

Воронежский государственный технический университет

В.И. Максименков, Корольков В.И., Самохвалов В.В.,  
Молод М.В.

Изготовление деталей из листов и профилей для летательных  
аппаратов

Воронеж - 2021 год

## Введение

Основной особенностью конструкции летательных аппаратов является большой объем деталей, получаемых методом формования из листовых и профильных материалов, что требует разработки технологических процессов и оборудования, обеспечивающих требования производства. Это детали осесимметричной формы для подвесных баков, цилиндрические и конические обечайки для кожухов шумоглушения двигателей, обечайки для камер сгорания.

Разработка технологий для формообразования профильных заготовок позволяет получать шпангоуты заданной геометрической формы, определяющих точность аэродинамической формы фюзеляжа самолета.

Учебное пособие содержит материалы, позволяющие осуществлять проектирование технологического процесса изготовления деталей из листовых заготовок и профилей с выбором требуемого оборудования и оснастки.

Учебное пособие предназначено для студентов авиационных специальностей, а также студентов специальности «Управление качеством».

## 2. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ОСНАСТКИ НА ВЕЛИЧИНУ ПРУЖИНЕНИЯ

### 2.1. Напряженно-деформированное состояние профильных заготовок

### 2.2. Процесс гибки

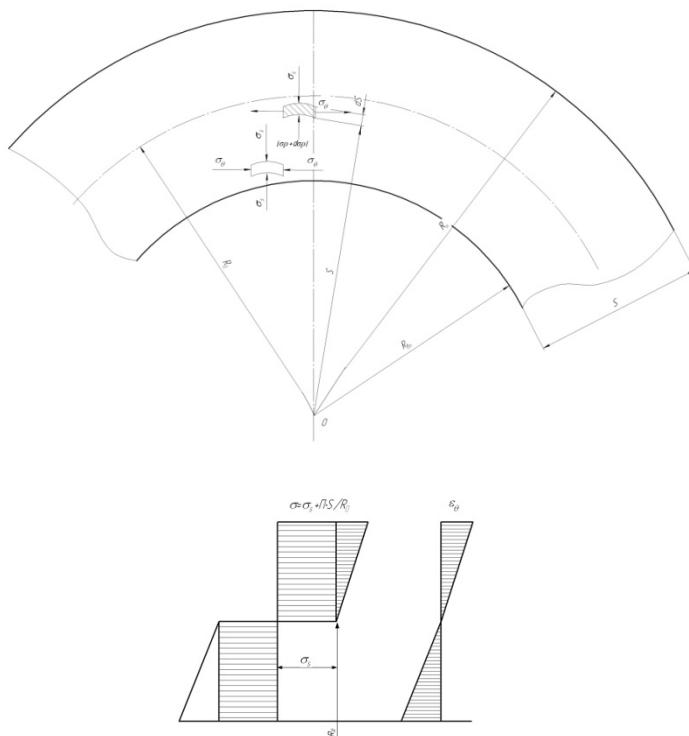


Рис.2.1 Напряженно-деформированное состояние при гибке заготовки

Уравнение равновесия для заштрихованной части заготовки имеет вид:

$$\frac{d\sigma_p}{dp} + \frac{\sigma_p - \sigma_0}{p} = 0 \quad (2.1)$$

где

$\sigma_p$  - радиальные напряжения;

$\sigma_\theta$  - тангенциальные напряжения;

$p$  - текущий радиус.

Уравнение пластичности:

$$\sigma_\theta - \sigma_p = \beta \sigma_s \quad (2.2)$$

$\beta$  – коэффициент, учитывающий влияние средн. гл. напряжения  
 $\beta=1,15$

Радиальные напряжения определяются:

$$\sigma_p = -\beta \sigma_s \ln \frac{R_H}{p} \quad (2.3)$$

где

$R_H$  - наружный радиус заготовки;

$\sigma_p$  - напряжения текучести.

Тангенциальные напряжения имеют вид:

$$\sigma_\theta = \beta \sigma_s \left(1 - \ln \frac{R_H}{p}\right) \quad (2.4)$$

Напряжение в сжатой зоне:

$$\sigma_p = -\beta \sigma_s \ln \frac{p}{R_{вн}} \quad (2.5)$$

где

$R_{вн}$  - внутренний радиус заготовки

$$\sigma_\theta = -\beta \sigma_s \left(1 + \ln \frac{p}{R_{вн}}\right) \quad (2.6)$$

Полученные уравнения не учитывают упрочнения и больше справедливы для формообразования с нагревом заготовки.

Расчет напряжений позволяет определить значения моментов и определить величину пружинения заготовки.

$$R_{ост} = \frac{R_0}{1 - \frac{MR_0}{EJ}} \quad (2.7)$$

где

$R_0$  - радиус нейтрального слоя;

$E$  – модуль упругости заготовки;

$J$  - момент инерции сечения заготовки.

Применение предварительного растяжения при гибке с растяжением изменяет характер напряжений и деформаций по сечению заготовки, обеспечивает устойчивое формообразование без образования гофров.

### 2.3. Гибка с растяжением

В связи с возрастанием скорости полетов летательных аппаратов повышаются требования к точности выполнения наружных обводов, а, следовательно, и к точности изготовления деталей, определяющих наружные обводы (обшивок, стрингеров, нервюр, шпангоутов). Например, шпангоут диаметром 3,5-4 м должен иметь отклонения в размерах не более  $\pm 1-1,5$  мм, а нервюра лобовой части крыла – не более  $\pm 0,5$  мм; то же относится и к точности обшивок. Поэтому возникла необходимость усовершенствовать операцию гибки, чтобы уменьшить влияние упругих деформаций на форму деталей после разгрузки, т.е. повысить их точность. Был предложен новый способ – гибка с растяжением, которая в настоящее время занимает ведущее место в производстве ответственных деталей из профилей (профили шпангоутов, полки или пояса нервюр, стрингеры и др.) и листов (лобовые, крыльевые и конические фюзеляжные обшивки, обечайки, детали днищ баков и др.)

На рис. 2.2 приведен характер напряженно деформированного состояния заготовки при гибке заготовки с растяжением.

