

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

**Инновационные способы деформирования с использованием  
процессов отбортовки для тонкостенных осесимметричных  
деталей усеченной сужающейся формы**

Электронные методические указания  
к курсовому проекту

САМАРА  
2012

Авторы-составители: **Попов Игорь Петрович**  
**Демьяненко Елена Геннадьевна**

**Инновационные способы деформирования с использованием процессов отбортовки для тонкостенных осесимметричных деталей усеченной сужающейся формы** [Электронный ресурс]: электрон. метод. указания к курсовому проекту / Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). - Электрон. текстовые и граф. дан. (1,71 Мбайт); авт.-сост. И. П. Попов, Е. Г. Демьяненко. - Самара, 2012. - 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

Приведены схемы штампов, методики расчетов прогрессивных способах формообразования заготовок в тонкостенные детали усеченной сужающейся формы, полученные в условиях всестороннего плоского растяжения с использованием процессов формовки, отбортовки, обтяжки.

Указания предназначены для студентов инженерно-технологического факультета, обучающихся по магистерской программе «Инновационные технологии получения и обработки материалов с заданными свойствами» по направлению 150400.68 «Металлургия» (ФГОС-3), изучающих дисциплину «Технологии и оборудование инновационных процессов деформирования» в В семестре.

Подготовлены на кафедре обработки металлов давлением.

## Содержание

<b>Введение .....</b>	<b>5</b>
<b>1 Задание для проекта .....</b>	<b>7</b>
<b>2 Свойства штампуемого материала .....</b>	<b>8</b>
<b>3 Разработка технологических процессов.....</b>	<b>11</b>
<b><i>3.1.1 Определение размеров и перемещение пуансона .....</i></b>	<b><i>11</i></b>
<b><i>3.1.2 Определение давления, создаваемого эластичным элементом .....</i></b>	<b><i>15</i></b>
<b><i>3.1.3 Определение давления, создаваемого эластичным буфером .....</i></b>	<b><i>15</i></b>
<b><i>3.1.4 Определение высоты и деформации эластичного буфера.....</i></b>	<b><i>17</i></b>
<b><i>3.2 Методика проектирования техпроцесса из сварных заготовок с эластичным пуансоном.....</i></b>	<b><i>20</i></b>
<b><i>3.3 Методика проектирования на основе способа формовки, совмещенного с вытяжкой для конических деталей.....</i></b>	<b><i>24</i></b>
<b>4 Конструирование общего вида штампа.....</b>	<b>28</b>

*Методические указания включают:*

*Введение.*

- 1. Задание для проекта.*
- 2. Свойства штампуемого материала.*
- 3. Разработка технологического процесса.*
- 4. Конструирование общего вида штампа.*

## Введение

Типовыми изделиями ракетно-космической и авиационной индустрии являются корпусные оболочки из листовых заготовок (обшивки отсеков, обтекатели, топливные баки различных форм и размеров, баллоны хранения газов, сопловые оболочки, оболочки камер сгорания двигателей и др.). К ним предъявляются высокие технологические возможности изготовления детали: геометрическая точность, качество поверхности, механические свойства, равномерная толщина, надежность в эксплуатации [23].

При этом условно тонкостенными будем считать те детали, у которых  $\frac{S_{заг}}{D} < 0,008$ . В дальнейшем в работе рассматриваются тонкостенные осесимметричные детали усеченной сужающейся формы с относительной высотой  $H : 0,5 < \frac{H}{D} \leq 0,7$  и отношением диаметров  $\frac{D}{d} = 1,7 \div 2,2$ .

Одна из главных задач технолога состоит в том, чтобы устранить возможность гофрообразования тонкостенных деталей сужающейся формы.

Поэтому очаг пластической деформации должен находиться либо в условиях плоского напряженного состояния растяжения, в противном случае с прижимом небольших участков. Создать оптимальный прижим по большому очагу деформации по всей поверхности заготовки затруднительно, так как происходит изменение конструкторские требования, определяющие толщины заготовки, как по длине, так и по времени. Задача технолога состоит в том, чтобы спроектировать технологический процесс с минимальным числом переходов, высоким коэффициентом использования материала, точными геометрическими параметрами. Кроме того, полученная деталь должна удовлетворять заданным эксплуатационным характеристикам. При достижении этого результата важно учитывать разнотолщинность получаемых деталей в листовой штамповке. Известно, например, что разнотолщинность многократной вытяжки составляет 50-100%. Это является одной из основных причин уменьшения степени формообразования на

последующих операциях штамповки, снижения коэффициента использования материала, т.к. не всегда полученный характер изменения толщины, ее величина на штампованной детали соответствует требуемым характеристикам. Для избежания этого исходную толщину заготовки выбирают завышенной на определенную величину разнотолщинности. Для деталей авиационной техники, подвергающихся механической обработке, возрастает трудоемкость изготовления и затраты материала из-за увеличения количества металла, снимаемого в стружку. Поэтому с технической и экономической точек зрения очень важно проектировать технологический процесс так, чтобы он направленно изменял толщину заготовки.

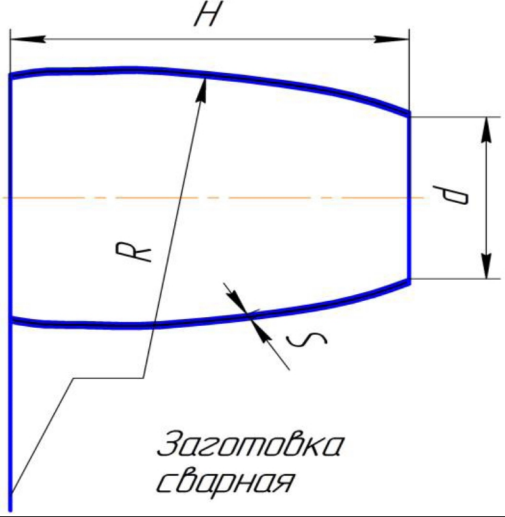
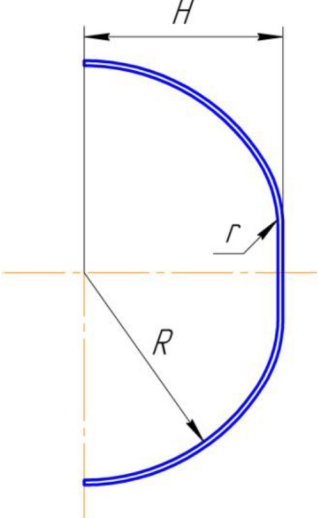
Удовлетворить требования, предъявляемые к деталям авиационной техники, возможно, если аналитически представить условие, являющееся функционалом, и затем его решить. Функционал требует приближения технологически возможной толщины  $S_T$  к заданной толщине детали  $S_{зад}$  при условии минимального отклонения как со стороны положительной, так и отрицательной разницы между двумя функциями толщин. Направленно изменять толщину заготовки, приближая ее к заданной, возможно путем использования технологических параметров процесса: исходных размеров заготовки, трения, геометрии инструмента, граничных условий. Наиболее эффективны при таком подходе способы, основанные на процессах формовки из тонкостенных конических заготовок. Однако, им присущ ряд недостатков, как в конструктивном плане, так и вследствие отсутствия методик проектирования. Таким образом, разработка методик проектирования новых способов из конических заготовок, совершенствование устройств для формообразования, которые повышают качество за счет равномерности толщины стенки и точности профиля, является актуальной.

# 1 Задание для проекта

В задании представлены исходные данные, необходимые для выполнения проекта: размеры детали, материал, программа выпуска в год (табл.1.1).

В качестве деталей в задании используются тонкостенные детали усеченной сужающейся формы со сварным швом или цельноштампованные.

