превышать 2000 мм.

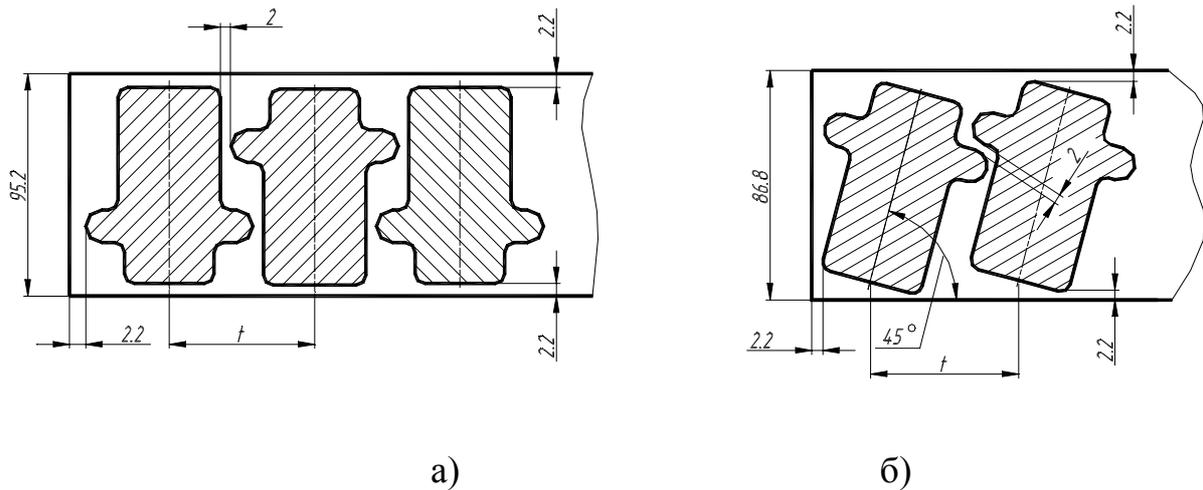


Рис. 2. Варианты расположения заготовок в полосе:
а) прямой раскрой; б) наклонный раскрой

Определяем ширину полосы [1] – с боковым прижимом:

Вариант «а»

$$B = A + 2a + \Delta_{\text{ш}}, \quad (5)$$

где $A = 90$ мм – размер вырубаемой заготовки поперек полосы;

$a = 2,2$ мм – наименьшая боковая перемычка ;

$b = 2,0$ мм – междетальная перемычка;

$\Delta_{\text{ш}} = 0,3$ мм – односторонний допуск на ширину полосы (см. [1,2], табл. 144 и 5,6 – соответственно)

$$B = 90 + 2 \cdot 2,2 + 0,8 = 95,2 \text{ мм.}$$

Вариант «б»

где $B = 86,8$ мм – получено графически построением с учетом величин $a = 2,2$ мм и $\Delta_{\text{ш}} = 0,8$ мм.

По ГОСТ 19904-90 выбираем листы габаритом 1200×2000 мм и 1500×3000 мм.

Рассматриваем две схемы раскроя листа: продольную и поперечную.

Шаг подачи заготовок определяем из геометрических построений. По варианту «а» – $t = 70$ мм; «б» – $t = 72$ мм.

Таким образом, из выбранных листов можно изготовить следующее количество заготовок (табл.1).

Для определения площади заготовки разбиваем ее на ряд простых фигур: прямоугольники площадью $f_1 = 56(90-30-7) = 2968$ мм²; $f_2 = 50(30-7) = 1150$ мм²; $f_3 = 66 \cdot 14 = 924$ мм²;

$$\text{и круг площадью } f_4 = \frac{\pi \cdot 14^2}{4} = 153 \text{ мм}^2;$$

$$\text{общая площадь заготовки: } F = \sum_{i=1}^{i=n} f_i = 1150 + 924 + 2968 + 153 = 5195 \text{ мм}^2.$$

Расчет количества заготовок

Габариты листов, мм × мм	Варианты раскроя листа и полосы	Количество		
		полос из листа, шт.	заготовок из полосы, шт.	заготовок из листа, шт.
1200 × 2000	поперечный «а»	2000 : 95,2 = 21,3	1200 : 70 = 17,1	21 · 17 = 357
	«б»	2000 : 86,8 = 23,1	1200 : 72 = 16,6	23 · 16 = 368
1500 × 3000	поперечный «а»	3000 : 95,2 = 31,5	1500 : 70 = 21,4	31 · 21 = 651
	«б»	3000 : 86,8 = 34,6	1500 : 72 = 20,8	34 · 20 = 680
1200 × 2000	продольный «а»	1200 : 95,2 = 12,6	2000 : 70 = 28,5	12 · 28 = 336
	«б»	1200 : 86,8 = 13,8	2000 : 72 = 27,7	13 · 27 = 351
1500 × 3000	продольный «а»	1500 : 95,2 = 15,7	3000 : 70 = 42,8	15 · 42 = 630
	«б»	1500 : 86,8 = 17,2	3000 : 72 = 41,6	17 · 41 = 697

Производим расчет коэффициента раскроя листа:

а) 1200 × 2000 мм

поперечный раскрой:

$$\eta_{1a} = \frac{5195 \cdot 357}{1200 \cdot 2000} \cdot 100 = 77,3\%$$

$$\eta_{1\ddot{a}} = \frac{5195 \cdot 368}{1200 \cdot 2000} \cdot 100 = 79,7\%$$

продольный раскрой:

$$\eta_{1\ddot{z}} = \frac{5195 \cdot 336}{1200 \cdot 2000} \cdot 100 = 72,7\%$$

$$\eta_{1\ddot{z}} = \frac{5195 \cdot 351}{1200 \cdot 2000} \cdot 100 = 75,9\%$$

б) 1500 × 3000 мм:

поперечный раскрой:

$$\eta_{2a} = \frac{5195 \cdot 651}{1500 \cdot 3000} \cdot 100 = 72,5\%$$

$$\eta_{1\ddot{a}} = \frac{5195 \cdot 680}{1500 \cdot 3000} \cdot 100 = 78,5\%$$

продольный раскрой:

$$\eta_{1\ddot{z}} = \frac{5195 \cdot 630}{1500 \cdot 3000} \cdot 100 = 72,7\%$$

$$\eta_{1\ddot{z}} = \frac{5195 \cdot 697}{1500 \cdot 3000} \cdot 100 = 79,2\%$$

На основании анализа рассчитанных коэффициентов раскроя листового и полосового материала делается вывод о целесообразности выбора для проектируемого техпроцесса поперечного раскроя листа размером 1200 × 2000 при наклонной схеме расположения заготовок в полосе.

2.2. Формообразующие операции

2.2.1. Определение размеров плоской заготовки:

а) Гибка

Определение размеров плоских заготовок, подвергаемых гибке, основано на равенстве длины заготовки длине нейтрального слоя изогнутой детали и сводится к определению положения длины нейтрального слоя в зависимости

от относительного радиуса изгиба – « r/S ». Различают два основных случая гибки:

- 1) по кривой определенного радиуса (при $r \geq 0,3S$);
- 2) под углом без закругления (при $r < 0,3S$).

Длина плоской заготовки развертки по кривой определенного радиуса определяется по формуле

$$L = \sum l_{\text{прям}} + \sum l_{\text{кр}} = (l_1 + l_2 + \dots + l_n) + \sum \left(\frac{\pi \cdot \alpha^\circ}{180^\circ} (r + x_0 \cdot S) \right), \quad (6)$$

где l – длины прямолинейных участков гнутой детали, мм;

α – угол изогнутого участка ($\alpha = 180^\circ - \varphi^\circ$), град;

$\alpha^\circ = \varphi^\circ$ – только при $\varphi = 90^\circ$;

φ – угол гибки, град;

r – радиус закругления детали, мм;

X_0 – коэффициент, определяющий положение нейтрального слоя;

$X_0 = f(r/s)$, табл. 16 и 3 [1,2] соответственно.

При гибке под углом 90° длина развертки определяется по формуле:

$$L = (l_1 + l_2 + \dots + l_n) + \sum \left(\frac{\pi}{2} (r + x_0 \cdot S) \right) = (l_1 + l_2 + \dots + l_n) + \sum (1,57 \cdot (r + x_0 \cdot S)). \quad (7)$$

Длина плоской заготовки (развертки) при гибке под углом без закругления (при $r < 0,3S$) определяется исходя из неизменности объема металла заготовки до гибки и после гибки с учетом соответствующих поправок (утонение в зоне гибки).

В этом случае:

$$L_{\text{заг}} = \sum l_{\text{прям}} + \sum l_{\text{кр}} = (l_1 + l_2 + \dots + l_n) + \sum (n \cdot 0,5 \cdot S_n), \quad (8)$$

где n – количество углов гибки (при $r < 0,3S$).

б) Вытяжка без утонения стенок

При вытяжке без утонения стенок изменением толщины материала пренебрегают и определение размеров заготовки производят по равенству площади поверхности заготовки и готовой детали с учетом припуска на обрезку [1,2].

Для полых деталей, имеющих форму тел вращения, расчет ведут аналитическим методом; для деталей, имеющих сложную форму (прямоугольные, коробчатые, несимметричные), – графоаналитическим методом.

Диаметр расчетной круглой заготовки находится по формуле

$$D_{\text{заг}}^P = 1,13 \sqrt{F_d} = 1,13 \sqrt{\sum f_i}, \quad (9)$$

где F_d – площадь поверхности вытянутой детали, мм²;

$\sum f_i$ – сумма площадей отдельных элементов поверхности детали, мм².

При $S \geq 2,0$ мм расчет ведется по срединной поверхности детали. Срединной считается поверхность, делящая пополам толщину стенки детали. При $S < 2,0$ мм расчет ведется по наружным (внешним) размерам детали [3].

В справочной литературе [1,2] приводятся формулы по определению как площадей элементарных поверхностей вытянутой детали, так и для определения диаметра плоских заготовок исходя из чертежа вытянутой детали.