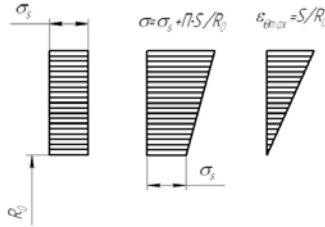


Рис.2.2 Напряженно-деформированное состояние при гибке заготовки с растяжением

#### 2.4. Определение параметров технологического процесса обтяжки по схеме растяжение-изгиб (Р-И)

К технологическим параметрам (режиму) процесса обтяжки относятся: усилие предварительного растяжения  $P$ , величина выдвигания пуансона на столе станка  $\delta$  (рис.2.3) (при заниженных  $\delta$  на процесс обтяжки с заданным усилием неблагоприятно сказывается инертность перемещения исполнительных органов станка):

1) Предварительное удлинение следует давать 1% от длины заготовки, что соответствует усилию:

$$P_1 = \sigma F \quad (2.8)$$

или давлению в растяжных гидроцилиндрах:

$$P_0 = \frac{\sigma F}{F_0} \quad (2.9)$$

где

$P_1$  – усилие, необходимое для предварительного удлинения заготовки;

$\sigma$  – напряжение, соответствующее удлинению заготовки на 1% (табл. 2.1);

$F$  – площадь поперечного сечения заготовки,  $\text{см}^2$ ;

$P_0$  – давление в растяжных гидроцилиндрах, необходимое для предварительного растяжения заготовки (рис.2.3);

$F_{ц}$  – площадь поршня растяжного гидроцилиндра,  $дм^2$   
 ( $F_{ц}=2,041 дм^2$  – для станка ПГР-7).

Таблица 2.1

Механические свойства алюминиевых сплавов

Марка материала	Термообработка	$\sigma$ , МПа· $10^{-1}$	E, МПа· $10^{-1}$	$\eta$ , МПа· $10^{-1}$
Д16	св. закал.	18,2	7200	239
В95	св. закал.	18,2	7400	246

Кинематическая схема станка ПГР-7

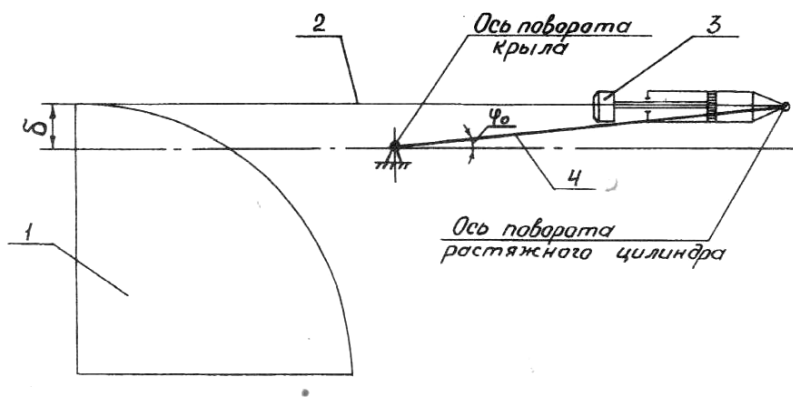


Рис. 2.3

1 – обтяжной пуансон; 2 – заготовка; 3 – зажим; 4 – крыло станка

Давление в растяжных гидроцилиндрах при обтяжке профилей на станке ПГР-7

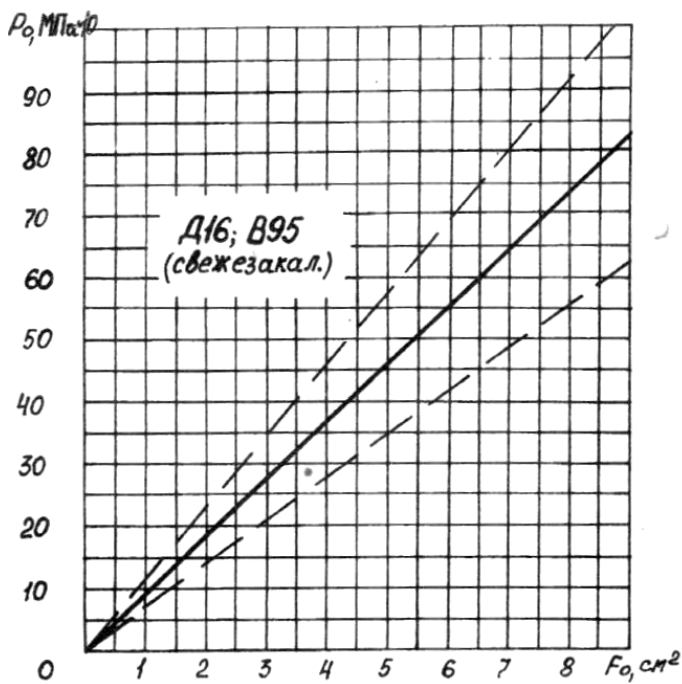


Рис. 2.4



Величина выдвигания пуансона на столе станка в зависимости от радиуса кривизны вершины детали

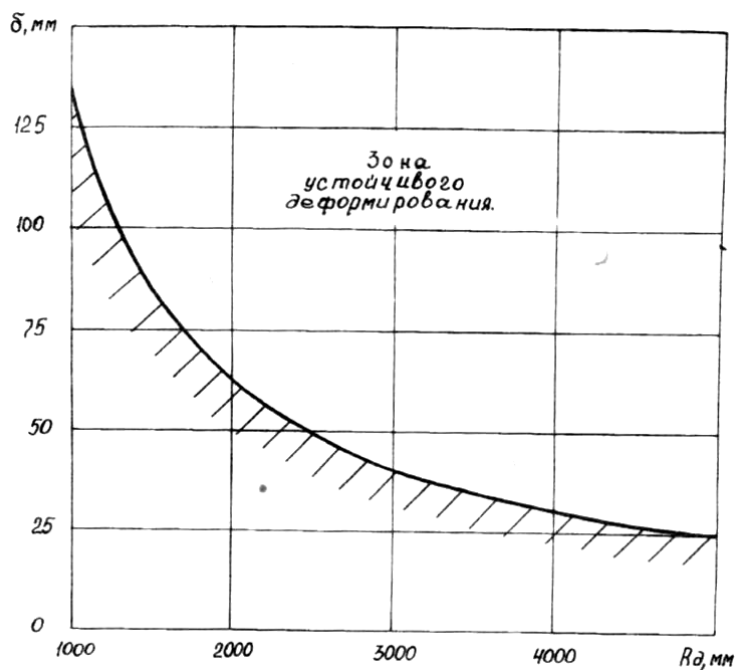


Рис. 2.5

Схема для расчета отклонений контура пуансона от контура детали постоянного радиуса кривизны