Таблица 1.1 Исходные данные для детали

Номер варианта	R	H	d	S <sub>дет</sub>	N	Материалы	
а	60	40	12	0,5	10 <sup>2</sup>	АД1М	 <p>Заготовка сварная</p>
б	150	100	30	1,5	10 <sup>3</sup>	Л62	
в	80	53	16	1	10 <sup>2</sup>	Д16АМ	
г	500	330	100	2	3*10 <sup>2</sup>	В95АМ	
д	200	133	40	1,2	10 <sup>4</sup>	БрКМц	
Номер варианта	R	H	d	r	N	Материалы	
а	25	20	1	4	4*10	ВТ1	 <p>Заготовка цельноштампованная</p>
б	50	30	1,5	6	3*10 <sup>2</sup>	АМг3М	
в	100	80	2,0	10	10	В95АМ	
г	300	200	5	20	10 <sup>2</sup>	Л68	
д	500	300	4	15	10 <sup>2</sup>	М1	

## 2 Свойства штампуемого материала

В первую очередь следует оценить штампуемость листового материала по показателям механических свойств, которые берутся из справочного материала или таблицы 2.1.

Таблица 2.1 Механические свойства материалов

Марка материала	Механические свойства					Свойства кривых упрочнения	
	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_{0,2} / \sigma_B$	$\sigma_{TO}$ , %	$\sigma_p$ , %	$\sigma_i = Ab/n$ для $\varepsilon_i > 10\%$	
						<i>A</i>	<i>n</i>
BT1-0	550	450	0,82	24	10	-	-
OT-4	800	700	0,88	20	8	110	0,095
BT5-1	900	800	0,89	14	7	124	0,094
BT14	1000	900	0,9	10	5	141	0,0985
АД1М	70	30	0,43	-	-	-	-
Д16АМ	70	95	0,48	18	13	36,5	0,236
АМг3М	200	100	0,5	15	-	-	-
АМ26М	320	160	0,41	24	20	57,4	0,230
АМцМ	130	55	0,41	33	18	24,7	0,255
В95АМ	210	100	0,48	18	13	38,7	0,239
МА1-М	210	120	0,60	8	5	-	-
МА2-1-М	290	200	0,69	-	-	-	-
МА8-М	260	190	0,75	18	11	40,2	0,150
М1; М2; М3	240	70	0,29	50	20	48,8	0,327
Л96	240	60	0,25	50	20	57,5	0,360
Л90	260	130	0,50	44	18	44,3	0,213



Л80	310	120	0,39	52	20	57,7	0,273
Л68	330	100	0,30	60	24	64,8	0,321
Л62	360	100	0,30	50	20	73,3	0,329
ЛС59-1	420	150	0,36	42	18	84,0	0,307
ЛМц 58-2	440	160	0,36	36	15	91,0	0,309
ЛС62-1	380	180	0,47	37		69,0	0,240
Бр. ОФ6,5-0,15	400	220	0,55	38		67,8	0,206
Бр. ОЦ 4-3	360	110	0,30	38	18	75,8	0,322
Бр. ОЦС4-4-2,5	310	130	0,42	45	19	57,3	0,865
Бр. КМц 3-1	400	200	0,5	50	20	68,2	0,219
Бр. АМц 9-2	400	300	0,75	25	10	59,2	0,128

Штампуемость тем выше, чем меньше отношение  $\sigma_{0,2} / \sigma_e$  и больше  $\delta_p$  и  $\delta_{10}$  (относительное удлинение в момент разрыва 10-кратного образца - отношение длины рабочей части к корню квадратного из площади сечения образца). Наиболее высокой штампуемостью обладают медные сплавы.

Для расчета наиболее просто и достаточно точно можно использовать упрочнение в виде линейной функции.

$$\sigma_S = \sigma_{T_o} + \Pi e_i, \quad (2.1)$$

где  $e_i$  - интенсивность деформаций на рассматриваемом интервале деформирования;

$\Pi$  - модуль упрочнения;

$\sigma_S$  - напряжение текучести;

$\sigma_{T_o}$  - экстраполированный предел текучести.

Константы упрочнения линейной зависимости определяются следующим образом: постоянные значения  $\sigma_{T_o}$  определяются из условия прохождения линейной зависимости через условный предел текучести  $\sigma_{0,2}$ , а константу, характеризующую степень упрочнения  $\Pi$  определяем путем минимизации линейной зависимости, либо относительно экспериментальных данных, либо относительно широко распространенной аналитической

зависимости кривой упрочнения степенного вида:

$$\sigma_s = Ae_i^n, \quad (2.2)$$

где константы упрочнений штампуемого материала вычисляются по формулам:

$$n = \frac{\ln \left| \frac{\sigma_{0,2}}{\sigma_{ш}} \right|}{\ln \left| \frac{0,002}{\delta_p} \right|}, \quad (2.3)$$

$$A = \frac{\sigma_{ш}}{\delta_p^n}, \quad (2.4)$$

где напряжения в момент появления шейки равны:

$$\sigma_{ш} = \sigma_{\epsilon} (1 + \delta_p). \quad (2.5)$$

Механические свойства материала  $\sigma_{\epsilon}$ ,  $\sigma_{0,2}$ ,  $\delta_p$  берутся по результатам проводимых испытаний образца, либо таблицам.

С учетом сказанного, условие минимизации определим, используя метод наименьших квадратов:

$$\int_m^d \left( Ae_i^n - \sigma_{0,2} - \Pi \cdot 0,002 \right)^2 de_i \rightarrow \min,$$

где  $m, d$  - пределы интегрирования, которые конкретно определяются при решении заданной задачи:  $m = 0,002$ ,  $d = \delta_p$  - равномерное удлинение.

$$\frac{\partial}{\partial b} \int_m^d \left( Ae_i^n - \sigma_{0,2} - \Pi \cdot 0,002 \right)^2 de_i = 0,$$

$$\Pi = \frac{-\sigma_{0,2} \int_m^d e_i^n de_i + A \int_m^d e_i^{n+1} de_i}{\int_m^d e_i^2 de_i - 0,002 \frac{e_i^2}{2}}, \quad (2.6)$$

$$\sigma_{T_o} = \sigma_{0,2} - \Pi \cdot 0,002. \quad (2.7)$$

Для многопереходных процессов необходимо привести виды термообработки, ее режимы.

### 3 Разработка технологических процессов

Для получения высоких тонкостенных осесимметричных деталей усеченной сужающейся формы целесообразно использовать сварные заготовки в виде конических заготовок в штампах, схема которых представлена на рисунках 4.1,4.2. Выбор схемы штампа зависит от того, какие требования представлены к детали по толщине и какова штампуемость материалов детали. Для пластичных материалов и деталей с постоянной толщиной целесообразно использовать штамп по схеме рисунок 4.1.

#### 3.1.1 Определение размеров и перемещение пуансона

В первую очередь определялся угол конусности исходной заготовки. Он равен углу наклона, образованного касательной, проведенной к кромке детали у меньшего основания (см. рисунок 3.1).

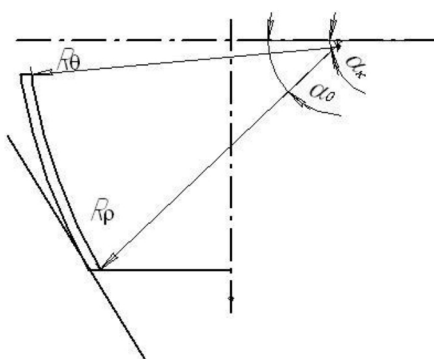


Рисунок 3.1 - Деталь выпуклой формы

Размеры заготовки по меньшему диаметру  $d_3$  и большему диаметру  $D_3$  находятся с учетом припуска под зажимы (см. рисунок 3.2):

$$d_3 = d + 2 \left( \frac{1}{2} \div 12 \right) S_{заг} \sin \alpha_{заг}, \quad D_3 = D + 2 \left( \frac{1}{2} \div 10 \right) S_{заг} \sin \alpha_{заг},$$

где  $D$  - диаметр большего основания детали;

$d$  - диаметр меньшего основания детали;

$\alpha_{заг}$  - угол конусности заготовки.