Вследствие анизотропии (неоднородности) структуры (свойств) металла верхние кромки деталей, а также края фланцев у деталей с фланцем после вытяжки получаются неровными (фестонообразование).

Поэтому при расчете диаметра исходной заготовки необходимо учитывать припуск ΔH на обрезку детали по высоте или ΔD – на обрезку неровных кромок фланца детали. Величина $\Delta H(\Delta D) = f(H_d; H_d/d_{\Pi})$ и выбирается по табл. 34 (35) и 5 (6) [1,2] соответственно.

в) Вытяжка деталей с обусловленным утонением стенок

Размеры плоской заготовки определяют из условия постоянства объема штампуемого материала (равенство плоской заготовки и детали) [1,2].

Диаметр исходной заготовки определяем по формуле

$$D_{\text{заг}} = 1,2 \sqrt{\frac{V_0}{S_0}} = \sqrt{\frac{\sum V_i}{S_0}}, \quad (10)$$

где V_0 – объем вытянутой детали, мм³;

V_i – объемы элементарных элементов детали, мм³;

S_0 – толщина исходного материала ($S_0 = S_{\text{дна}}$), мм.

Коэффициент равный 1,2 учитывает необходимость увеличения объема металла на 5–6% (на обрезку) и постоянный множитель, равный 1,13.

Объем материала детали определяем по объемам, используя данные Приложения (табл. 7) [2].

г) Отбортовка отверстий (внутренняя)

Исходными параметрами для расчета отбортовки являются диаметр $D_{\text{вн}}$ отбортованного отверстия и высота борта детали H_d . По указанным параметрам рассчитывают требуемый диаметр d_0 технологического отверстия, при этом используется тот же метод (развертка), который применяется при подсчете размеров плоской заготовки для детали с закруглением, полученной гибкой (по средней линии).

Диаметр технологического отверстия определяется из условия равенства длины развертки борта (горловины) ширине деформационного участка заготовки.

Для низкого борта расчет выполняется из условия обычной гибки в радиальном сечении [2]:

$$d_0 = D_0 + 0,86r_m - 2H_d - 0,57S, \quad (11)$$

где $D_0 = D_{\text{вн}} + S$;

r_m – радиус закругления рабочего ребра матрицы;

$r_m \geq (0,2 \dots 0,5)S$.

Для более точных расчетов (особенно при высоком борте) расчет диаметра d_0 выполняют из равенства объемов металла до и после отбортовки:

$$d_o = \sqrt{D_1 - 2\pi D_1 \left(r_m + \frac{S}{2}\right) + 8\left(r_m + \frac{S}{2}\right) - 4(D_1 - 2r_m - S)(H_\partial - r_m)}, \quad (12)$$

где $D_1 = D_{\text{вн}} + 2(r_m + S)$.

Наибольшая высота борта (головины) h_{max} , полученная отбортовкой без дефектов в виде трещин у кромки, зависит от равномерного относительного удлинения кольцевого участка заготовки, граничащего с технологическим отверстием значение которого, в свою очередь, зависит от степени деформации, характеристик механических свойств материала заготовки и относительной толщины стенки борта горловины S/D_o .

Применение формулы (11) возможно, если требуемая высота горловины не превышает предельно допустимую ($h < h_{\text{max}}$) [3].

$$h_{\text{max}} = \frac{D(1 - 1/K_{\text{отб}}) + 2,4S + 0,9r_m}{2}, \quad (13)$$

где $K_{\text{отб}} = \frac{d_o}{D_o}$, коэффициент отбортовки.

Высота борта обычно не превышает $0,3 D_o$.

В том случае, когда требуемая высота горловины больше предельно возможной ($h > h_{\text{max}}$), горловину получают предварительной вытяжкой (за одну или несколько операций по схеме вытяжки деталей с широким фланцем) высотой H_B с последующей пробивкой технологического отверстия и его отбортовкой.

Общая высота H'_∂ определяется по формуле [2]

$$H'_\partial = \frac{D_o - d_o}{2} - 0,72S - 0,43r_m + H_B, \quad (14)$$

где H_B – глубина предварительной вытяжки.

В связи со значительным растяжением материала на кромке технологического отверстия (в результате увеличения диаметра d_o до диаметра D_o) происходит существенное утонение кромки [2]:

$$S_1 = S\sqrt{K_{\text{отб}}}, \quad (15)$$

где S – исходная толщина материала заготовки, мм;

S_1 – толщина кромки после утонения, мм.

2.2.2. Примеры расчетов размеров плоской заготовки

а) Произвести определение длины плоской заготовки при гибке детали (рис. 3.).

Участки II, IV, VII – $r = 5 \text{ мм} > 0,3 \cdot S = 0,6 \text{ мм}$;

участки VIII – $r = 0,5 \text{ мм} < 0,3 \cdot S = 0,6 \text{ мм}$.

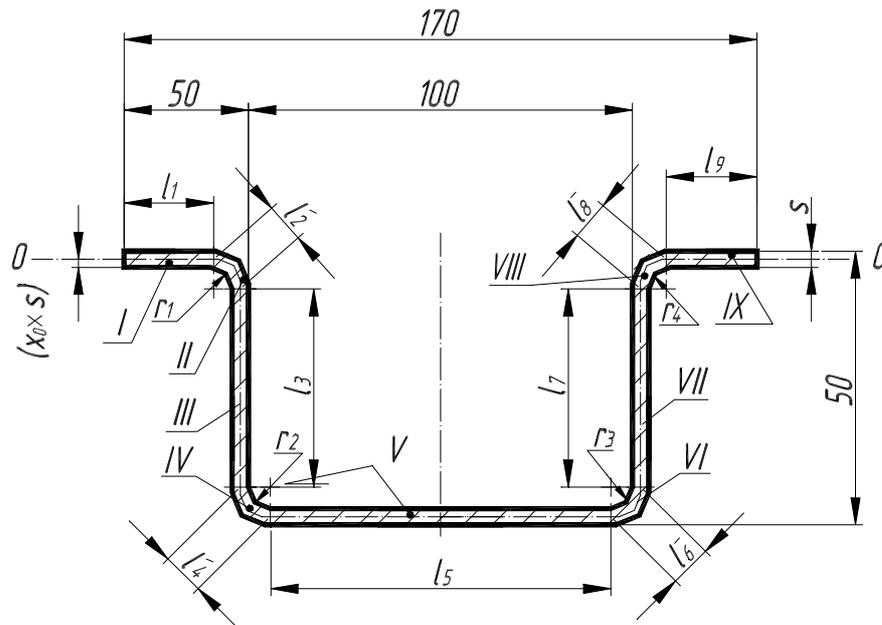


Рис. 3. Расчетная схема гнутой детали

$S = 2,0 \text{ мм}; r_1 = r_2 = r_3 = 5 \text{ мм}; r_4 = 0,5 \text{ мм}.$

$$L_{\text{заг}} = \sum l_{\text{прям}} + \sum l_{\text{кр}} = (l_1 + l_3 + l_5 + l_7 + l_9) + (l_2 + l_4 + l_6 + l_8) =$$

$$= (43 + 36 + 90 + 17,5) + 1,57 \cdot (5 + 0,46 \cdot 2) + 1,57 \cdot (5 + 0,46 \cdot 2) + 1,57 \cdot (5 + 0,46 \cdot 2) + 0,5 \cdot 2 \cong$$

$$\cong 215,4 \text{ мм}.$$

б) Произвести определение размеров исходной заготовки для вытяжки без утонения стенок детали (рис. 4):

$H_d = 70 \text{ мм}; d_n = 20 \text{ мм}; S = 2,0 \text{ мм}; r = 1,5 \text{ мм}.$ Материал – сталь 08кп категории ВОСВ ГОСТ 16523-97.

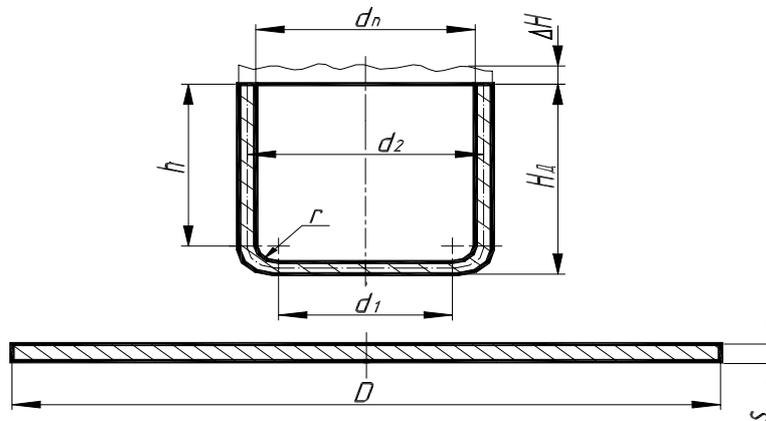


Рис. 4. Эскиз детали (расчетная схема)

Припуск на обрезку (при $H_d = 70$ мм и $H_d/d_{II} = 70/20 = 3,5$) составит $\Delta H = 10$ мм.

Диаметр заготовки (табличное значение) расчетный [1,2]:

$$D_{заг}^P = \sqrt{d_1^2 + 4 \cdot d_2 \cdot h + 2 \cdot \pi \cdot r \cdot d_1 + 8r^2} =$$

$$= \sqrt{17,0^2 + 4 \cdot 21 \cdot 66,5 + 2\pi \left(r_n + \frac{S}{2}\right) \cdot 17 + 8 \left(r_n + \frac{S}{2}\right)^2} = 61,03 \text{ мм}$$

С учетом припуска на обрезку принимаем:

$$D_{заг.}^{nP} = D_{заг.}^P + 2 \Delta H = 61,03 + 2 \cdot 10 = 81,03 \text{ мм} \cong 81,0 \text{ мм.}$$

в) Произвести определение размеров исходной заготовки для вытяжки с утонением стенок детали (рис.5).