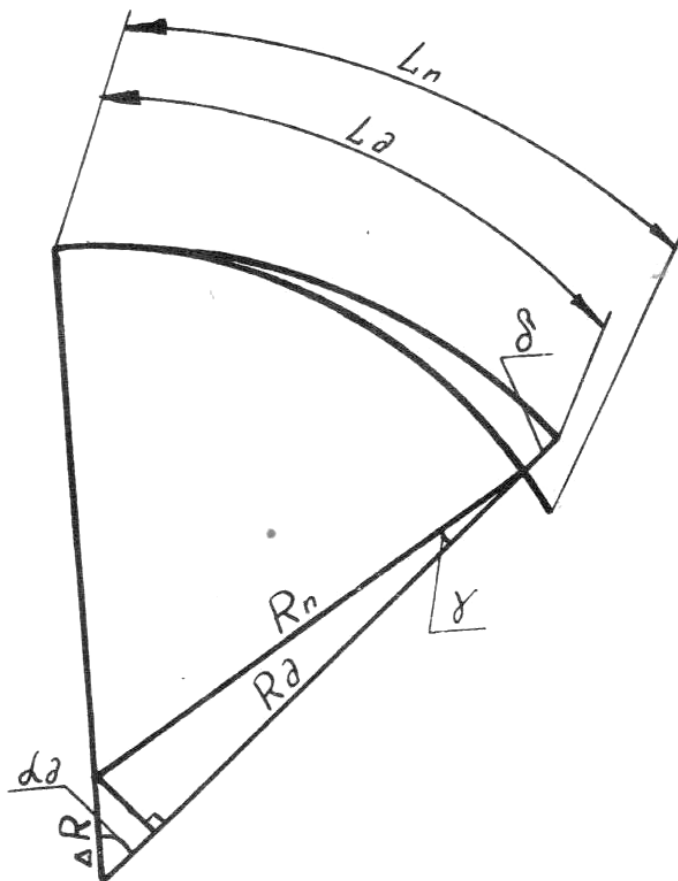


Рис. 2.6

Рекомендуется при обтяжке первых заготовок партии контролировать соответствие усилия предварительного растяжения удлинению заготовки на 1%, т.к. возможен разброс механических свойств (см. штриховые линии рис.2.5);

2) величина выдвигания пуансона  $\delta$  в зависимости от радиуса кривизны детали определяется по рис. 2.3 или по формуле:

$$\delta = R_{\partial} - \sqrt{R_{\partial}^2 - 250} \quad (2.10)$$

## 2.5. Построение скорректированного контура пуансона.

В зависимости от формы детали контур пуансона, с учетом пружинения, строят по отклонениям скорректированной поверхности пуансона от теоретического контура детали, рассчитанных с некоторым шагом по углугиба.

Для деталей с постоянным радиусом кривизны величина относительного отклонения скорректированного контура пуансона от теоретического контура детали (рис.2.6) определится по формуле:

$$\frac{\delta}{R_{\partial}} = K \frac{\eta}{E} (1 - \cos \alpha_{\partial}) \quad (2.11)$$

где

$\delta$  – величина отклонения скорректированного контура пуансона от теоретического контура детали (рис.2.6);

$R_{\partial}$ ,  $\alpha_{\partial}$  - радиус и половина текущего углагиба детали (рис.2.6);

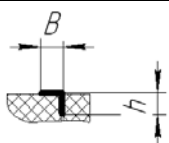
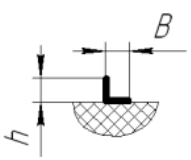
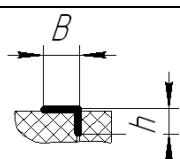
$\eta$ ,  $E$  – модуль линейного упрочнения и модуль упругости, определяемые по табл.2.1;

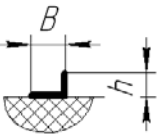
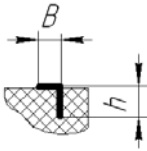
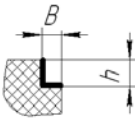
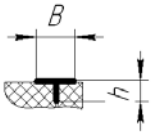
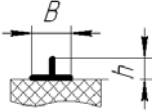

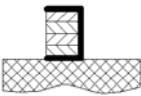
$K$  – коэффициент, учитывающий форму сечения профиля и его положение при изгибе, определяемый по табл.2.2

На рис.2.6 показаны зависимости относительного отклонения  $\frac{\delta}{R_0}$  от половины углагиба детали для алюминиевых сплавов Д16 и В95 в свежезакаленном состоянии, рассчитанные по (2.11) при  $K=1$ .

Таблица 2.2

Коэффициент  $K$ , учитывающий форму сечения профиля и его положение при изгибе, для расчета контура пуансона с учетом пружинения.

Наименование профиля	Вид гибки	Схематичное изображение	Отношение размеров полки к стенке (B/h)	K
1	2	3	4	5
Угольник пресованный равнополочный	Полкой наружу		1,0	5,0
	Полкой внутрь		1,0	1,7
Угольник пресованный неравнополочный	Большой полкой наружу		1,5	6,3
			2,0	7,7
			2,5	9,1
			3,0	10,4
	Большой полкой		1,5	1,6
		2,0	1,5	

	внутри		2,5 3,0	1,4 1,3
	Малой полкой наружу		1/1,5 1/2,0 1/2,5 1/3,0	4,6 4,3 4,0 3,6
	Малой полкой внутри		1/1,5 1/2,0 1/2,5 1/3,0	1,8 2,0 2,2 2,4
Тавр	Пояском наружу		1,0 1,5 2,0	5,0 6,3 7,7
	Пояском внутри		1,0 1,5 2,0	1,7 1,6 1,5
Зет нормальный прессованный	-		-	2,3
Швеллер	-		-	2,3

Для удобства работы рекомендуется указывать величины радиусов и угловгиба на шаблоне (ШК, ШР).

Если на шаблоне не указан радиусгиба, его можно определить по стреле прогиба на определенной длине (рис.2.7) по табл.2.3 или формуле:

$$R_{\theta} = \frac{L^2 + 4F^2}{8F} \quad (2.12)$$

где

L – хорда, мм;

F - стрела прогиба, мм.

Тогда уголгиба определится по формуле:

$$\alpha_{\theta} = \frac{L_{\theta}}{R} \cdot 57 \quad (2.13)$$

где

L<sub>θ</sub> - длина дуги детали, мм;

57 – коэффициент пропорциональности.