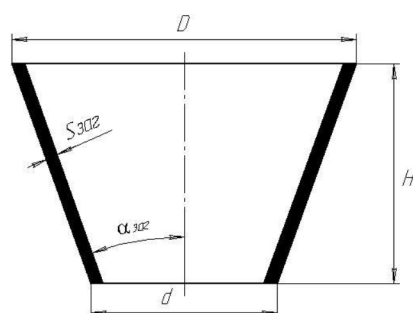


Рисунок 3.2 - Геометрическая схема конической заготовки

Сама же толщина заготовки определяется из условия постоянства объема заготовки и детали.

$$V_{заг} = V_{дет},$$

$$F_{дет} S_{дет} = F_{заг} S_{заг},$$

$$S_{заг} = \frac{F_{дет} S_{дет}}{F_{заг}}, \quad (3.1)$$

где  $F_{дет}$  - площадь детали по срединной поверхности;

$F_{заг}$  - площадь заготовки без учета припусков под зажимы.

Выделим элементарный участок, определенный размерами  $dl, d\rho, d\alpha$  (см. рисунок 3.3) и найдем площадь детали.

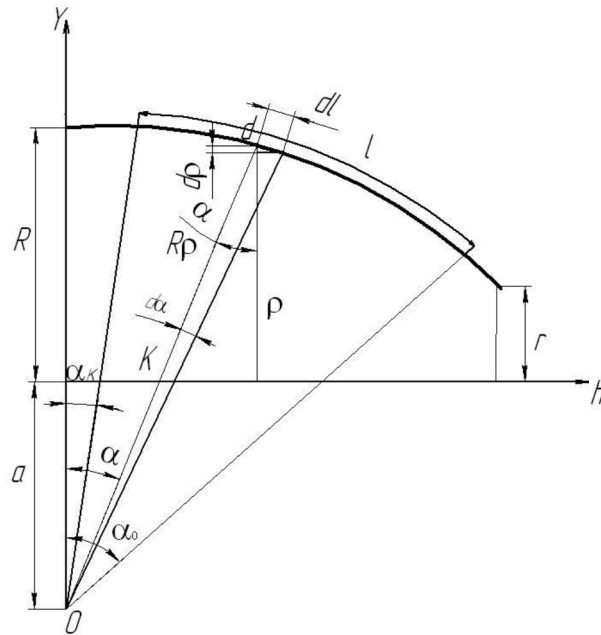
Из геометрии видно:

$$R_\rho = a + R = Od = const,$$

$$Kd = R_\rho - OK = R_\rho - \frac{a}{\cos \alpha},$$

$$\rho = \left( \frac{1}{2} \div d \right) \cos \alpha = \left( R_\rho - \frac{a}{\cos \alpha} \right) \cos \alpha = R_\rho \cos \alpha - a, \quad (3.2)$$

$$dl = R_\rho d\alpha. \quad (3.3)$$



$R_\rho$  - радиус детали в меридиональном направлении;  $Kd$  - радиус в тангенциальном направлении;  $\alpha_0$  - угол, образованный радиусом  $R_\rho$ , проведенным к кромке детали меньшего основания и осью, проведенной из центра радиуса  $R_\rho$  и перпендикулярной оси симметрии детали;  $\alpha_k$  - угол, образованный радиусом  $R_\rho$ , проведенным к кромке детали большего основания и осью, проведенной из центра радиуса  $R_\rho$  и перпендикулярной оси симметрии детали;  $\alpha$  - угол, образованный радиусом  $R_\rho$ , проведенным к кромке (со стороны большего основания) элементарного участка и осью, проведенной из центра радиуса  $R_\rho$  и перпендикулярной оси симметрии детали;  $R$  - радиус большего основания детали;  $r$  - радиус меньшего основания детали;  $dl, d\rho, d\alpha$  - размеры элементарного участка;  $a$  - расстояние от центра радиуса  $R_\rho$  до оси симметрии;  $l$  - участок с длиной образующей, где происходит непосредственный контакт пуансона с заготовкой

Рисунок 3.3 - Геометрическая схема детали выпуклой формы для определения площади детали

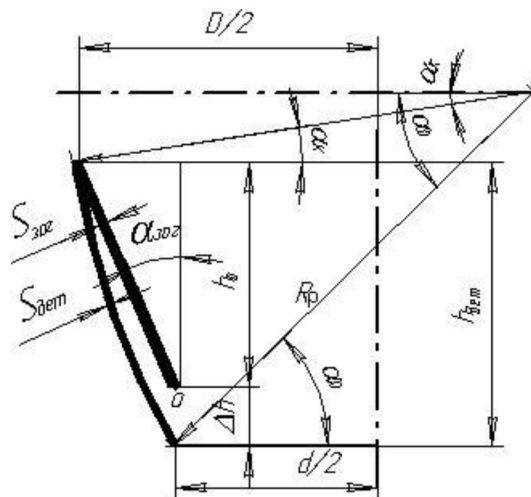
С учетом полученных соотношений:

$$F_{дет} = 2\pi \int_{\alpha_0}^{\alpha_k} \rho \cdot dl = 2\pi \int_{\alpha_0}^{\alpha_k} (R_\rho \cos \alpha - a) R_\rho d\alpha = 2\pi R_\rho \left[ R_\rho (\sin \alpha_0 - \sin \alpha_k) - a \cdot (\alpha_0 - \alpha_k) \right]. \quad (3.4)$$

Площадь заготовки определяется согласно рисунку (см. рисунок 3.2):

$$F_{заг} = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4 \sin \alpha_{заг}} \quad (3.5)$$

Для получения детали заданных размеров необходимо знать перемещение пуансона (см. рисунок 3.4).



$D$  - диаметр большего основания детали;  $d$  - диаметр меньшего основания детали;  $\alpha_{заг}$  - угол конусности заготовки

Рисунок 3.4 - Геометрическая схема для определения перемещения пуансона при формовке выпуклой детали

$$\Delta h = h_{дет} - h_0, \quad (3.6)$$

где  $\Delta h$  - перемещение пуансона;

$h_0$  - высота заготовки;

$h_{дет}$  - высота детали.

$$h_0 = \left( \frac{D}{2} - \frac{d}{2} \right) / \operatorname{tg} \alpha_{заг},$$

$$h_{дет} = R_{п} \sin \alpha_0 - R_{п} \sin \alpha_к. \quad (3.7)$$

### 3.1.2 Определение давления, создаваемого эластичным элементом

Расчет этого технологического параметра проводится по формуле (3.8), что в свою очередь требует определения коэффициента пропорциональности сжатия эластичного элемента  $k$  по формуле (3.9) В уравнениях коэффициент трения принимаем  $f = 0,15$ . Коэффициент анизотропии трансверсально-изотропного тела и показатели механических свойств выбираются для конкретного металла.

$$q = k\sigma_{\rho}^* S_{\text{дем}}, \quad (3.8)$$

где  $S_{\text{дем}}$  - толщина детали;

$\sigma_{\rho}^*$  - напряжения в меридиональном направлении, равные:

$$\sigma_{\rho}^* = \frac{\sigma_{\text{ТО}}}{\sqrt{1-\mu^2}} + \frac{\Pi}{1-\mu^2} \left( \frac{S_{\text{заг}} - S_{\text{дем}}}{S_{\text{заг}}} \right) \quad (3.9)$$

$$k = \frac{(-\mu - f\mu \cdot \text{ctg} \alpha) \sin \alpha + r^l f}{r^l \cdot R_{\rho}} \cdot \frac{1}{f - f_1}, \quad (3.10)$$

$$\alpha = \text{arctg} \left( \frac{R-r}{h_{\text{дем}}} \right); r^l = \frac{r}{R_{\rho}}; f = 0,15; f_1 = 0,05.$$

### 3.1.3 Определение давления, создаваемого эластичным буфером

Найденное значение давления можно создать, используя конструкцию штамповой оснастки, изображенной на рисунке 4.1. Величину этого давления определяет эластичный буфер 2, находящийся под подкладной плитой 9. В основу расчета положено равенство усилий эластичного элемента и эластичного буфера, действующих на подкладную плиту (с разных сторон). Величина перемещения подкладной плиты равна величине сжатия эластичного буфера 2. Зная необходимое давление, находят усилие,

действующее на подкладную плиту, приняв во внимание, что давление, создаваемое эластичным элементом в замкнутом объеме распространяется одинаково во всех направлениях. Из условия равенства усилий, как со стороны эластичного элемента, так и со стороны эластичного буфера имеем:

$$\frac{\pi(D_{\text{конт}}^2 - d^2)}{4} q = \frac{\pi(D_{\text{б}}^2 - d_{\text{б}}^2)}{4} q_{\text{б}}, \quad (3.11)$$

где  $q, q_{\text{б}}$  - соответственно давления, создаваемые эластичным элементом и эластичным буфером;

$D_{\text{б}} = (0,75 - 0,8)D_{\text{конт}}$  - наружный диаметр эластичного буфера;

$d_{\text{б}} = d / (0,75 - 0,8)$  - внутренний диаметр эластичного буфера.