Исходные данные: толщина стенки $S = 0,5$ мм; S дна $= 4,0$ мм; $H_d = 79$ мм; $d_H = 25$ мм; $r = 1,5$ мм. Материал – сталь 08кп категории ВОВСВ.

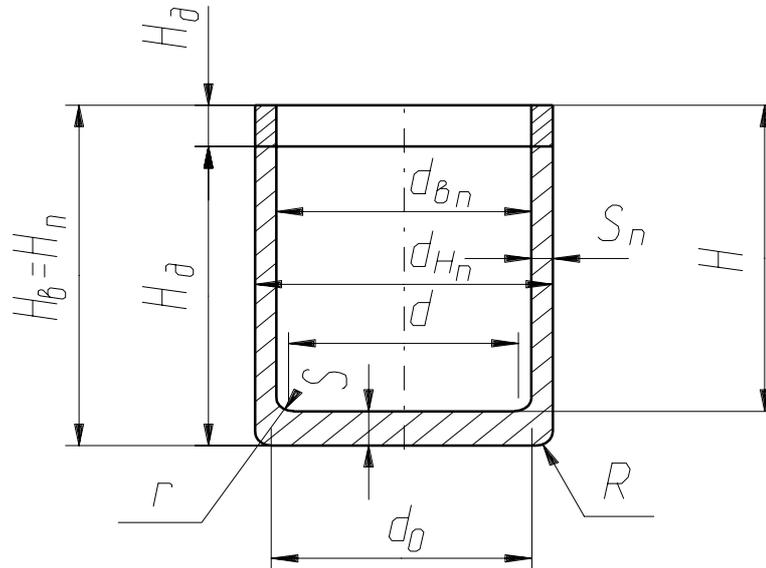


Рис. 5. Эскиз детали (расчетная схема)

Объем готовой детали определяем как сумму объемов пустотелого цилиндра и круглого дна [2].

$$V_g = \sum V_i = V_{ц} + V_{дна} = \frac{\pi}{4} \left[(d_H^2 - d_вн^2) \cdot (H_d - S_{дна}) + d_H^2 \cdot S_{дна} \right] =$$

$$= \frac{3,14}{4} \left[(25^2 - 24^2) \cdot (79 - 4) + 25^2 \cdot 4 \right] = 4847,4 \text{ мм}^3;$$

$$S_o = S_{дна} = 4,0 \text{ мм.}$$

$$\text{Диаметр заготовки } D_{заг} = 1,2 \sqrt{\frac{4847,4}{4}} = 41,7 \text{ мм}$$

г) Отбортовка отверстий (внутренняя), (рис.6)

1. Исходные данные $H_d = 15$ мм; $D_{вн} = 50$ мм; $S = 2,0$ мм; $r_m = 8$ мм.
Материал заготовки – Л63.

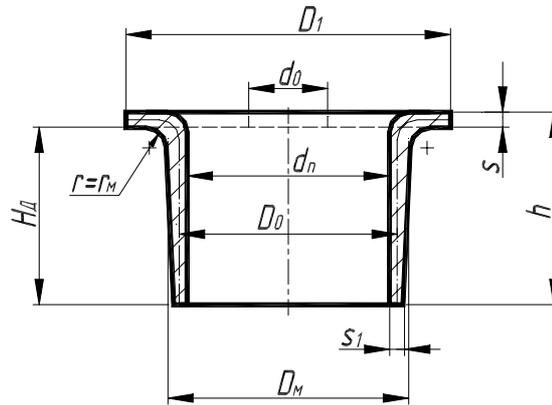


Рис. 6. Эскиз детали

Диаметр требуемого технологического отверстия вычисляется по формуле (11): $d_0 = 52 + 0,86 \cdot 8 - 2 \cdot 15 - 0,57 \cdot 2 \cong 28$ мм.

2. Определить глубину предварительной вытяжки для отбортовки круглого отверстия (рис. 7).

Исходные данные $H'_o = 20$ мм; $D_{вн} = 50$ мм; $S = 2$ мм; $r_m = 5$ мм.

Материал заготовки – сталь 10.

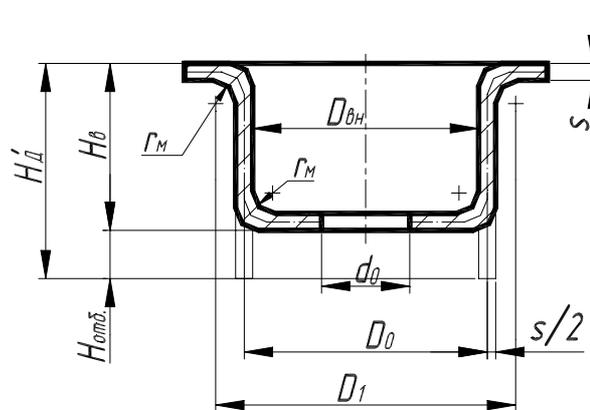


Рис. 7. Эскиз детали (расчетная схема)

По табл. 2 [2] принимаем $K_{отб} = 0,72$ ($K_{отб} = 0,70 \dots 0,75$).

Диаметр технологического отверстия:

$$d_0 = D_0 \cdot K_{отб} = 52 \cdot 0,72 = 37,4 \text{ мм.}$$

Из формулы (14) находим высоту борта, которую можно получить при $d_0 = 37,4$ мм:

$$\begin{aligned} H_{отб} &= H'_o - H_b = \frac{D_o - d_o}{2} - 0,72S - 0,43r_m = \\ &= \frac{52 - 37,4}{2} - 0,72 \cdot 2 - 0,43 \cdot 5 = 3,7 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Следовательно, глубина предварительной вытяжки

$$H_B = H'_0 - H_{отб} = 20 - 3,7 = 16,3 \text{ мм.}$$

2.2.3. Определение необходимого количества переходов штамповки

а) Гибка

Целесообразно, с целью исключения искажения формы и размеров гнутой детали из-за растяжения металла, гнуть деталь не более чем на два угла, при этом удобнее начинать штамповку (если деталь симметрична) с центральной части. Двухугловую одновременную гибку рекомендуется выполнять в том случае, когда расстояние между отогнутыми полками меньше суммы их длин: $l < (l_1 + l_2)$; если это условие не соблюдается, применяют последовательную гибку двух углов [3].

б) Вытяжка без утонения стенок

Необходимое количество вытяжных переходов определяется расчетным путем, при этом форма детали (коническая, сферическая, ступенчатая) определяет методику расчета [1,2].

Наибольшее распространение в производстве получили полые осесимметричные детали.

Число операций вытяжки и размеры полуфабрикатов определяют исходя из допускаемых коэффициентов вытяжки (m), устанавливающих предельно возможное уменьшение диаметра исходной заготовки (полуфабриката) за одну операцию вытяжки без нарушения сплошности детали (без трещинообразования).

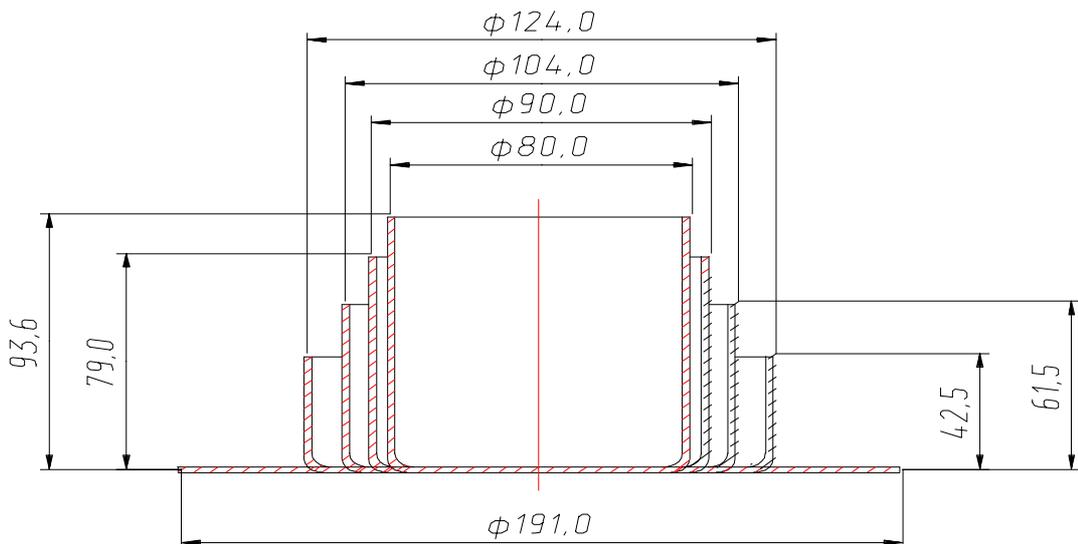


Рис. 8. Эскизы переходов (полуфабрикатов) после вытяжки:
а) плоская (исходная) заготовка; б) первый переход и др.

Коэффициенты вытяжки цилиндрических деталей без фланца выражаются отношениями: для первой вытяжки – $m_1 = d_1/D_{\text{заг}}$; для второй вытяжки – $m_2 = d_2/d_1$; для последующих вытяжек – $m_n = d_n/d_{n-1}$ ($m < 1$).

Установив расчетную величину « m » по операциям, находят диаметральные размеры вытяжных полуфабрикатов, а также количество операций вытяжки:

$$d_1 = m_1 \cdot D_{\text{заг}}; d_2 = m_2 \cdot d_1; \dots; d_n = m_n \cdot d_{n-1}. \quad (16)$$

Возможность использования одного вытяжного перехода определяется исходя из наличия соотношения: $m \geq [m]$. При $m < [m]$ вытянуть деталь за один переход без нарушения сплошности (разрушения) невозможно. Допустимый (табличный) коэффициент вытяжки $[m]$ зависит от свойств и состояния штампуемого материала, его относительной толщины ($100S/D_{\text{заг}}$), условий выполнения операции (наличие фланца у детали, прижима) и находится по табл. 45 и 9 [1, 2] соответственно.