Если контур детали определяется лекальными кривыми, то порядок построения контура пуансона с учетом пружинения следующий:

- Разбить контур ШК на участки с примерно одинаковой кривизной;
- Графическим путем или по (2.12), (2.13) определить радиус кривизны участка и уголгиба;
- Определить величины отклонения скорректированного контура пуансона от теоретического контура детали с некоторым шагом по углугиба, по формуле:

$$\delta = \sum_{i=1}^n (\delta_i R_{\theta}) \quad (2.14)$$

где

n – количество участков детали с постоянным радиусом кривизны до половины конечного углагиба;

Таблица 2.3

Стрела прогиба $\mathcal{F}$ , мм	$R_{\mathcal{F}}$ , мм	
	L=100 мм	L=200мм
4,0	315	1250
3,5	360	1480
3,0	418	1600
2,5	500	2000
2,0	695	2500
1,5	835	3300
1,0	1250	5000
0,5	2600	10000

Зависимости относительного отклонения скорректированного контура пуансона от контура детали от половины углагиба.

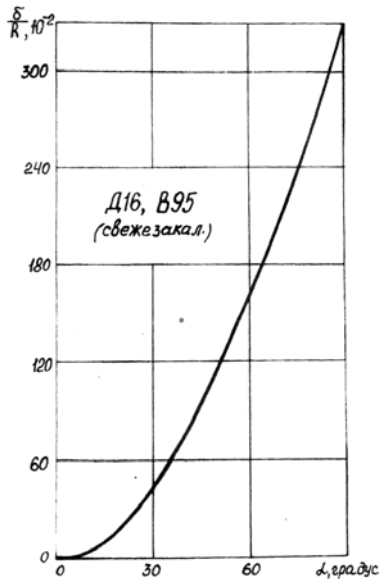


Рис. 2.7

Схема для расчета радиусагиба детали

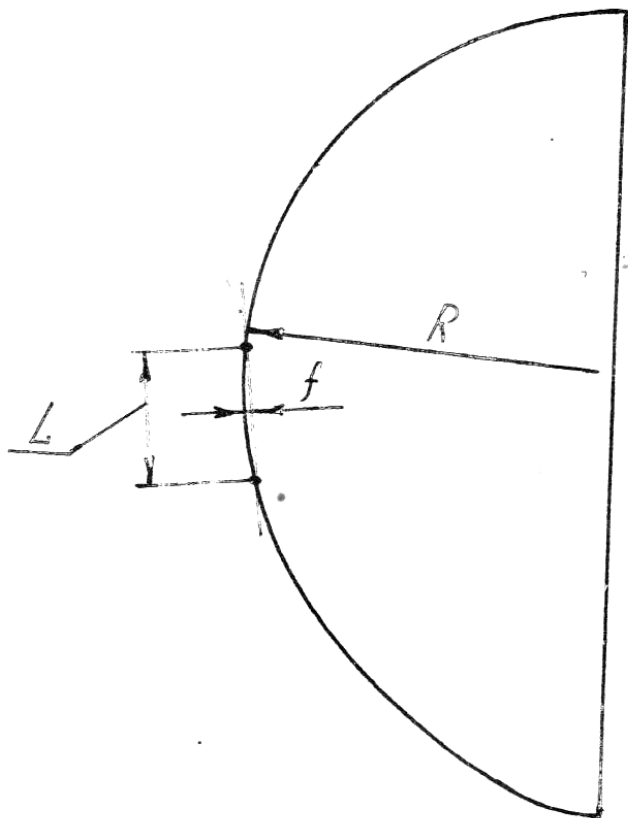


Рис. 2.8



## Уголгиба в зависимости от длины дуги детали

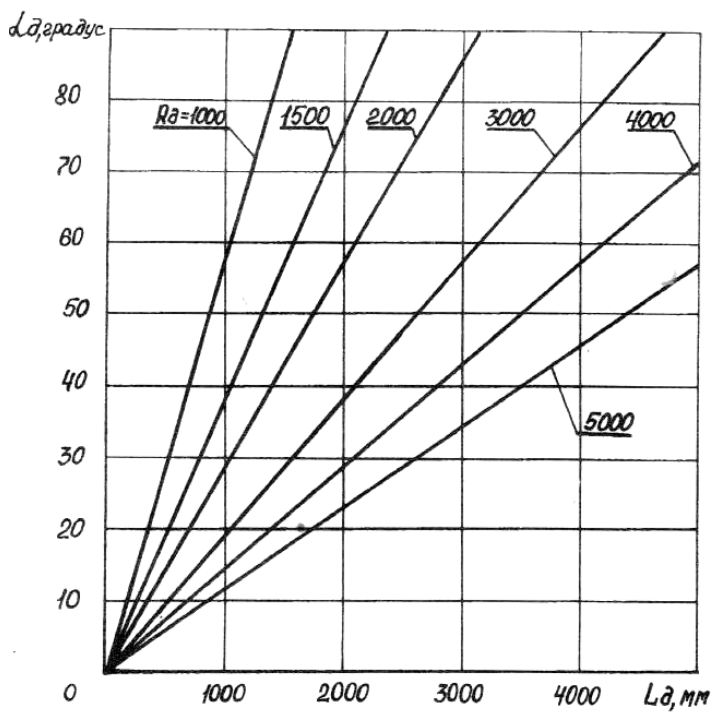


Рис. 2.9

$R_{\vartheta_i}$  – радиус кривизны  $i$ -го участка детали;  
 $\bar{\delta}_i = \frac{\delta_i}{R_{\vartheta_i}}$  – величина относительного отклонения скорректированного контура пуансона от теоретического контура детали на  $i$ -ом участке равная:

$$\frac{\delta_i}{R_{\vartheta_i}} = K \frac{\eta}{E} (1 - \cos \alpha_{\vartheta_{(i-1)}} - \cos \alpha_{\vartheta_i}) \quad (2.15)$$

где

$\alpha_{\vartheta_{(i-1)}}$ ,  $\alpha_{\vartheta_i}$  - начальный и конечный угол схода  $i$ -го участка детали.

Если есть прямолинейные участки, то величина относительного отклонения  $i$ -го прямолинейного участка скорректированного контура пуансона от теоретического контура детали (рис.2.6) определится по формуле:

$$\frac{\delta_i}{L_{\vartheta_i}} = K \frac{\eta}{E} \alpha_{\vartheta_{(i-1)}} \quad (2.16)$$

где

$L_{\vartheta_i}$  - длина контура  $i$ -го участка детали;

- вычертить на заготовке пуансона контур ШК, отложить по нормали к последнему рассчитанные отклонения и соединить полученные точки плавной линией.