Принятые соотношения диаметров берутся из условия сжатия эластичного буфера до 25%. Это исключает быстрый износ эластичного буфера и предохраняет от разрушения контейнера при высоких давлениях, в случае ошибки при регулировке хода пуансона. Из выражения (3.11) находим:

$$q_{\text{б}} = q \frac{D_{\text{конт}}^2 - d^2}{D_{\text{б}}^2 - d_{\text{б}}^2}, \quad (3.12)$$

где  $D_{\text{конт}}$  - внутренний диаметр контейнера, который находится из условия:

$$\frac{V_1}{V_{\text{эл.элемент}}} \leq \varepsilon \leq 0,25, \quad (3.13)$$

где  $V_{\text{эл.элемент}}$  - объем эластичного элемента.

$$V_{\text{эл.элемент}} = V_{\text{эл.цил}} - V_{\text{кон}} - V_{\text{цил}} = \frac{\pi D_{\text{конт}}^2}{4} h_{\text{эл.цил}} - V_{\text{кон}} - V_{\text{цил}}, \quad (3.14)$$

где  $V_{\text{кон}}$  - внутренний объем, ограниченный конической заготовкой;

$V_{\text{цил}}$  - объем, сформированный цилиндрической частью выталкивателя при формообразовании;

$V_{\text{эл.цил}}$  - объем эластичного цилиндра;

$h_{\text{эл.цил}}$  - высота эластичного цилиндра.

$$V_{\text{цил}} = \frac{\pi}{4} d^2 (h_{\text{дет}} - h_0), \quad (3.15)$$



$$V_{кон} = \frac{\pi}{12} h_0 (D^2 + D d + d^2). \quad (3.16)$$

Определим диаметр контейнера с учетом записи (3.13):

$$D_{конт} = \sqrt{\frac{1}{\varepsilon} + V_{кон} + V_{цил} \frac{4}{\pi}}. \quad (3.17)$$

Объем смещенной части эластичного элемента при формообразовании выпуклой детали вычисляется:

$$V_1 = V_{дет} - V_{цил} - V_{кон}, \quad (3.18)$$

где  $V_{дет}$  - объем, детали без учета припусков под зажимы, равный:

$$V_{дет} = 2\pi R_\rho^2 a (\alpha_0 - \alpha_k) - \frac{\pi R_\rho^3}{2} (\alpha_0 - \alpha_k + 0,5 \sin 2\alpha_0 - 0,5 \sin 2\alpha_k) - \pi R_\rho a^2 (\alpha_0 - \alpha_k), \quad (3.19)$$

где (см. рисунок 3.4):

$$h_{дет} = R_\rho \sin \alpha_0 - R_\rho \sin \alpha_k$$

или

$$\sin \alpha_k = \sin \alpha_0 - \frac{h_{дет}}{R_\rho}. \quad (3.20)$$

### 3.1.4 Определение высоты и деформации эластичного буфера

По построенной или известной номограмме (см. рисунок 3.5), с учетом найденного значения  $q_6$  устанавливают взаимосвязь между деформацией эластичного буфера и геометрическим соотношением для применяемого материала эластичного буфера:

$$\frac{q_6 - d_6}{h_6} = M,$$

где  $h_6$  - высота эластичного буфера;

$M$  - принятое значение.

Величина деформации сжатия эластичного буфера вычисляется по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\Delta h_6}{h_6}, \quad (3.21)$$

где  $\Delta h_6$  - величина сжатия эластичного буфера.

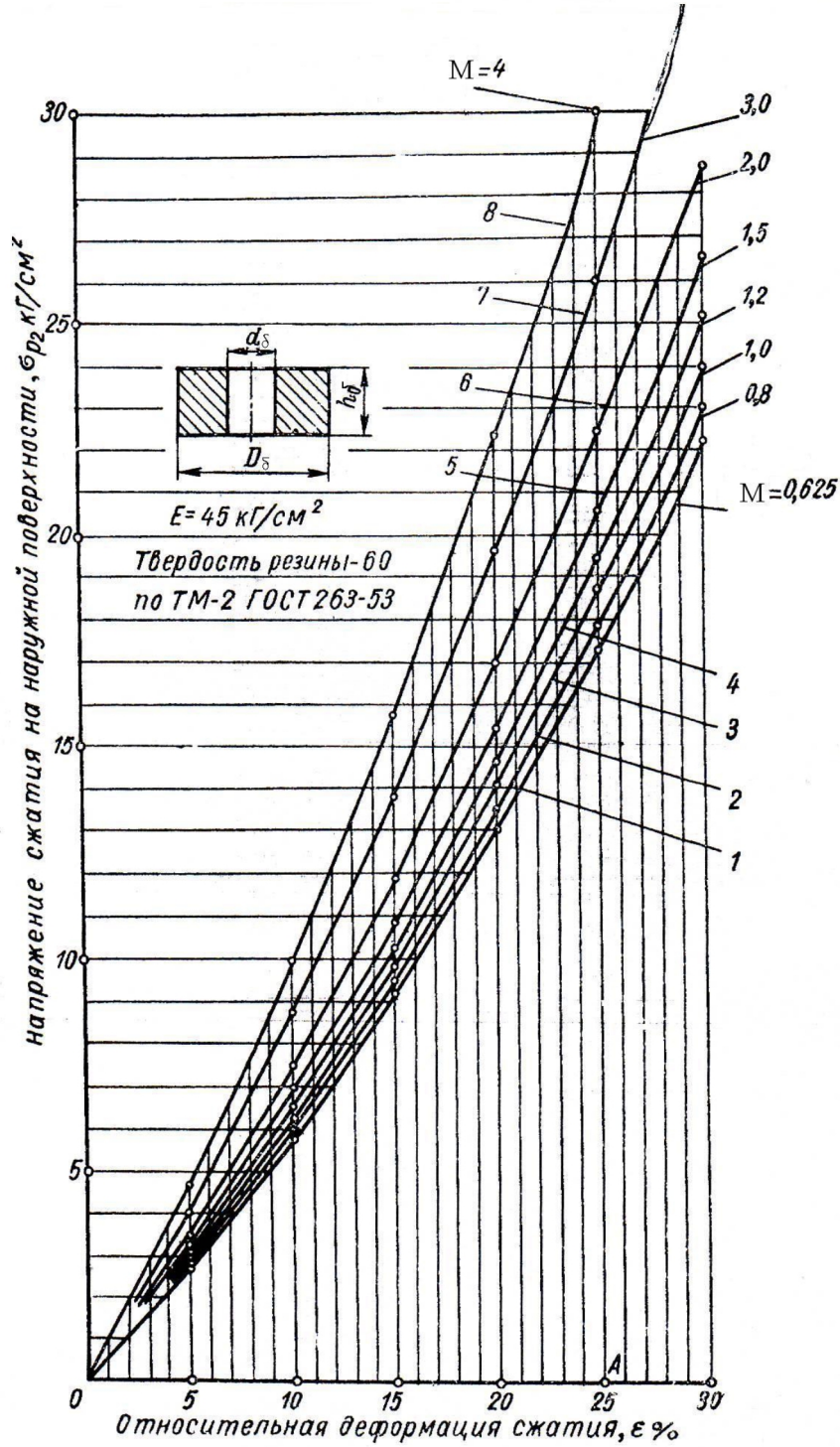


Рисунок 3.5 – Диаграммы сжатия резины

Последние соотношения позволяют определить высоту эластичного буфера:

$$h_{\delta} = \frac{D_{\delta} - d_{\delta}}{M}, \quad (3.22)$$

$$h_{\delta} = \frac{\Delta h_{\delta}}{\varepsilon}.$$

Приравняв два последних равенства, получим:

$$M = \frac{\Delta h_{\delta}}{\varepsilon (D_{\delta} - d_{\delta})}. \quad (3.23)$$