При вытяжке деталей с широким фланцем ($d_{\text{ф}}/d_n \geq 1,2$) расчетный коэффициент вытяжки определяем по формуле [1]

$$m_y = \frac{1}{\sqrt{1 + h/d}}, \quad (17)$$

где h – высота детали, мм;

d – диаметр детали (стакана), мм.

Следует учитывать, что после первой вытяжки детали с фланцем диаметр фланца должен соответствовать окончательному диаметру $D_{\text{ф}}$ и в процессе последующих вытяжек изменяться не должен.

Интегрально необходимое количество вытяжных переходов рассчитывается по формуле

$$n \cong 1 + \frac{\lg \cdot d_n - \lg(m_1 \cdot D_{\text{заг}})}{\lg m_{\text{ср}}}, \quad (18)$$

где m_1 – коэффициент вытяжки первой операции;

$m_{\text{ср}}$ – среднее значение коэффициента вытяжки на второй и последующих вытяжках ($m_{\text{ср}} = m_2$).

в) Вытяжка с утонением стенок (рис. 9)

В практике штамповочного производства имеется два способа вытяжки с утонением стенок:

1) либо первую операцию вытяжки (свертку) проводят без утонения, а последующие операции вытяжки – с утонением;

2) либо, начиная уже с первой операции (свертки), ведут вытяжку с утонением материала.

Для осуществления вытяжки с утонением стенок задается такой зазор между пуансоном и матрицей, величина которого меньше толщины, поступающей на вытяжку исходной заготовки.

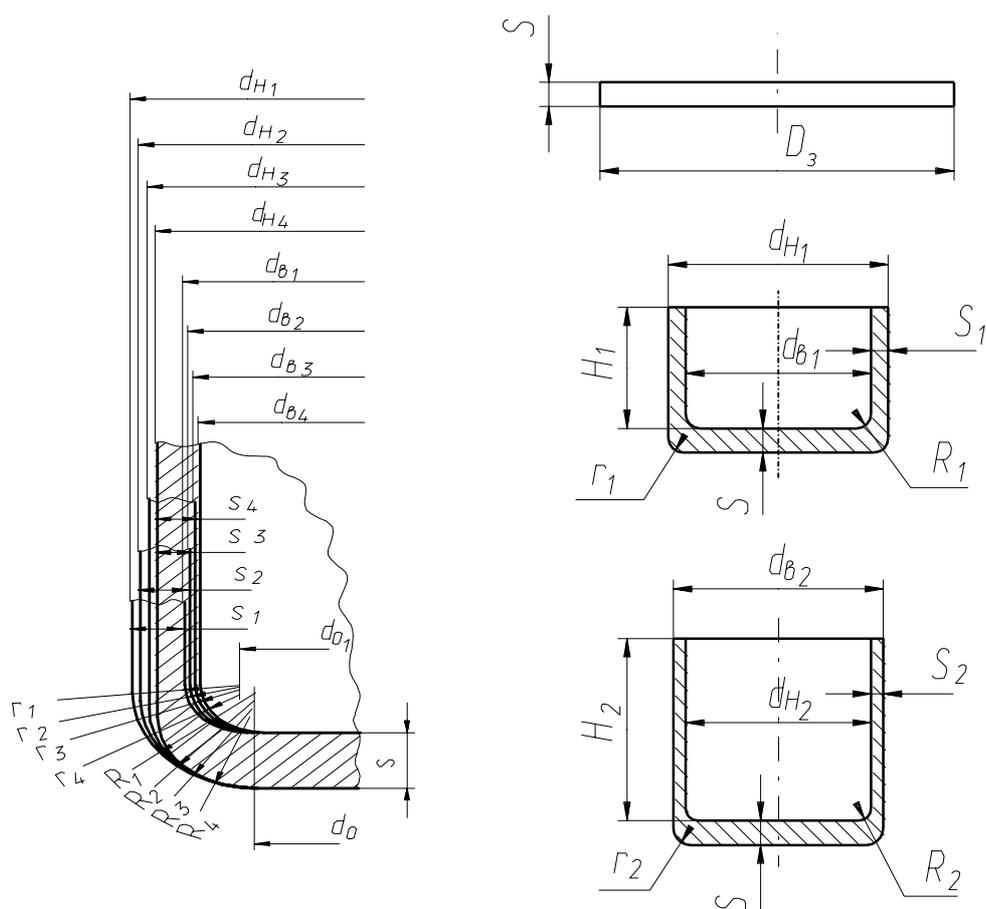


Рис. 9. Последовательность вытяжки детали с утонением стенки

Число операций вытяжки и размеры полуфабрикатов определяются следующим образом:

- коэффициент вытяжки с утонением

$$m_{\text{вт.}} = S_n / S_{n-1}, \quad (19)$$

где S_{n-1} – толщина стенки полуфабриката (заготовки) до операции, мм;

S_n – толщина стенки детали после операции, мм.

Значения допустимого коэффициента вытяжки $[m_{\text{вт.}}]$ принимают по таблице 13 [2].

Наружный диаметр стакана после первой вытяжки (второй способ) из плоской заготовки принимают

$$d_{H1} = 0,75 D_{\text{заг}}, \quad (20)$$

при этом толщина стенки

$$S_1 = m_{\text{вт}1} \cdot S \quad (21)$$

При каждой последующей вытяжке следует уменьшить внутренний диаметр стакана на (0,15...0,30) мм, т. е.

$$d_{Bn} = d_{Bn-1} - (0,15...0,30). \quad (22)$$

Соответственно после каждой вытяжки толщина стенки должна уменьшаться:

$$S_n = m_{\text{вт}n} \cdot S_{n-1}. \quad (23)$$

В итоге, высота стакана после первой вытяжки (из условия сохранения объема) без учета радиусов закругления:

$$H_1 = \frac{S_o}{2Sn} \cdot \frac{D^2 \alpha \alpha z - d_{Hn}^2}{d_{Hn} + d_{en}} \quad (24)$$

Для каждой последующей операции вытяжки:

$$H_n = \frac{S_o}{2Sn} \cdot \frac{D^2 \alpha \alpha z - d_{Hn}^2}{d_{nn} + d_{en}} \quad (25)$$

где d_n – диаметр стакана, вытянутого после n -й операции, мм;
 S_{n-1} и S_n – толщина стенки до и после n -й операции, мм.

г) Отбортовка отверстий (внутренняя)

Степень деформации при отбортовке отверстий определяется соотношением между диаметром отверстия в заготовке и диаметром борта – коэффициент отбортовки [2], при этом исходят из того, что на краю полученного борта отсутствуют трещины.

$$K_{отб} = \frac{d_o}{D_o} \quad (26)$$

Величину деформации при наружной отбортовке выпуклого контура характеризует отношение [4]

$$K_{н.отб} = R_2/R_1 \text{ (либо } \Pi_1/\Pi_2), \quad (27)$$

где R_1 (Π_1) – радиус (периметр) контура плоской заготовки;

R_2 (Π_2) – радиус (периметр) отбортованного контура детали.

Проверяют возможность отбортовки за один переход при заданном соотношении d_o и D_o по коэффициенту отбортовки.

Допустимый (предельный) для данного материала коэффициент отбортовки ограничивается способностью материала к растяжению и может быть аналитически определен по формуле [2]

$$K_{отб}^{пред} = \frac{1}{(1+\delta/100)} \cdot \eta_{отб}, \quad (28)$$

где δ – относительное удлинение материала;

$\eta_{отб}$ – коэффициент, определяемый условиями отбортовки – определяется по табл. 1 [2, с. 320].

На практике (в технологических расчетах) для определения предельно допустимого коэффициента отбортовки [$K_{отб}$] можно пользоваться также данными, приведенными в табл. 2 и 3 [2, с. 321–322].

Отбортовка отверстия за один переход осуществима (трещины на кромке не образуются) при выполнении соотношения $K_{отб} \geq [K_{отб}]$.

В некоторых случаях (для получения деталей с высоким ботом), когда $K_{отб} < [K_{отб}]$ допускается производить отбортовку за несколько переходов отбортовки, если по техническим условиям допускается значительное утонение стенок изделия (за одну операцию можно произвести утонение до $S' = 0,5S$). После каждой операции назначается промежуточный отжиг. При применении промежуточного отжига можно выполнить несколько последующих опера-

ций. При последовательной отбортовке следует принимать значения $[K_{отб}]$ на (15...20)% выше обычных, т. е. $[K_{отб}] = (1,15...1,20)K_{отб}$.

При отбортовке некруглых отверстий расчет допустимой деформации производится для участков с наименьшим радиусом закругления, при этом $[K_{отб}]'$ принимается на (10...15)% меньше обычных, т. е. $[K_{отб}]' = (0,90...0,85)[K_{отб}]$.

2.2.4 Примеры расчетов потребного количества и последовательности переходов штамповки

а) Гибка

Произвести определение количества и последовательности гибочных переходов (рис.10).

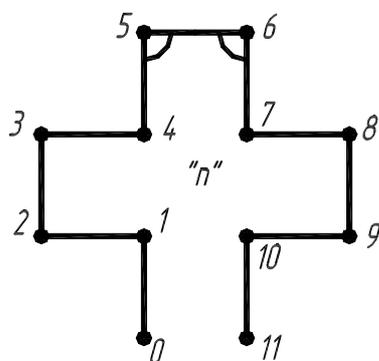


Рис.10. Эскиз детали (пятый переход гибки) – расчетная схема

Обозначаем на детали узловые точки и проводим поэлементную развертку детали (рис. 11).

Исходя из анализа гибки делается вывод о целесообразности применения пяти переходов гибки.

б) Вытяжка без утонения стенки (рис.4)

Произвести определение потребного количества переходов вытяжки без утонения стенок.