## 2.6. Пример построения контура пуансона с учетом пружинения.

Построим контур пуансона с учетом пружинения для детали из сплава Д16 (свежезакаленное состояние), показанной на рис.2.9 Профиль сечения – угольник равнополочный, обтягиваемый полкой наружу. Половина конечного углагиба  $\alpha_{\vartheta_{\Sigma}} = 190$  градусов.

Разбиваем теоретический контур детали на участках с постоянным радиусом кривизны на равные части с шагом 10 градусов по углугиба (рис.2.10) По таблице 2.2 находим

коэффициент  $K=5,0$ . Используя рис.2.10, соотношения 2.16 определяем величины отклонений участков, предварительно

Схема для расчета отклонений контура пуансона от контура детали с прямолинейными участками

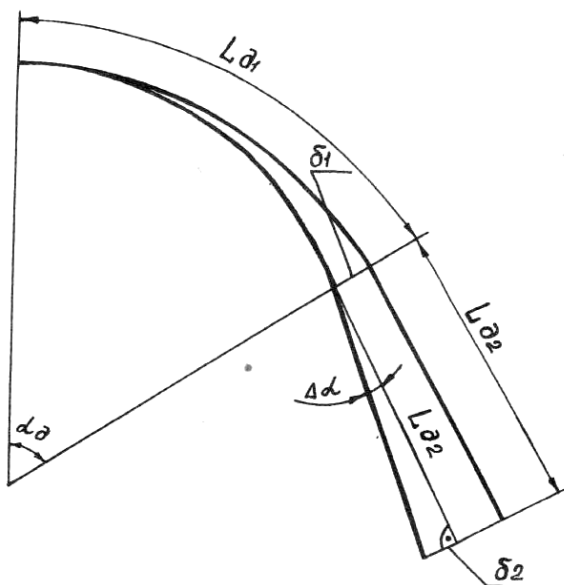


Рис. 2.10

Схема построения контура пуансона с учетом пружинения

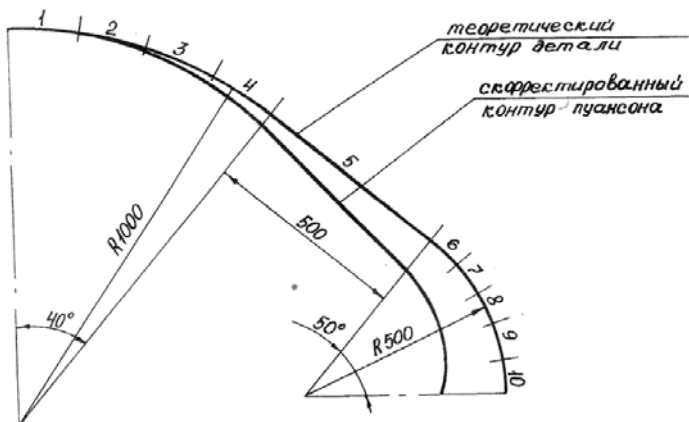


Рис. 2.11

умножив найденные графические значения на коэффициент  $K$ . Результаты расчета сводим в таблицу.

Таблица 2.4

Отклонение скорректированного контура пуансона от теоретического контура детали, мм

Условное обозначение	Номер участка									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta$	2,5	10,0	22,2	38,8	96,7	106,9	118,7	131,8	145,8	160,2

Скорректированный контур пуансона построен на рис. 2.7.

2.7. Определение параметров технологического процесса обтяжки при монотонном нагружении профиля.

Формообразование профилей по схеме Р-И (см.разд 2.4) сопровождается относительно большим пружинением профиля после разгрузки. Для повышения стабильности пружинения необходимо уменьшать ее величину. Коэффициент  $K$  (см. табл.2.2), количественно отражающий во сколько раз величина пружинения профиля по схеме Р-И больше, чем при простом нагружении (без разгрузки) (в последнем случае  $K=1$ ), показывает, во сколько раз можно повысить точность процесса формообразования при изменении схемы нагружения.

Одним из вариантов, приближающим управление процессом формообразования к монотонному нагружению и обладающим простотой реализации способа, является обтяжка с растяжением на модернизированном станке, суть которой заключается в установке блока регулирования давлением 7 в каждую напорную магистраль существующей гидравлической схемы оборудования (рис.2.12). Блок регулирования 7 состоит

из золотника 8 и обратного клапана 9, расположенных параллельно. Электромагниты золотников 8 при предварительном растяжении и гибке перекрыты и рабочая жидкость (масло) может поступать только в предпоршневую полость растяжного цилиндра 5. При повороте крыльев на заданный конечный угол заготовка растягивается на необходимую величину деформации за счет кинематики движения рабочих органов (штоки в направлении выдвигания из растяжных цилиндров 5 в процессе гибки не перемещаются из-за несжимаемости жидкости в малых замкнутых объемах предпоршневой полости). Управление процессом осуществляется изменением положения пуансона на столе станка  $\delta$ . С целью зажатия заготовки при выдвигании пуансона вперед за линию, проходящую через оси вращения крыльев, предусмотрен поворот крыльев на небольшой угол  $\varphi_0$  (см. рис.2.3) ( $-10 \leq \varphi_0 \leq 0$ ) с увеличением величины выдвигания  $\delta$  заготовка больше деформируется, а, соответственно, пружинит меньше и более стабильно.

Описанный способ применим для монотонного формообразования крупногабаритных деталей ( $R_g \geq 1000$ ) с углами охвата менее  $90^\circ$ , и, таким образом, охватывает практически всю номенклатуру обтягиваемых в цехе 57 деталей. Для деталей с большими углами охвата необходимо задавать величину выдвигания  $\delta$  меньшую указанной на рис... с целью предотвращения недопустимого деформирования заготовки на сходе с пуансона (у зажима), поэтому монотонность деформирования на некоторой начальной стадии процесса формообразования нарушается.

При формообразовании несимметричных деталей необходимо стремиться к равенству конечных угловгиба для левой и правой половины пуансона (рис..). расположение оси станка (см. рис..) на пуансоне находится также согласно рис...  
Корректировка пуансона на величину пружинения при монотонном деформировании профиля производится согласно рекомендаций разд. 2.2 при  $K=1$ . Технологические параметры

процесса обтяжки определяются согласно рекомендаций разд. 2.1. при неудовлетворительной точности детали при обработке процесса обтяжку повторяют, изменив значение  $\delta$  на  $\pm 10$  мм (знак «-» берется при перегибе детали). Удлинение профиля у зажима не должно превышать допустимого (4%).