Чтобы найти  $\Delta h_{\delta}$ , надо иметь в виду: величина сжатия эластичного буфера зависит от величины смещенного объема при формировании детали заданных размеров (рисунок 4.1). Так как эластичный элемент находится в замкнутом объеме, то внутреннее давление в нем зависит от возможного перемещения подкладной плиты 9, которая создает усилие сопротивления при сжатии эластичного буфера 2. При этом пуансон, внедряясь в эластичный элемент 4, перемещает часть объема  $V_1$  (смещенный объем) в объем  $V_2$ . Так как эластичный элемент практически несжимаем, то можно принять  $V_1 = V_2$ . Объем  $V_1$ , сечение которого имеет фигуру, близкую к треугольнику  $\Delta abc$ , с одной стороны ограничен наружной поверхностью детали, а с другой – внутренней поверхностью эластичного элемента, совпадающей с наружной поверхностью заготовки. Объем  $V_2$  имеет в сечении фигуру прямоугольника  $a'b'c'd'$  и равен:

$$V_2 = \frac{\pi (D_{\text{конт}}^2 - d^2)}{4} \Delta h_{\delta}.$$

Из условия равенства  $V_1 = V_2$  находим:

$$\Delta h_{\delta} = \frac{4V_1}{\pi (D_{\text{конт}}^2 - d^2)}. \quad (3.24)$$

Далее по номограмме выбирают точку пересечения трех линий: горизонтальной прямой, соответствующей давлению эластичного буфера; вертикальной прямой, соответствующей выбранному значению деформации сжатия буфера; кривой зависимости  $q_{\delta} = f(\varepsilon)$  при геометрическом

соотношении  $M$  (см. рисунок 3.6). Причем значения  $M$  и  $\varepsilon$  должны удовлетворять зависимости (3.23). По формулам (3.22) определялась высота эластичного буфера.

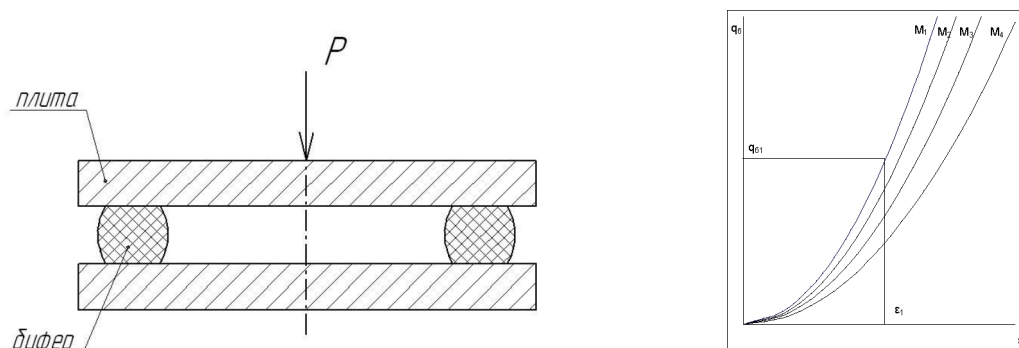


Рисунок 3.6 - Схема осадки буфера и номограммы зависимости  $q_0 = f(\varepsilon)$

### 3.2 Методика проектирования техпроцесса из сварных заготовок с эластичным пуансоном

Определяются размеры заготовки (см. 3.1.1). Схема штампа, реализующего способ, представлена на рисунке 4.2. Чтобы избежать при увеличении диаметра эластичного элемента его уменьшения высоты и возникновения на поверхности контакта с заготовкой сжимающих сил трения, которые могут привести к потере устойчивости тонкостенной заготовки, эластичный элемент в районах наибольшего и наименьшего диаметров матрицы зажимается (в начальный момент) между матрицей и секторами. Для надежного обеспечения условия зажима эластичного элемента необходимо, чтобы его высота была больше высоты рабочей поверхности, но не превышала общую высоту матрицы, иначе эластичный элемент может попасть в зазор между матрицей 2 и секторами 4. Это устраняет сжимающие силы трения на внутренней поверхности заготовки. Эластичный элемент, деформируясь, увеличивает диаметр и уменьшает

толщину, то есть соответствует условию плоского деформированного состояния, когда деформация по толщине  $\varepsilon_s$  равна по величине и противоположна по знаку деформации увеличения диаметра эластичного элемента  $\varepsilon_\theta$ . Приблизительно можно записать, считая выполнения условия постоянства объема для эластичного элемента:

$$\varepsilon_s \approx -\varepsilon_\theta \text{ или}$$

$$\frac{\rho_{cp} - r}{r} \approx -\frac{S - S_0}{S_0}, \quad (3.25)$$

где  $\rho_{cp}, r$  – соответственно радиусы по средней поверхности средние по очагу эластичного элемента до и после деформации;

$S_0, S$  – соответственно толщины эластичных элементов средние по очагу до и после деформации.

Несмотря на уменьшение толщины эластичного элемента, прирост объема  $\Delta V_\rho$  его за счет увеличения диаметра должен компенсировать разницу между внутренним объемом, ограниченным рабочей поверхностью матрицы и объемом, ограниченным наружной поверхностью эластичного элемента в исходном состоянии  $\Delta V$ .

$$\Delta V_\rho = \Delta V \text{ или}$$

$$\pi \frac{\rho_{cp}^2 - r^2}{\cos \alpha} h_m = \Delta V, \quad (3.26)$$

где  $h_m$  - высота рабочей поверхности матрицы;

$\alpha$  - угол конусности конуса.

Выразим  $r$  из (3.25) и, подставив его в (3.26) после преобразований получим:

$$\rho_{cp} = \left(2 - \frac{S}{S_0}\right) \sqrt{\frac{\Delta V \cos \alpha}{\pi \cdot h_m} \left[ \left(2 - \frac{S}{S_0}\right)^2 + 1 \right]}. \quad (3.27)$$

Приняв во внимание, что  $\rho = \rho_\theta - 0,5S$  имеем:

$$S = 2 \left( \rho_0 - \left( 2 - \frac{S}{S_0} \right) \sqrt{\frac{\Delta V \cos \alpha}{\pi \cdot h_m \left[ \left( 2 - \frac{S}{S_0} \right)^2 + 1 \right]}} \right). \quad (3.28)$$

Исходную толщину эластичного элемента найдем, поставив ограничения по степени деформации:

$$\frac{S}{S_0} \leq k \leq 0,9 \div 0,75 \text{ или}$$

$$S_0 = \frac{S}{k}, \quad (3.29)$$

где

$$S = 2 \left( \rho_0 - k \sqrt{\frac{\Delta V \cos \alpha}{\pi \cdot h_m \left[ \left( 2 - k \right)^2 + 1 \right]}} \right), \quad (3.30)$$

где  $\rho_0$  - средний радиус детали.