По табл. 9 [2] находим $m_1 = 0,55 ... 0,53$;

$$d_1 = m_1 \cdot D_{заг} = 0,53 \cdot 81,0 = 42,9 \text{ мм.}$$

По табл. 9 [2] находим $m_2 = 0,78...0,76$; $m_3 = 0,80... 0,79$; $m_4 = 0,82 ...0,81$.

Вычисляем размеры полуфабрикатов:

$$d_2 = 0,76 \cdot 42,9 = 32,6 \text{ мм; } d_3 = 0,79 \cdot 32,6 = 25,8 \text{ мм; } d_4 = 0,81 \cdot 25,8 = 20,9 \text{ мм.}$$

Очевидно, нужна пятая вытяжка с коэффициентом вытяжки $m_5 = m_4 \geq 0,82$. Определяем необходимый коэффициент вытяжки: $m_5 =$

$$\frac{d_n}{d_{n-1}} = \frac{20,0}{20,9} = 0,95.$$

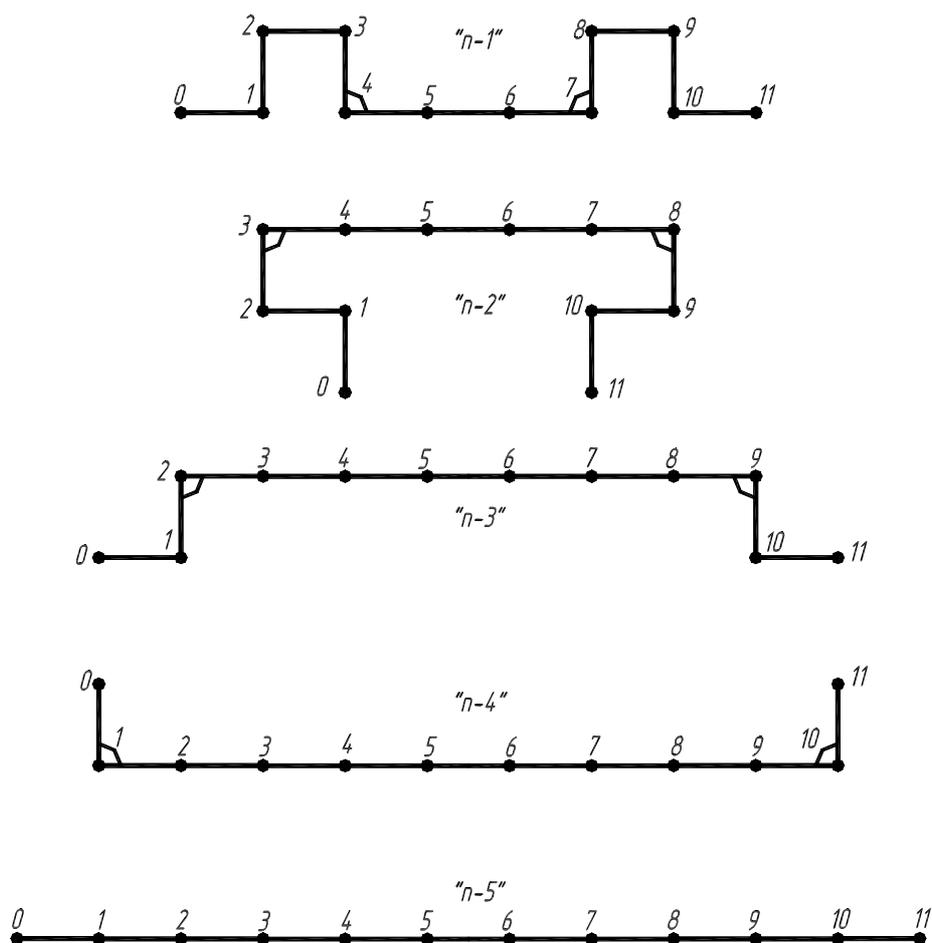


Рис.11. Эскизы переходов (полуфабрикатов) гибки

в) Вытяжка с утонением стенок

Произвести определение количества переходов и размеров промежуточных полуфабрикатов вытяжки с утонением. Исходные данные приведены в п. 2.2.2, в.

Принимаем коэффициенты вытяжки: $m_{\text{ут}1} = 0,75$; $m_{\text{ут}2} = m_{\text{ут}3} = \dots = m_{\text{ут}n} = 0,70$ (вытяжка производится с использованием промежуточного отжига).

Толщина стенки после каждой операции:

$$S_1 = m_{\text{ут}1} \cdot S_0 = 0,75 \cdot 4,0 = 3,0 \text{ мм};$$

$$S_2 = m_{\text{ут}2} \cdot S_1 = 0,70 \cdot 3,0 = 2,1 \text{ мм};$$

$$S_3 = m_{\text{ут}3} \cdot S_2 = 0,70 \cdot 2,1 = 1,47 \text{ мм};$$

$$S_4 = m_{\text{ут}4} \cdot S_3 = 0,70 \cdot 1,47 = 1,03 \text{ мм};$$

$$S_5 = m_{\text{ут}5} \cdot S_4 = 0,70 \cdot 1,03 = 0,72 \text{ мм};$$

$$S_6 = m_{\text{ут}6} \cdot S_5 = 0,70 \cdot 0,72 = 0,54 \text{ мм};$$

$$S_7 = m_{\text{ут}7} \cdot S_6 = 0,70 \cdot 0,54 = 0,40 \text{ мм}.$$

Следовательно, потребуется семь операций вытяжки ($S_n = 0,5 \text{ мм}$).

Диаметры стакана (полуфабриката) после первой вытяжки:

$$d_{\text{н}1} = 0,75 \cdot 41,7 = 31,28 \text{ мм}; \quad d_{\text{в}1} = 31,28 - 2 \cdot 3,0 = 25,28 \text{ мм}.$$

Чтобы за оставшиеся шесть операций вытяжки получить $d_{вн} = 24,0$ мм, необходимо при каждой операции уменьшать внутренний размер на $(25,28 - 24,00) : 6 = 0,213$ мм, что допустимо (см. формулу (22)).

Следовательно, после второй–шестой вытяжки получается:

$$d_{в2} = 25,28 - 0,213 = 25,07 \text{ мм};$$

$$d_{в3} = 25,067 - 0,213 = 24,85 \text{ мм};$$

$$d_{в4} = 24,854 - 0,213 = 24,64 \text{ мм};$$

$$d_{в5} = 24,641 - 0,213 = 24,43 \text{ мм};$$

$$d_{в6} = 24,428 - 0,213 = 24,22 \text{ мм};$$

$$d_{в7} = 24,215 - 0,213 = 24,002 \cong 24,0 \text{ мм};$$

$$d_{н2} = 25,067 + 2 \cdot 2,21 = 29,27 \text{ мм};$$

$$d_{н3} = 24,854 + 2 \cdot 1,47 = 27,79 \text{ мм};$$

$$d_{н4} = 24,641 + 2 \cdot 1,03 = 26,70 \text{ мм};$$

$$d_{н5} = 24,428 + 2 \cdot 0,72 = 25,87 \text{ мм};$$

$$d_{н6} = 24,215 + 2 \cdot 0,54 = 25,295 \text{ мм};$$

$$d_{н7} = 24,0 + 2 \cdot 0,4 = 24,8 \text{ мм}$$

($D = 25,0$ мм гарантированно обеспечен).

Полученные значения размеров (диаметров) следует округлить до 0,01 мм, что приведет к незначительным отклонениям от расчетных параметров и на результаты вытяжки не повлияет.

Высота стаканов (полуфабрикатов) после каждой операции вытяжки:

$$H_1 = \frac{4}{2 \cdot 3,0} \cdot \frac{41,7^2 - 31,28^2}{31,28 + 25,28} \cong 9,0 \text{ мм};$$

$$H_2 = \frac{4}{2 \cdot 2,1} \cdot \frac{41,7^2 - 29,27^2}{29,27 + 25,07} \cong 15,3 \text{ мм};$$

$$H_3 = \frac{4}{2 \cdot 1,47} \cdot \frac{41,7^2 - 27,79^2}{27,79 + 24,85} \cong 25,0 \text{ мм};$$

$$H_4 = \frac{4}{2 \cdot 1,03} \cdot \frac{41,7^2 - 26,70^2}{26,70 + 24,64} \cong 39,1 \text{ мм};$$

$$H_5 = \frac{4}{2 \cdot 0,72} \cdot \frac{41,7^2 - 25,87^2}{25,87 + 24,43} \cong 59,2 \text{ мм};$$

$$H_6 = \frac{4}{2 \cdot 0,54} \cdot \frac{41,7^2 - 25,29^2}{25,29 + 24,22} \cong 87,5 \text{ мм};$$

$$H_7 = \frac{4}{2 \cdot 0,40} \cdot \frac{41,7^2 - 24,8^2}{24,4 + 24,0} \cong 98,3 \text{ мм}.$$

$$\text{Принимаем, } H_{вт} = \frac{4}{2 \cdot 0,50} \cdot \frac{41,7^2 - 24,0^2}{25,5 + 24,0} \cong 93,1 \text{ мм};$$

Следовательно, $H_{отб}^{max} = H_{вт} + S_0 = 93,1 + 4,0 = 97,1$ мм.

Припуск – $\Delta H = H_{отб}^{max} - H_{д} = 97,1 - 79,0 = 18,1$ мм.

В приведенных расчетах высот полуфабрикатов условно принято, что на всех операциях радиусы закругления у дна близки к нулю. Наличие действительных радиусов закруглений незначительно изменит рассчитанные размеры полуфабрикатов (при обеспечении достаточной точности).

г) Отбортовка отверстий (внутренняя)

Определить возможность использования одного перехода отбортовки отверстия (рис. 6).

Исходные данные: $d_o = 28$ мм; $D_o = 52$ мм; $S = 2,0$ мм. Материал заготовки – Латунь Л63.

$$K_{отб} = \frac{d_o}{D_o} = \frac{28}{52} = 0,54.$$

По табл. 1 [2, с. 320] для случая $\frac{d_o}{S} = \frac{28}{2} = 14$ (при отбортовке сферическим пуансоном и чистовой пробивке технологического отверстия) находим $\eta_{отб} = 0,60$.