Схема работы модернизированного обтяжного станка ПГР-7

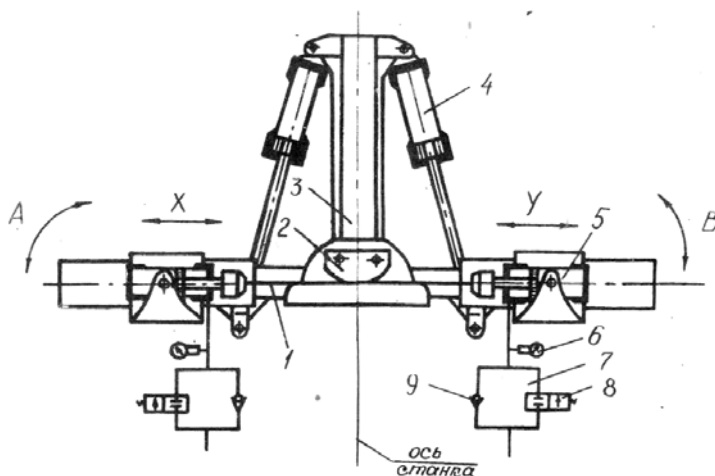
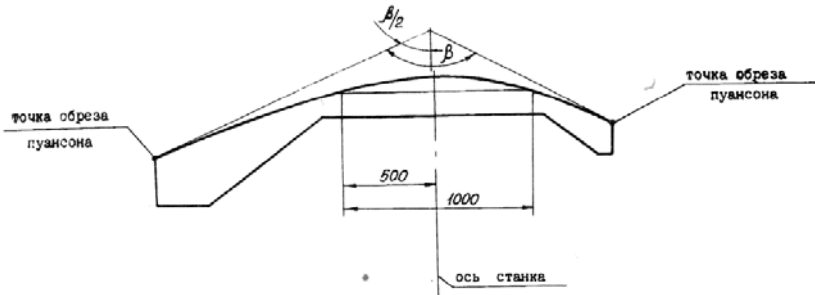


Рис. 2.12

1 – заготовка; 2 – обтяжной пуансон; 3 – станина; 4 – гибочный цилиндр; 5 – растяжной цилиндр; 6 – манометр; 7 – блок регулирования давлением; 8 – золотник; 9 – обратный клапан

## Расположение оси станка на пуансоне



$\beta$  – угол между касательными к контуру пуансона в крайних точках

Рис. 2.13

### 2.8 Расчет заготовки при гибке с растяжением.

Заготовка для формообразования профиля выбирается с учетом вида гибочного оборудования. Размеры заготовок для получения деталей должны быть такими, чтобы экономия материала была максимальной.

$$L_3 = l_d + 2\Pi_1 + 2\Pi_2 + 2\Pi_3 \quad (2.17)$$

где

$l_d$  - длина развертки профиля;

$\Pi_1$  - расстояние от линии обреза детали до плоскости основания пуансона;



$\Pi_2$  - расстояние от основания пуансона до зажима прессы;

$\Pi_3$  - длина заготовки, входящая в зажим прессы.

Величина  $\Pi_1=50-100$  мм

$\Pi_2=200-250$  мм

$\Pi_3 \approx 50$  мм

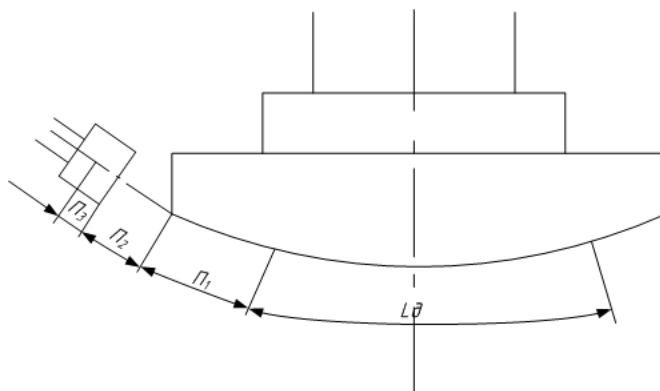


Рис. 2.14

## 2.9 Оборудование для гибки профилей с растяжением.

Характеристики отечественных прессов приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.5

	ПГР-6	ПГР-7	ПГР-8
Усилие растяжения, кН	60	250	600
Длина заготовки, мм	5500	6000	9000
Угол изгиба, °	180	220	280



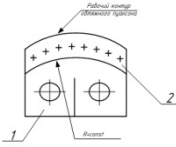
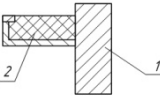
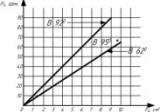
мм						
----	--	--	--	--	--	--

Применение оборудования с ЧПУ позволяет:

- автоматизировать процесс формообразования, повысить его точность;
- исключить браковочные признаки;
- осуществлять корректировку оснастки на величину пружинения.

Таблица 2.7

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОФИЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ ШПАНГОУТОВ НА ПРЕССЕ ПГР-7

№№ n/n	Наименование операции	Примечание											
	<p align="center"><u>Требования техники безопасности</u></p> <p>При выполнении процесса соблюдайте правила техники безопасности при работе на станке ПГР-7, в т.ч.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Вся электрическая аппаратура станка должна быть надежно заземлена.</li> <li>• Все электрические коробки должны быть закрыты кожухами.</li> <li>• Не разрешается работать на станке без ограждения вокруг насосной станции и вокруг всего станка.</li> <li>• Не разрешается работать на станке без ограждения столе.</li> <li>• Во время растяжения и изгиба рабочий должен находиться на расстоянии не менее 1 метра от профиля.</li> <li>• Смазку производить только при выключенном станке.</li> </ul>	<p align="center"><u>Требования к заготовкам:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• На заготовках не должно быть царпин и забоин.</li> <li>• Кромки профиля должны быть тщательно зачищены, особенно, если они фрезеровались вдоль полки.</li> <li>• Торцы заготовок так же должны быть зачищены и выправлены (для обеспечения свободной заправки в зажимы).</li> </ul>											
1	Установить накладку сектора обтяжного пуансона на универсальную опору. Зафиксировать. Закрепить.	 <p>1 – универсальная опора 2 – накладка сектора обтяжного пуансона</p>											
2	Установить обтяжной пуансон на стол станка ПГР-7. Смазать рабочую поверхность веретенным маслом.												
3	Установить зажимные губки для данного типаразмера профилей в зажимные устройства пресса.												
4	Заготовку профиля из высокопрочного алюминиевого сплава В95с4Т2 калить согласно ПИ 1.2.255-83. Режим нагрева профильной заготовки до температуры 465, выдержка 129 мин. И охлаждение в воде с температурой воды до 60 градусов. Гибку с растяжением необходимо начать не позднее одного часа после завершения термообработки в режиме комнатной температуры.	 <p>1 – профиль 2 – заполнитель</p>											
5	Взять свежезакаленный профиль (заготовку) согласно план-карте, проверить марку материала, сортament, качеств поверхности, вложить заполнитель и установить в зажимные устройства пресса.												
6	Настроить пуансоны по высоте.	 <p>График зависимости давления в растяжных гидроцилиндрах от площади поперечного сечения изгибаемого профиля (* - свежезакаленный).</p>											
7	Проверить надежность и равномерность зажима заготовок в губках. Запрещается осуществлять раскрытие зажимов под нагрузкой.												
8	Натянуть профиль при давлении воздуха 3-4 атм.												
9	Дать давление в растяжных гидроцилиндрах до достижения давления (указанного в техпроцессе на изготовление детали или в план-карте) при котором удлинение профиля составляет 0,5-1,0 % (ориентировочно давление определяется из графика). Давление подлежит уточнению при изготовлении первых деталей. Контроль БТК. Контроль давления (визуально).												
10	Установить рукоятку, регулирующую подбор в растяжных цилиндрах, в положение равнодействия правого и левого цилиндров.	<p>Таблица установки давления в гибочных цилиндрах</p> <table border="1"> <tr> <td>Давление жидкости в растяжных цилиндрах,</td> <td>5</td> <td>10</td> <td>15</td> <td>20</td> <td>25</td> <td>30</td> <td>35</td> <td>40</td> <td>45</td> <td>50</td> </tr> </table>	Давление жидкости в растяжных цилиндрах,	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Давление жидкости в растяжных цилиндрах,	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50			