Определим давление эластичной среды:

$$q = \beta \cdot S_{\text{заз}} \cdot e_S + P e_S \left( \frac{1}{R_\rho} + \frac{1}{R_\rho - a / \cos \frac{\alpha_0}{2}} \right). \quad (3.31)$$

$$e_S = -c \sin \left( \frac{1 - \bar{\rho}}{1 - \rho_0} \pi \right), \text{ при } \beta = 1,1. \quad (3.32)$$

На кромках при формовке деформацию  $e_S$  принимаем равной нулю, т.е. при

граничных условиях:  $\bar{\rho} = \frac{\rho}{R_\sigma} = 1$ ;  $\bar{\rho}_0 = \frac{\rho_0}{R_\sigma}$ ;  $e_S = 0$ .

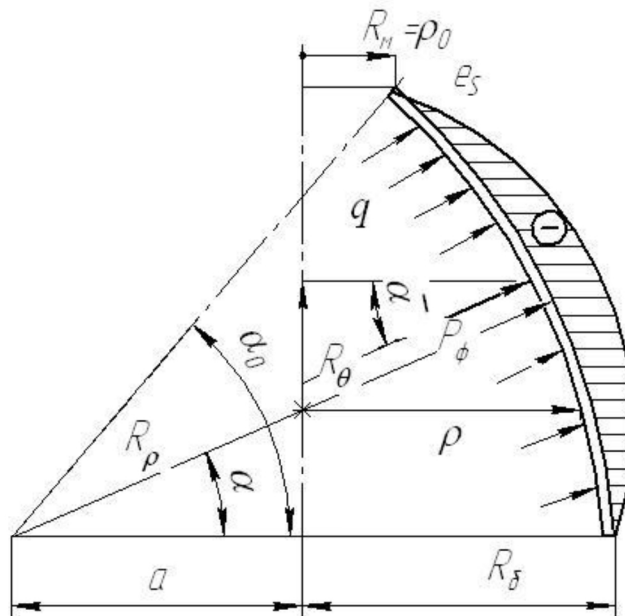
Функция (3.33) имеет экстремум. Его определим из условия  $\frac{de_S}{d\rho} = 0$  и

получим:

$$\bar{\rho}_c = \frac{\bar{\rho}_0 + 1}{2}. \quad (3.33)$$

Используя метод ортогонализации, найдем постоянную  $c$ :

$$c = - \frac{\bar{\sigma}_{T_o} \left( \frac{1+2l}{2\rho_c} + K \right) \left( -\bar{\rho}_0 \right)}{\left( \frac{1+2l}{2\rho_c} + K \right) \left( -\bar{\rho}_0 \right) + 1}. \quad (3.34)$$



$R_p$  - радиус детали в меридиональном направлении;  $\alpha_0$  - угол, образованный радиусом  $R_p$ , проведенным к кромке детали меньшего основания и осью, проведенной из центра радиуса  $R_p$  и перпендикулярной оси симметрии детали;  $\alpha$  - угол, образованный радиусом  $R_p$ , проведенным к рассматриваемому элементу) и осью, проведенной из центра радиуса  $R_p$  и перпендикулярной оси симметрии детали;  $R_b$  - радиус большего основания детали;  $R_m$  - радиус меньшего основания детали;  $R_\theta$  - радиус детали в тангенциальном направлении;  $a$  - расстояние от центра радиуса  $R_p$  до оси симметрии;  $q$  - давление;  $\bar{\alpha}$  - угол между результирующей силой, приложенной в центре очага деформации и осью симметрии

Рисунок 3.7 - Схема для определения геометрических соотношений и эпюра деформации по толщине

Толщину детали определим по формуле:

$$S_{dem} = S_{заг} \left( -e_S \right). \quad (3.35)$$

Выражение (3.31) имеет экстремум. Считая  $\bar{\alpha} = \frac{\alpha_0}{2}$  постоянным, равным среднему значению:

$$e_{S_{\max}} = \frac{1 - \overline{\sigma_{T_0}}}{2} \leq \delta_p. \quad (3.36)$$

Подставив (3.36) в (3.31) найдем максимально возможное давление эластичной среды на заготовку. Считаем: давление действует равномерно по всей площади заготовки; поверхность наклона конуса перпендикулярна результирующему усилию от давления. Найдем усилие:

$$P_\phi = qFf_1 \sin \bar{\alpha}, \quad (3.37)$$

где  $f_1$  - коэффициент трения сектора по конусу,

$\bar{\alpha}$  - угол конусности конуса;

$F$  - площадь поверхности очага деформации, равная:

$$F = 2\pi R_\rho \left[ R_\rho \sin \alpha_0 - a \cdot \alpha_0 \right]; \quad \bar{\alpha} = \frac{\alpha_0}{2}. \quad (3.38)$$

Общее усилие составляет:

$$P = P_\phi + P_{\text{эл.эл.}} + P_\sigma, \quad (3.39)$$

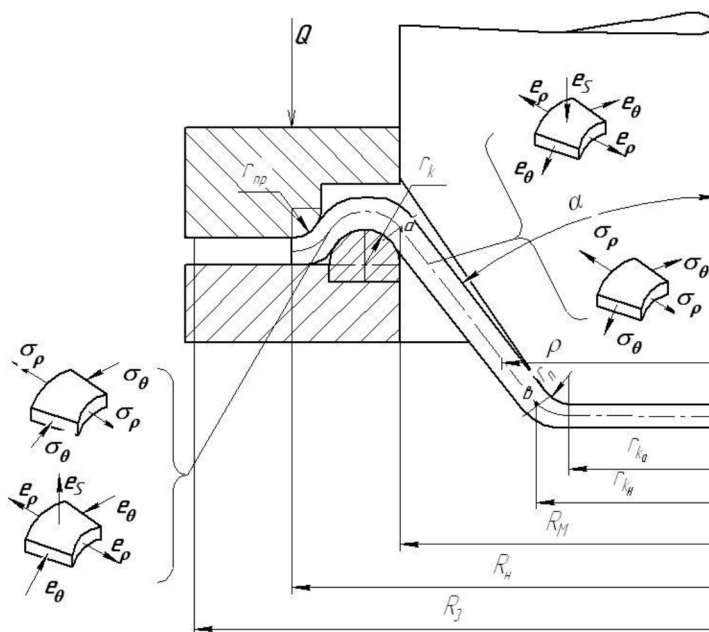
$$P_{\text{эл.}} = \pi (Q^2 - d^2) \bar{q}, \quad (3.40)$$

где  $P_\sigma$  - усилие необходимое для преодоления буферного устройства (см. 3.1.4).

### **3.3 Методика проектирования на основе способа формовки, совмещенного с вытяжкой для конических деталей**

Схема штампа, реализующего способ, представлена на рисунке 4.3. Схема процесса формовки-вытяжки представлена на рисунке 3.8.





1 - пуансон; 2 - заготовка; 3 - прижим; 4 - кольцо; 5 - матрица

Рисунок 3.8 - Схема формовки-вытяжки

Способ формообразования, основанный на процессах формовки и вытяжки, позволяет увеличить относительную высоту детали. Это возможно, когда очаг деформации процесса формовки донного и конического участков снабжается дополнительным материалом со стороны сильно прижатого фланца. Условие формовки и устранение гофр на коническом свободном участке, выполняется, если в точке «а» (в зоне касания заготовки) меридиональные напряжения  $\sigma_\rho$  будут равны пределу текучести. Тогда тангенциальные напряжения  $\sigma_\theta = 0$  (т.е. меняется знак сжатия при вытяжке на знак растяжения при формовке). Это достигается конструктивно: применением перетяжного порога. Такая схема реализует максимальные напряжения  $\sigma_\rho$  в точке касания «а» при минимальном значении усилия прижима и минимальных размерах фланца заготовки за счет изгиба трения на пороге, упрочненной и утолщенной заготовки. Важен момент, когда кромка заготовки  $R_n$  достигнув радиуса закругления прижима  $r_{np}$ , обеспечивает в течение всего процесса вытяжки максимальные напряжения

$\sigma_p$  в точке касания «а», равные пределу текучести, но уже упрочненных элементов. Для этого необходим расчет размеров заготовки.