Для латуни Л63 – $\delta = 38\%$. Следовательно, по формуле (28)

$$K_{отб}^{пред.} = \frac{1}{(1 + 38/100)} \cdot 0,60 = 0,43.$$

Таким образом, поскольку $K_{отб} > K_{отб}^{пред.}$, отбортовку можно выполнить за одну операцию (без трещинообразования).

2.2.5. Складкообразование (гофры) при вытяжке

При осуществлении вытяжки (свертки) возможно образование гофров (складкообразование) за счет развитых сжимающих тангенциальных напряжений. Применение прижима при выполнении вытяжки исключает возможность образования гофров.

Необходимость применения прижима и возможность выполнения вытяжки без прижима определяется условиями, приведенными в табл. 47 и 8 [1,2] соответственно.

Таблица 2

Условия выполнения вытяжки

Вытяжка	С прижимом	С прижимом или без прижима	Без прижима
Первая	$D_{заг} - d_1 > 22 S$	$D_{заг} - d_1 = 22 S$	$D_{заг} - d_1 < 22 S$
Последующие	$\frac{100S}{d_{n-1}} < 1,25$	$\frac{100S}{d_{n-1}} = 1,25 \dots 1,5$	$\frac{100S}{d_{n-1}} > 1,5$

2.2.6. Пример расчета потребности прижима

Произвести определение потребности прижима (возможности гофрообразования) при вытяжке детали (рис. 4). Исходные данные приведены в 2.2.4, б.

- первый переход вытяжки:
 $D_{\text{зат}} - d_1 = 81,0 - 42,9 = 38,1 \text{ мм} < 22S = 22 \cdot 2,0 = 44 \text{ мм}$ – без прижима;
- второй переход вытяжки:
 $\frac{100S}{d_2} = \frac{100 \cdot 2}{32,6} = 6,13 > 1,5$ – без прижима;
- третий переход вытяжки:
 $\frac{100S}{d_3} = \frac{100 \cdot 2}{25,8} = 7,75 > 1,5$ – без прижима;
- четвертый переход вытяжки:
 $\frac{100S}{d_4} = \frac{100 \cdot 2}{20,9} = 9,57 > 1,5$ – без прижима;
- пятый переход вытяжки:
 $\frac{100S}{d_5} = \frac{100 \cdot 2}{20,0} = 10,0 > 1,5$ – без прижима.

2.3. Энергосиловые характеристики процессов штамповки

2.3.1. Разделительные операции

а) Резка исходного материала

- параллельными ножницами $P = L \cdot S \cdot \sigma_{\text{ср}}$, (29)

- гильотинными ножницами $P = 0,5 \frac{S^2}{\text{tg } \varphi} \cdot \sigma_{\text{ср}}$ ($\varphi = 2 \dots 5^\circ$), (30)

- дисковыми ножницами $P = 0,5 \frac{h_n S}{\text{tg } \alpha} \cdot \sigma_{\text{ср}}$. (31)

Полное усилие резки принимает $P_{\text{пр}} = 1,3P$ (учитывается наличие изгиба при резке, неравномерность толщины материала и затупление режущих кромок ножей).

б) Вырубка (пробивка, обрезка)

Технологическое усилие в штампах с параллельными (нескошенными ножами) режущими кромками:

$$P = L \cdot S \cdot \sigma_{\text{ср}}, \quad (32)$$

где L – периметр контура вырубки, мм;

S – толщина штампуемого материала, мм;

$\sigma_{\text{ср}}$ – сопротивление срезам, МПа.

Для повышения качества вырубки (пробивки, отрезки) могут применяться прижимные устройства:

$$P_{\text{приж}} = L \cdot S \cdot q_{\text{приж}}, \quad (33)$$

где $q_{\text{приж}}$ – удельное усилие, н/мм² [1,2].

Кроме прижимного устройства штамп может быть оснащен выталкивающим устройством, которое характеризуется противодавлением $P_{\text{пд}}$.

$$P_{\text{выт.}} = P_{\text{пд}} = 0,1P \quad (P \text{ – технологическое усилие штамповки}).$$

Если выталкивающее устройство служит так же и для прижима заготовки, то $P_{\text{выт}} = P_{\text{приж}}$ (определяется по формуле расчета $P_{\text{приж}}$).

При проектировании штампов разделительных операций необходимо рассчитывать значение требуемых усилий:

- усилие проталкивания ($P_{\text{пр}}$) детали (отхода) сквозь матрицу;
- усилие снятия ($P_{\text{сн}}$) отхода (детали) с пуансона.

Эти усилия определяются по формулам:

$$P_{\text{пр}} = K_{\text{пр}}P, \quad (34)$$

$$P_{\text{сн}} = K_{\text{сн}}P, \quad (35)$$

где $K_{\text{пр}}$, $K_{\text{сн}}$ – табличные коэффициенты, зависящие от толщины и марки металла [1,2];

P – рассчитанное усилие вырубки (пробивки, обрезки), кН.

Суммарное усилие штамповки определяется по формуле

$$P_{\Sigma} = P + P_{\text{пр}} + P_{\text{выт}} + P_{\text{сн}} + P_{\text{пр}}. \quad (36)$$

С учетом затупления режущих кромок:

$$P_{\Sigma} = K(P + P_{\text{пр}} + P_{\text{выт}} + P_{\text{сн}} + P_{\text{пр}}), \quad (37)$$

где $K = 1,1 \dots 1,3$.

В зависимости от конструкции штампа и схемы штамповки (с прижимом либо без, со снятием либо без, с выталкивателем либо проталкиванием) в расчетной зависимости усилия (36) учитываются соответствующие параметры.

При выборе прессы для выполнения заданной операции следует проверить запас энергии, которой он должен располагать. Для этого вычисляется работа деформации (A), необходимая для выполнения операции:

$$A = P_{\text{ср}} \cdot h_{\text{р}} \quad [\text{Дж}], \quad (38)$$

где $P_{\text{ср}}$ – усредненное усилие штамповки, кН [2];

$h_{\text{р}}$ – рабочий ход пуансона, мм ($h_{\text{р}} = S$)

2.3.2. Формоизменяющие операции

а) Вытяжка без утонения стенок

Усилие ($P_{\text{вт}}$), требуемое для вытяжки цилиндрической детали без утонения стенок, вычисляется по формуле

$$P_{\text{вт}} = \pi \cdot d \cdot S \cdot K_{\text{вт}} \cdot \sigma_{\text{в}}, \quad (39)$$

где d – диаметр детали, вытягиваемой после данной операции

(при $S \geq 2,0$ мм – по срединной линии), мм;

S – толщина материала, мм;

$K_{вт}$ – табличный коэффициент, зависящий от расчетного коэффициента вытяжки ($K_{вт} = f(m)$) [1,2].

Если при вытяжке с целью исключения гофрообразования необходим прижим, рассчитывается усилие прижима:

$$P_{приж} = q_{приж} \cdot F_{приж}, \quad (40)$$

где $q_{приж}$ – удельное усилие прижима, н/мм², [1,2].

$F_{приж}$ – площадь части заготовки, зажатой между матрицей и прижимным кольцом ($F_{приж} = \frac{\pi}{4} (D_{заг.} - \{d_n + 2z + 2r_m\}^2)$), мм. (41)

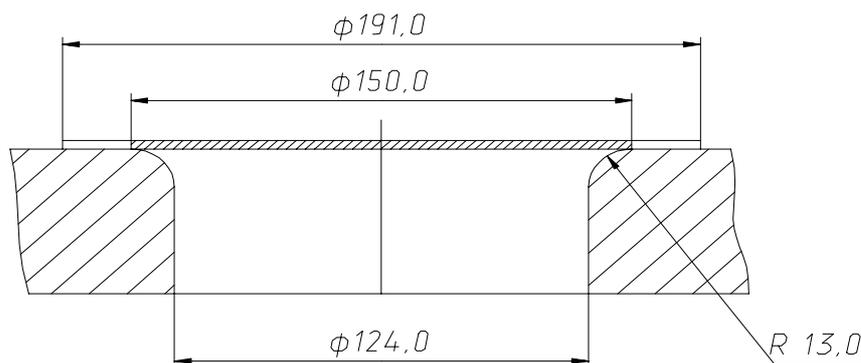


Рис. 12. К расчету площади заготовки, находящейся под прижимом

Расчет прижима имеет смысл, если вытяжка ведется на прессах простого действия. Для прессов двойного действия с жестким прижимом важно не давление, а установление минимально необходимого для данной толщины заготовки зазора между поверхностями прижима и матрицы, при которой исключается образование складок. Обычно этот зазор составляет $(1,03 \dots 1,07)S$ [5]

Зазор (z) при вытяжке без утонения стенок определяется по формулам:

- для стали – $Z = S + 0,07 \sqrt{10S}$; (42)

- для алюминия – $Z = S + 0,02 \sqrt{10S}$; (43)

- для других цветных металлов и сплавов – $Z = S + 0,04 \sqrt{10S}$. (44)

Радиус закругления рабочего ребра матрицы вычисляется по формуле [2]:

$$r_m = 0,05 [50 + (d_{n-1} - d_n)] \sqrt{S}, \quad (45)$$

где d_{n-1} и d_n – диаметры до и после данной операции.

Работа деформации ($A_{вт}$), необходимая для вытяжки [2]:

$$A_{вт} = (0,6 \dots 0,8) P_{вт} \cdot H_{вт}, \quad (46)$$

где $H_{вт}$ – глубина вытяжки, или рабочий ход ползуна пресса (пуансона), на протяжении которого действует $P_{вт}$, мм.

Усилия $P_{вт}$, $P_{приж}$, а также работу $A_{вт}$ при вытяжке некруглых (осесимметричные) деталей без утонения материала вычисляют по формулам (39–47). При этом в формулах (39–40) вместо значения « $\pi \cdot d$ » подставляют расчетный периметр « L » сечения полуфабриката после данной операции.