## 2.10 Оснастка

При гибке профилей из алюминиевых сплавов обтяжные пуансоны изготавливаются из баллинита или дельта-древесины. Пуансон (рис.2.16) состоит из трех основных частей: рабочей части 1, основания 2 и прокладки 3. Для установки и крепления на столе станка в пуансоне имеются два отверстия Д под упорные колонки и одно отверстие Е, расположенные на оси симметрии, для прохода штока нижнего прижимного цилиндра. Отверстия под опорные колонки размещаются таким образом, чтобы ось симметрии пуансона совпадала с осью станка, а вершина пуансона касалась оси, проходящей через растяжные цилиндры. Пуансон предназначен для гибки Г-образного профиля полкой внутрь.

Контур пуансона выполняется по шаблону детали с учетом пружинения, которое определяют соответствующей корректировкой радиусом кривизны по формуле:

$$R_{\text{п}} = R_{\text{д}} \kappa \quad (2.18)$$

где

$R_{\text{п}}$  – радиус кривизны пуансона;

$R_{\text{д}}$  - радиус кривизны детали;

$\kappa$  - коэффициент, зависящий от механических свойств, состояния материала заготовки и величины радиуса кривизны участка.

Одновременно необходимо учитывать упругое сокращение детали после разгрузки от растягивающих усилий. Из-за неравномерного распределения напряжений по высоте поперечного сечения и сокращения длины после снятия растягивающих усилий деталь обычно имеет отклонения от контура пуансона. Величина отклонения зависит от целого ряда факторов, из которых основные – величина относительных радиусов изгибаемых участков, форма детали и количество переходов.

На рис.2.16, г приведена схема упругих деформаций детали после снятия деформирующей нагрузки. Длины, углы и радиусы отдельных участков пуансона обозначены  $L_p$ ,  $\alpha_p$ ,  $R_p$ .

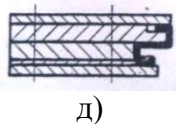
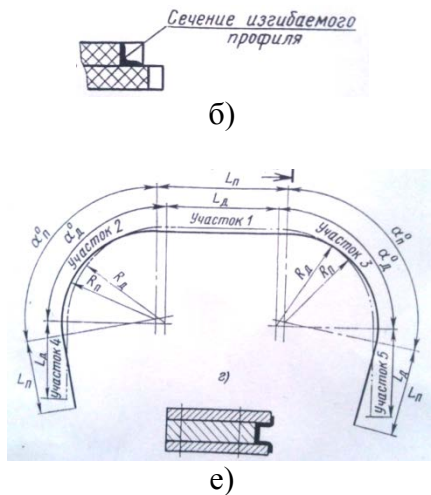
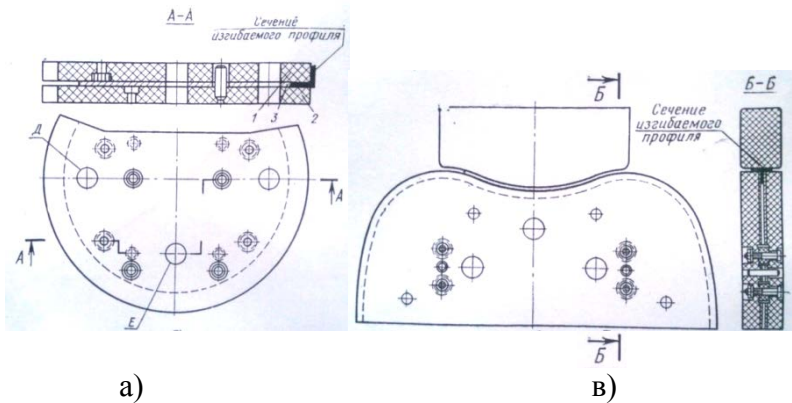


Рис. 2.16 Конструкции пуансонов для гибки с растяжением: а – для гибки полкой внутрь; б – для гибки полкой наружу; в – для гибки детали знакопеременной кривизны; г – упругие деформации детали после снятия нагрузки; д, е – конструкция пуансонов для гибки профилей со сложными сечениями



Соответствующие размеры детали после снятия нагрузок  $L_d$ ,  $\alpha_d$ ,  $R_d$ . как видно из схемы, прямолинейные участки на концах детали снятия нагрузки укорачиваются и поворачиваются на некоторые углы. Радиусы криволинейных участков увеличиваются ( $R_d > R_n$ ), дуги (участки 2 и 3) укорачиваются, вследствие чего внутренние центральные углы уменьшаются.