В этом случае можно считать, что объем фланца заготовки, находящейся между радиусами  $R_3$  и  $R_n$ , будет дополнительным для формирования конической детали. Благодаря чему появляется возможность увеличения ее высоты. Внимание необходимо обратить на то обстоятельство, чтобы на заключительной стадии (при  $\sigma_p - \max$ ) меридиональные напряжения  $\sigma_p$  в точке касания «а» не превышали некоторого значения предела текучести, во избежании обрыва в донной части заготовки при формовке. Т.е. напряжения в радиусной части пуансона не должны превысить предельного значения - напряжения разрыва.

В первую очередь определяется возможность получения детали за один переход. Находят угол возможной конусности детали:

$$\alpha = \arcsin \left\{ \frac{0,5 \left[ R_M^2 - 0,25 \left( r_{\kappa_0} + r_{\kappa_n} \right)^2 \bar{S}_{\text{дем}} \right]}{\left( R_n^2 + R_3^2 - R_M^2 \right) \bar{S}_{\text{заг}} - 0,25 \bar{S}_{\text{дем}} \left( r_{\kappa_0} + r_{\kappa_n} \right)^2} \right\}, \quad (3.41)$$

$$\text{где } r_{\kappa_n} = r_{\kappa_0} + r_{np}; R_n = R_M + 3r_{np}; S_{заг} = S_{дем} / \left( 1 - \delta_p \right); \quad (3.42)$$

$$R_3 = \frac{R_n}{1 - \bar{X}} = \frac{R_M + 3r_{np}}{1 - \bar{X}}; \bar{X} = \exp \left[ \left( \alpha - 1,5\pi \right) \frac{\sigma_{T_0}}{\Pi} \right], \quad (3.43)$$

где  $\sigma_{T_0}$ ,  $\Pi$  - показатели упрочнения линейной функции;

$R_M$  - радиус отверстия в матрице;

$R_3$  - радиус заготовки (принято условие, что от трения под прижимом дополнительное напряжение постоянно);

$S_{заг}$  - толщина заготовки;

$R_n$  - радиус кромки заготовки на заключительной стадии.

Если угол  $\alpha$  окажется меньше, чем угол конусности детали, то деталь можно получить за 1 переход. В противном случае необходим дополнительный переход с отжигом.

Важно определить усилие прижима и усилия формовки. Усилие

прижима равно:

$$Q = \frac{\pi S_{заг} R_3}{f} \left( e^{-f(\pi-\alpha)} - \frac{1}{2\bar{r}_k + 1} \right) e^{-0,5f\pi} - \ln|K_\epsilon| + \bar{X} - \frac{1}{2\bar{r}_{np} + 1}, \quad (3.44)$$

где  $K_\epsilon = \ln \left| \frac{R_3}{R_M} \right|$  - коэффициент вытяжки;

$\bar{r}_{np} = \frac{r_{np}}{S_{заг}}$  - относительный радиус скругления на кольце;

$\bar{r}_k = \frac{r_k}{S_{заг}}$  - относительный радиус перетяжного порога.

Определим усилие способа формовки-вытяжки:

$$P_\phi = 2\pi R_M S_{дет} \cos \alpha \sigma_{\rho_a}, \quad (3.45)$$

$$\sigma_{\rho_a} = \beta \left( \epsilon_{T_0} + \Pi X \right) \left\{ \left[ \ln|K_\epsilon| - X + \frac{1}{2\bar{r}_{np} + 1} + \frac{Q \cdot f}{\pi S_{заг} R_3} \right] e^{0,5f\pi} + \frac{1}{2\bar{r}_k + 1} \right\} e^{f\pi}, \quad (3.46)$$

где  $\bar{r}_{np} = \frac{r_{np}}{S_{заг}}$  - относительный радиус скругления на кольце;

$\bar{r}_k = \frac{r_k}{S_{заг}}$  - относительный радиус перетяжного порога;

$f$  - коэффициент трения;

$\alpha$  - угол конусности детали;

$Q$  - усилие прижима;

$X = \frac{R_3 - R_M}{R_3}$  - относительное перемещение кромки;

Для трансверсальной анизотропии приведённый коэффициент Лоде равен:

$$\beta = 0,5 \left( \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{1+\mu}} + \frac{\sqrt{1-\mu}}{\sqrt{1+3\mu+2\mu^2}} \right). \quad (3.47)$$

## 4 Конструирование общего вида штампа

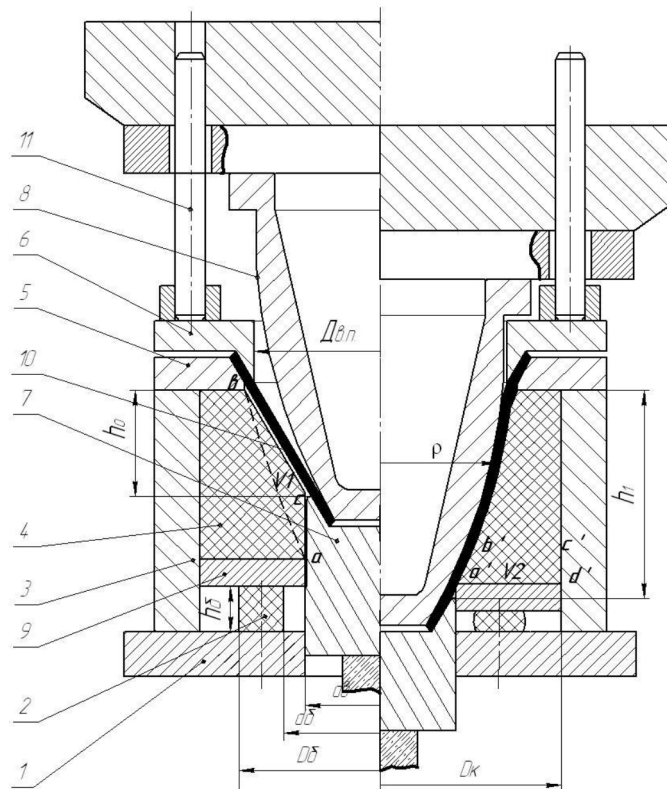
Штампы проектируются под гидравлическое оборудование в соответствии с их технической характеристикой. При этом предусматривается: максимальное использование нормализованных и стандартных деталей и узлов (до 70-90%); удобство и безопасность в работе; получение штампуемых деталей с заданными качествами.

Штампы проектируются в нижнем рабочем положении- так наилучшим образом увязывается взаимодействие рабочих, прижимающих и удаляющих детали штампа, а также исключается возможность конструктивных ошибок из-за несогласованности верхней и нижней частей штампа. Обычно кроме главного вида вычерчиваются два плана конструкции - вид снизу и вид сверху. На плане снизу, расположенном под главным видом, указывается все, что смонтировано на нижней плите, а на плане сверху - только то, что относится к верхней плите. На горизонтальной проекции возможно совмещение видов сверху на нижнюю и верхнюю плиты.

На чертеже общего вида штампа необходимо указать: габаритные размеры; высоту штампа в его нижнем положении (закрытую высоту); требуемое усилие штамповки; величину хода ползуна пресса; расположение рым-болтов при весе свыше 20 кг; специальные требования техники безопасности.

В правом верхнем углу вычерчивается эскиз детали, получаемой на данном штампе в общем виде. Здесь необходимо указать: марку материала, его толщину и состояние (отожженный, закаленный и т. п.); схему раскроя; размеры заготовки и детали с указанием допусков на их изготовление. В правом нижнем углу общего вида указываются технические требования на изготовление, монтаж и эксплуатацию штампа.

Схемы общих видов штампов приведены на рисунках 4.1-4.3.