Полное усилие вытяжки ($P_{вт}$), необходимое для подбора пресса, определяется по формуле:

$$P_{вт} = P_{вт} + P_{приж} + P_{выт}. \quad (47)$$

б) Вытяжка с утонением стенок

Усилие вытяжки ($P_{вт}^{ym}$) для n-й операции определяется по формуле

$$P_{вт}^{ym} = \pi \cdot d_n (S_{n-1} - S_n) \cdot \sigma_{\epsilon} \cdot K_y, \quad (48)$$

где d_n – диаметр стакана, вытянутого после n-й операции, мм;

S_{n-1} и S_n – толщина стенки до и после n-й операции, мм;

σ_{ϵ} – предел прочности, МПа;

K_y – коэффициент, учитывающий характер деформации;

для стали – $K_y = 1,8 \dots 2,25$; для латуни – $K_y = 1,6 \dots 1,8$ [2].

в) Отбортовка отверстия (внутренняя)

Технологическое усилие $P_{отб}$ (Н), требуемое для отбортовки круглых отверстий, определяется по формуле

$$P_{отб} = 1,1\pi S \sigma_{\epsilon} (D_o - d_o), \quad (49)$$

где σ_{ϵ} – предел прочности штампуемого материала, МПа.

3. ВОПРОСЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКОЙ

3.1. Рациональная схема технологического процесса

С целью повышения эффективности листовой штамповки при изготовлении деталей сложных форм целесообразно производить предварительную технологическую проработку и выбор рациональной технологической схемы. При этом основными критериями являются: ресурсосбережение (увеличение КИМа, коэффициента раскроя); энергосбережение (минимизация потребного усилия и работы деформации); снижение трудоемкости; станкоемкости; уменьшение потребного количества инструментальной оснастки (штампов), технологического оборудования и обслуживающего персонала; повышение качества отштампованных деталей; повышение стойкости штампов и др.

Выбор рационального технологического процесса определит снижение себестоимости изготовления детали, и в конечном счете, повышение рентабельности промышленного производства.

Рассмотрим одну из схем выбора оптимального способа листовой штамповки на примере изготовления полый осесимметричной детали типа тел вращения.

Деталь, приведенную на рис.13, можно получить следующими основными способами:

1. Вытяжкой ступенчатого полуфабриката с последующей обрезкой края на величину Δh по линии В-В и отрезкой донной части на величину Δh_1 по линии А-А (рис. 13, а).

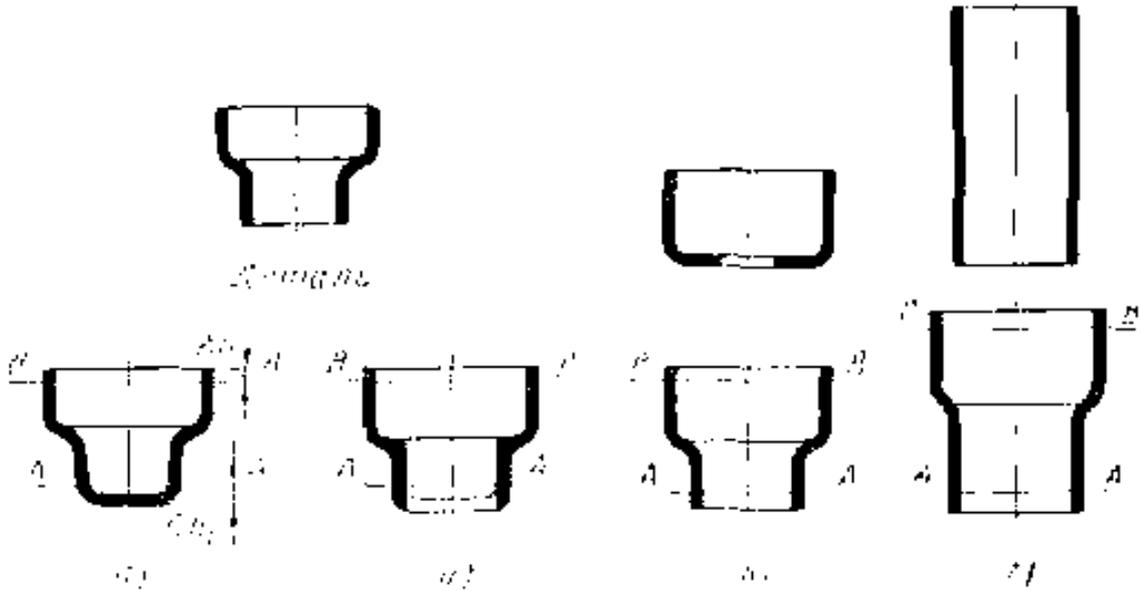


Рис. 13. Различные способы изготовления ступенчатого колпачка

2. Вытяжкой ступенчатого полуфабриката с последующей пробивкой отверстия в дне, зачисткой по линии А-А и обрезкой края на величину Δh по линии В-В (рис. 13, б).
3. Вытяжкой цилиндрического колпачка с последующей пробивкой-отбортовкой и обрезкой краев на величину Δh и Δh_1 по линии В-В и А-А (рис. 13, в).
4. Раздачей и обжимом трубной заготовки с последующей обрезкой торцов ступенчатого полуфабриката по линии В-В и А-А (рис. 13, г).

Этого примера достаточно, чтобы определить необходимость тщательной подготовительной технологической проработки по выбору рациональной схемы штамповки с обеспечением требуемых инженерных расчетов.

3.2. Штамповка вытяжкой-отбортовкой сталей группы 08

Подавляющее большинство полых осесимметричных деталей с отверстием изготавливаются вытяжкой из плоских заготовок с последующей пробивкой отверстия. Основной недостаток таких технологических процессов – низкий коэффициент использования металла, так как отход, получаемый после пробивки, часто не используется.

Совмещение операций вытяжки и отбортовки при изготовлении полых деталей типа тел вращения с отверстием в донной части позволяет уменьшить число переходов штамповки и значительно снизить расход металла. Деформированию подвергают плоскую заготовку с предварительно пробитым отверстием, размеры которого меньше размеров отверстия в дне готовой детали. Формообразование детали при этом происходит не только за счет течения металла с периферийной части заготовки, но и деформации дна (вытяжки-

отбортовки). Это позволяет уменьшить диаметр заготовки и увеличить коэффициент использования металла, а в некоторых случаях и уменьшить число переходов.

На основе проведенных экспериментов по оценке влияния каждого из пяти выделенных факторов – толщины материала, диаметров заготовки и отверстия, радиусов скругления матрицы и пуансона – на предельное деформирование листового металла, установлено два определяющих безразмерных фактора: S_0/d_0 – относительная толщина материала, $d_0/D_{\text{выт}}$ – относительный диаметр пробиваемого отверстия.

Получена математическая модель предельного формоизменения (коэффициент предельного деформирования для группы сталей 08) в виде степенного полинома:

$$K_{\text{п}} = 2,096 (S_0/d_0)^{0,0635} (d_0/D_{\text{выт}})^{0,1275} \quad (50)$$

Полученные зависимости характеризуют предельные параметры процесса, поэтому для их практического применения коэффициент предельного деформирования $K_{\text{п}}$ необходимо уменьшить на 10–20 %.

По результатам регрессионного анализа построены графики зависимостей коэффициента предельного деформирования $K_{\text{п}}$ от S_0/d_0 , и $d_0/D_{\text{выт}}$, для сталей 08кп, 08пс, 08ю и общий для группы сталей 08 (рис.14).

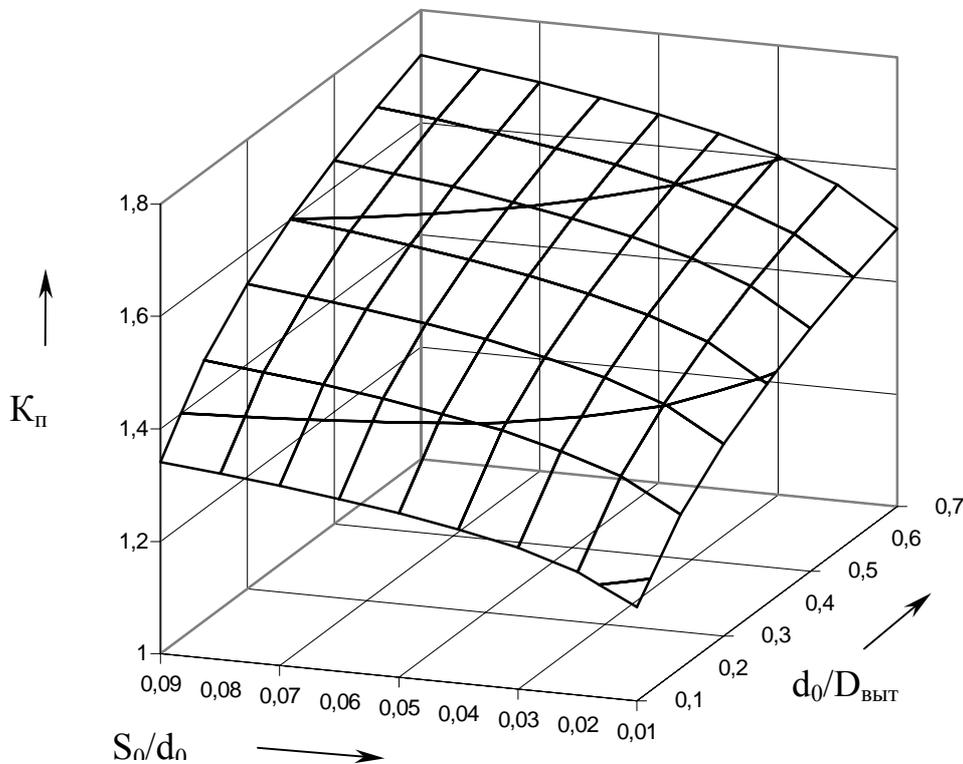


Рис.14. Влияние относительной толщины материала S_0/d_0 и относительного диаметра пробиваемого отверстия $d_0/D_{\text{выт}}$ на коэффициент предельного деформирования - $K_{\text{п}}$ (группы сталей 08)

График зависимостей $K_{\Pi} = f(S_0/d_0, d_0/D_{\text{выт}})$ показывает следующее:

1) при увеличении относительной толщины материала S_0/d_0 от 0,01 до 0,07 коэффициент предельного деформирования K_{Π} возрастает на (15–20) % (например, для $d_0/D_{\text{выт}} = 0,5$ K_{Π} увеличивается от 1,44 до 1,63);

2) при увеличении относительного диаметра пробиваемого отверстия $d_0/D_{\text{выт}}$ с 0,1 до 0,7 коэффициент K_{Π} возрастает на (20–30) % (например, для $S_0/d_0 = 0,05$ K_{Π} увеличивается от 1,31 до 1,68).