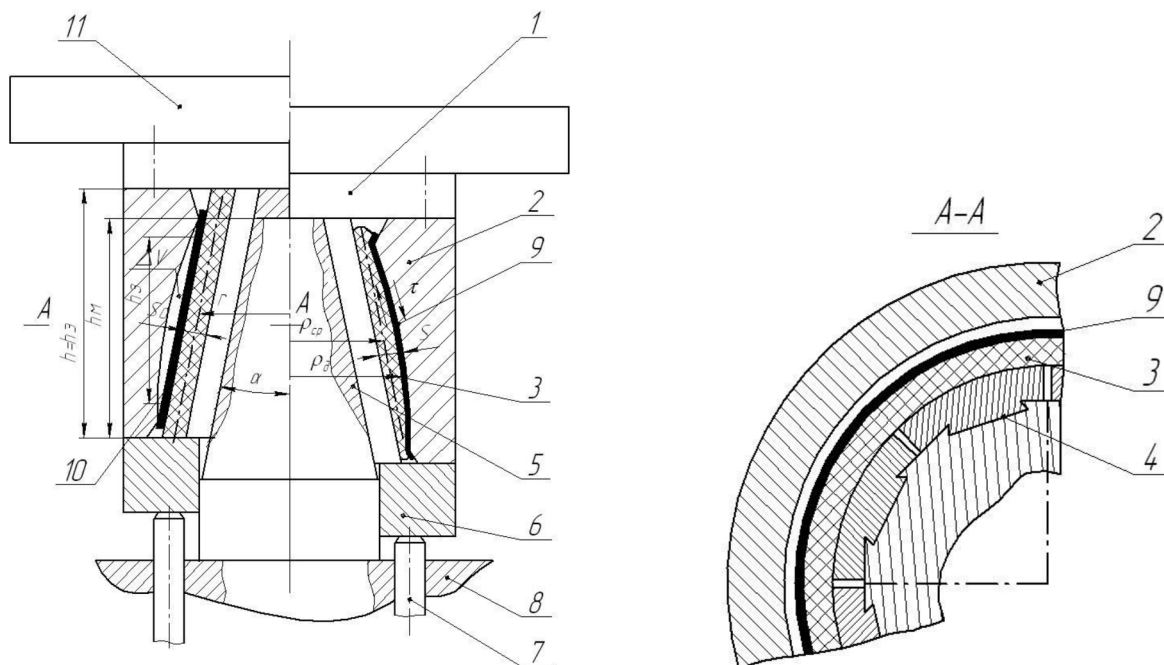


1-плита штампа; 2- эластичный буфер; 3-контейнер; 4- эластичный элемент; 5- матрица; 6- прижим; 7-выталкиватель; 8- пуансон; 9-подкладная плита; 10-заготовка; 11-шпилька

Рисунок 4.1 - Устройство для формообразования тонкостенных осесимметричных деталей усеченной сужающейся формы (слева от оси в открытом, а справа от оси в закрытом положении)

Коническая усеченная заготовка 10 устанавливается наружными поверхностями, прилегающими к торцу большего основания, на матрицу 5, а прилегающие к торцу меньшего основания, на выталкиватель 7. Затем заготовка зажимается по внутренним поверхностям к матрице 5 прижимом 6, а к выталкивателю 7 пуансоном 8. Инструмент, где происходит зажим заготовки, выполнен с рабочими поверхностями, имеющими конусность, совпадающей с конусностью заготовки. При движении на пуансон действует усилие, равное суммарному усилию, создаваемое выталкивателем и усилием от давления эластичного элемента 4. Так как эластичный элемент находится в замкнутом объеме, то внутреннее давление в нем зависит от возможного перемещения подкладной плиты 9, которая создает усилие сопротивления при сжатии эластичного буфера 2 в виде кольца. При этом пуансон,

внедряясь в эластичный элемент 4, перемещает часть объема  $V_1$  (смещенный объем) в объем  $V_2$ .

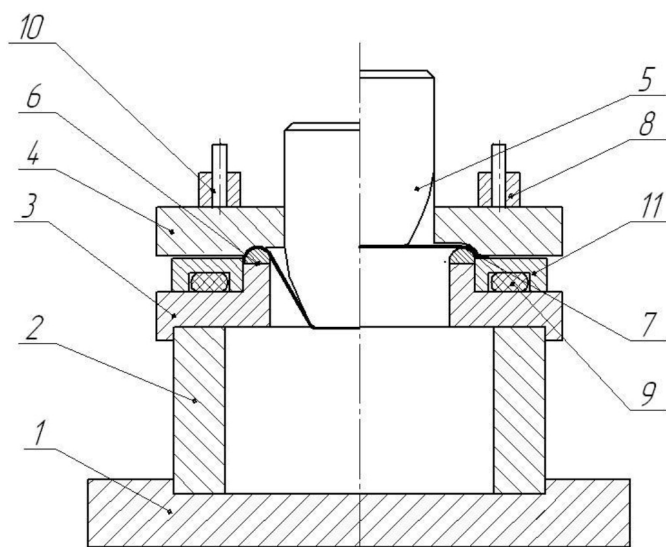


1-пуансон; 2-матрица; 3- эластичного элемента; 4- раздвижные сектора; 5- конус с направляющими пазами; 6- опорное кольцо; 7-шпильки; 8- плита штампа; 9-деталь; 10-заготовка; 11-верхняя плита

Рисунок 4.2 - Устройство для формообразования тонкостенных осесимметричных деталей усеченной сужающейся формы

Получение качественной тонкостенной осесимметричной детали усеченной сужающейся формы без огранки за один ход пресса достигается за счет устройства (см. рисунок 4.2), которое состоит из пуансона 1, жестко соединенного с матрицей 2, эластичного элемента 3 в виде конической оболочки, раздвижных секторов 4, конуса с направляющими пазами 5, опорного кольца 6, шпилек 7, установленных в плиту штампа 8. Устройство работает следующим образом. Опорное кольцо 6 поднято вверх. Пуансон с матрицей отведены кверху на высоту, обеспечивающую установку заготовки 10. Раздвижные секторы 4 подняты вверх вместе с эластичным элементом 3. В этом положении устанавливают конусную заготовку сверху на эластичный

элемент. Далее опускается пуансон с матрицей до упора на опорное кольцо 6. При этом рабочие поверхности в элементах наибольшего и наименьшего диаметров касается эластичного элемента. Рабочая поверхность матрицы  $h_m$  по высоте меньше высоты заготовки  $h_3$ , а высота эластичного элемента  $h_9$  равна высоте матрицы  $h$ . При движении пуансона вниз вместе с ним опускается и матрица 2, преодолевая сопротивление опорного кольца 6, раздвижных секторов 4 и эластичного элемента 3 вместе с заготовкой 10. Секторы, опускаясь вниз по конусу 5, увеличиваются в диаметре. При этом увеличиваются в диаметре и эластичный элемент, который начинает деформировать давлением изнутри заготовку, плотно прижимая ее к рабочей поверхности матрицы. Полученную деталь 9 удаляют, подняв сначала пуансон с матрицей, а затем опорное кольцо 6.



1 - нижняя плита штампа; 2 - контейнер; 3 - матрица; 4 - прижим; 5 - пуансон; 6 - перетяжной порог; 7 - заготовка; 8 - стакан; 9 - эластичное кольцо; 10 - шпилька; 11 - дополнительный прижим

Рисунок 4.3 - Общий вид штампа

В исходном положении заготовка устанавливается на дополнительный прижим, рабочая поверхность которого выше перетяжного порога матрицы. При опускании основного прижима 4 начинается процесс неглубокой

вытяжки на высоту рабочей поверхности перетяжного порога. Прижим устраняет гофрообразование фланца. Далее при опускании пуансона процесс меняется на формовку. На ее заключительной стадии напряжения заготовки достигают определенной величины, достаточной для того, чтобы часть заготовки с фланца переместилась в очаг деформации, находящейся в условиях процесса формовки, которая заканчивается, когда кромка коснется перетяжного порога.