Необходимо отметить, что в расчетах при проектировании металлосберегающих технологических процессов на основе вытяжки-отбортовки данные А. Д. Матвеева, В. П. Романовского, Г. Д. Скворцова по коэффициенту отбортовки (рис.15) использовать невозможно т. к. во-первых, они получены при исследовании процесса отбортовки до получения полного борта, во-вторых, не учитывают зависимость K_{Π} от $d_0/D_{\text{выт}}$, в третьих, отсутствуют данные по K_{Π} для значений $S_0/d_0 < 0,01$, наиболее характерных для деталей с относительно большим отверстием в дне.

Полученная модель (50) позволяет определять предельно допустимый диаметр пробиваемого отверстия перед вытяжкой-отбортовкой при разработке металлосберегающих технологий штамповки деталей типа тел вращения с отверстием в дне (за счет интенсивного деформирования внутренней части заготовки и уменьшения ее диаметра) по формуле

$$d_0 = 0,5 d_{\text{к}}^{0,94} D_{\text{выт}}^{0,12} S_0^{-0,033} \quad (51)$$

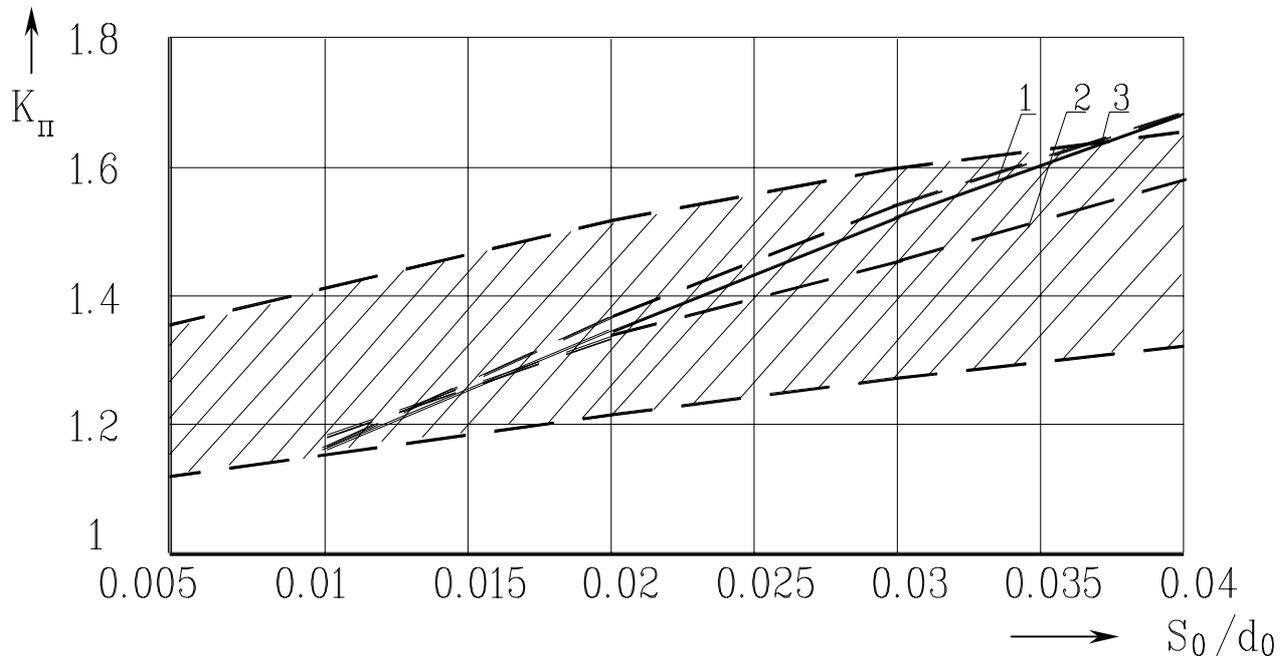


Рис. 15. График зависимостей $K_{\Pi} = f(S_0/d_0)$ 1, 2, 3 – соответственно по А. Д. Матвееву, В. П. Романовскому, Г. Д. Скворцову.

 – область $K_{\Pi} = f(S_0/d_0; d_0/D_{\text{выт}})$ при $d_0/D_{\text{выт}} = 0,2...0,7$ для сталей 08кп, 08пс, 08ю

Следующим этапом определяется площадь полуфабриката заключенная между диаметром пробитого отверстия и диаметром отверстия детали с учетом припуска на обрезку. Эта площадь позволяет уменьшить диаметр заготовки, рассчитанный для изготовления рассматриваемых деталей традиционным способом (вытяжкой из плоских заготовок с последующей пробивкой отверстий), т. к. участвует в формообразовании боковой поверхности детали, равно на столько, на сколько фланцевая часть заготовки не участвует в процессе вытяжки – отбортовке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внедрение технологических процессов изготовления деталей методами листовой штамповки способствует повышению производительности труда, экономии металла, инструмента, сокращению необходимого количества оборудования и производственных площадей, снижению себестоимости продукции и улучшению ее качества.

Дальнейшее совершенствование процессов листовой штамповки идет в основном по пути создания новых ресурсо- и энергоемких технологических процессов, создания новых методик расчета технологических режимов штамповки, обеспечивающих корректность принятия инженерных решений.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как изменяется значение оптимального зазора с изменением толщины и свойств металла?
2. Если вырубленная деталь остается в матрице, а отход остается на пуансоне, что необходимо использовать, чтобы устранить это явление?
3. Как определить деформирующее усилие при вырубке и пробивке?
4. Как определить усилие проталкивания и съема при вырубке и пробивке?
5. Какие существуют способы снижения деформирующего усилия при вырубке и пробивке?
6. Какие существуют виды раскроя листового и полосового материала? От каких факторов зависит эффективность раскроя?
7. Как определяются размеры заготовки при гибке? Что такое нейтральный слой деформации? Как определить его положение?
8. Как определить деформирующее усилие при одноугловой гибке на стадии свободного изгиба?
9. Как определить деформирующее усилие при двухугловой гибке на стадии свободного изгиба?
10. Какой принцип заложен в основу деформирующего усилия гибки с правкой в конце хода ползуна пресса?
11. От каких факторов зависит угол пружинения при одноугловой гибке?

12. Как компенсируют угол пружинения для гибки с учетом упругих деформаций?
13. Что такое минимальный радиус изгиба? От каких факторов зависит его значение? Как он определяется?
14. Какие существуют способы вытяжки?
15. В каких случаях вытяжка идет с прижимом (и без прижима)?
16. Где находится опасное сечение детали, получаемое вытяжкой? В связи с чем оно является опасным?
17. За счет чего можно уменьшить радиальные растягивающие напряжения при вытяжке?
18. Что такое фестоны? Причины их образования? Как получить «стакан» с равномерной высотой по периметру?
19. Как определить диаметр заготовки для осесимметричной детали, получаемой вытяжкой?
20. Как определить число переходов при вытяжке?
21. Как определить диаметр заготовки, получаемой вытяжкой с принудительным утонением стенок детали?
22. Как определить число переходов при вытяжке с принудительным утонением стенок детали?
23. Каким условиям должно удовлетворять усилие прижима? Как его определить?
24. В чем особенность вытяжки с широким фланцем?
25. В чем особенность вытяжки с утонением стенки?
26. От каких факторов зависит предельно возможная высота горловины, получаемой отбортовкой?
27. Как определяется потребное усилие отбортовки?
28. Как определяется диаметр технологического отверстия при отбортовке?
29. Как получить высокую горловину с использованием отбортовки?
30. Что представляет собой отбортовка с утонением стенок?
31. Каково назначение совмещенной операции вытяжка-отбортовка?
32. Каковы условия устойчивого протекания процесса вытяжка-отбортовка?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Справочник по холодной штамповке. Романовский В.П. – Л.: Машиностроение, 1979.
2. Справочник конструктора штампов. Листовая штамповка / Под ред. Л. И. Рудмана. – М.: Машиностроение, 1988.
3. Аверкиев Ю. А. Технология холодной штамповки / Аверкиев Ю. А., Аверкиев А. Ю.– М.: Машиностроение, 1989.
4. Зубцов М. Е. Листовая штамповка / Зубцов М. Е. – Л.: Машиностроение, 1980.
5. Малов А. Н. Технология листовой штамповки. –М.: Машиностроение, 1969.
6. Мурасов. А. Ш. Листовая штамповка: Методические указания. – Ульяновск: УПИ, 1982.
7. ГОСТ 19904-90. Прокат листовой холоднокатаный. Сортамент. – М.: Изд-во стандартов, 1991.
8. Матвеев Г. А. Исследование совмещений операций вытяжки и отбортовки. - М., Труды МВТУ, 1983.
9. Берлет Ю. Н., Филимонов В. И., Титов Ю. А. Об условиях протекания процесса вытяжки, совмещенного с неполной отбортовкой // Кузнечно-штамповочное производство. –2000.– № 2.