При двухпереходной гибке точность выше, чем при однопереходной. Экспериментально установлено, что при однопереходной гибке для деталей типа стрингеров с относительным радиусом  $R \geq 100$  отклонения доходят до 0,5 мм. При криволинейных участках на концах детали отклонение составляет 2-5 мм, а при прямолинейных – увеличивается до 10-20 мм. Длина  $L_n$  рабочего участка пуансона (прямолинейного и криволинейного) с учетом упругого сокращения берется равной:

$$L_n = L_d(1 + \gamma) \quad (2.19)$$

где

$L_d$  – длина участка после снятия растягивающего усилия;

$\gamma$  – коэффициент упругого сокращения (берется по таблицам). Для свежезакаленного дуралюмина Д16  $\gamma = 0,004$ .

Для возможности корректировки радиуса кривизны в соответствии с углом пружинения детали вместо балнитовых пуансонов постоянной кривизны применяют различные конструкции сборных металлических пуансонов. Криволинейная рабочая поверхность на пуансоне набирается из отдельных секторов, которые можно расположить по любому криволинейному контуру.

### 3. ОСНАСТКА ДЛЯ ВЫСОКОТОЧНОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ.

Для обтяжки профилей без нагрева и с нагревом в интервале температур от 120 до 300°C изготавливаются пуансоны из древесно-слоистого пластика (дельта-древесины) ДСП-Ба или ДСП-В ГОСТ13913-78 (см. рис.2.17). Широко распространенные на предприятиях отрасли монолитные пуансоны 1 по ОСТ 1.51876-74-ОСТ 1.51884-74 «Пуансоны обтяжные для станков ППР и СПО. Типы и основные размеры» имеют чрезмерно большую массу и высокую себестоимость при изготовлении крупногабаритных деталей. Установленные на столе пресса, такие пуансоны имеют консольные участки, жесткость которых недостаточна для высокоточного формообразования. Разработаны составные пуансоны, состоящие из рабочей части 2, 3 с цилиндрическими рабочими участками и сопряженной с ней опорной частью 4, выполненной в поперечном сечении клиновидной формы, при этом высота цилиндрического рабочего участка в поперечном сечении определяется по зависимости:

$$\frac{H \cdot \sigma_x \cdot \cos \varphi}{E} = K |\Delta| \quad (2.20)$$

где

$H$  – высота цилиндрической рабочей части пуансона в поперечных сечениях;

$\varphi$  - угол, образованный направлением контактного давления с вертикалью;

$E$  – модуль упругости первого рода при сжатии материала пуансона;

$\sigma_x$  - вертикальная составляющая сжимающих напряжений в материале пуансона:

$$\sigma_x = q \cdot \cos \varphi$$

$K$  – коэффициент, представляющий собой отношение толщины рабочей части в наиболее напряженном сечении, при котором под действием нагрузок произойдет разрушение рабочей части, к толщине в

том же сечении, при котором максимальная деформация рабочей части при обтяжке равна  $|\Delta|$ ;

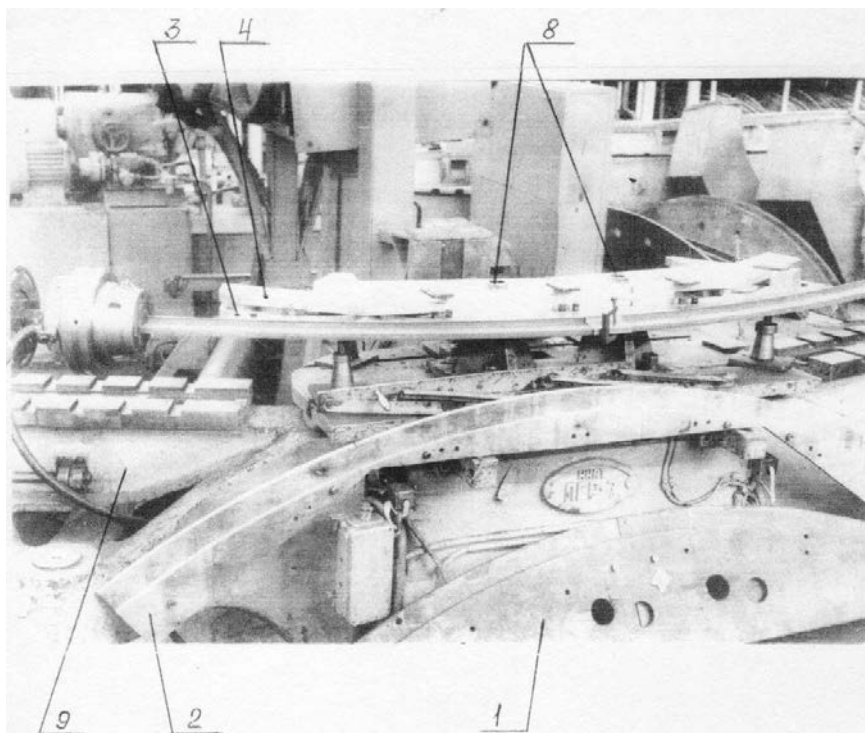
$|\Delta|$  - допустимое отклонение формы рабочей части пуансона под действием контактных нагрузок со стороны заготовки.

Опорная часть 4 состоит из идентичных звеньев 5, сочлененных между собой хвостовиками 6 или 7, изготовленными в виде вилок, проштыренными установочными колонками 8 пресса 9 и пробками 10 (см. рис.2.18).

На рис.2.19 изображено звено 5, на рис.2.20 схематично показаны обтяжные пуансоны с различными схемами сочленения звеньев 5. Каждое идентичное звено выполнено в виде плиты, содержащей четыре параллельных отверстия 11, 12, 13 и 14. Плоскости, в которых расположены оси отверстий 11, 12, 13 и 14, образуют поверхность, подобную внутренней (нижней) поверхности рабочей части 2,3. Отверстия 11, 12, 13 и 14 в зависимости от схемы сочленения используются для сочленения идентичных звеньев между собой и для посадки опорной части, собранной из этих звеньев, на установочные колонки пресса. В каждом из идентичных звеньев 5 по крайней мере одна ось (ось отверстия 13) совпадает с вершиной многогранника, подобного внутренней поверхности рабочей части 2, 3. За счет этого, а также того, что в каждом звене 5 по одну сторону от отверстия 13 расположено одно отверстие (отверстие 14), а по другую – два отверстия (отверстия 11 и 12), а стыковка звеньев между собой осуществляется по двум отверстиям (отв. 11 и 12 или отв. 13 и 14), можно получать опорную часть в виде правильных и неправильных, симметричных и несимметричных многогранников. Некоторые из таких многогранников (рис.2.20) используются для изготовления опорной части пуансонов для формовки всей номенклатуры крупногабаритных деталей из профилей широкофюзеляжного самолета.

Простота предложенной конструкции обеспечивает быструю переналадку опорной части в зависимости от радиуса

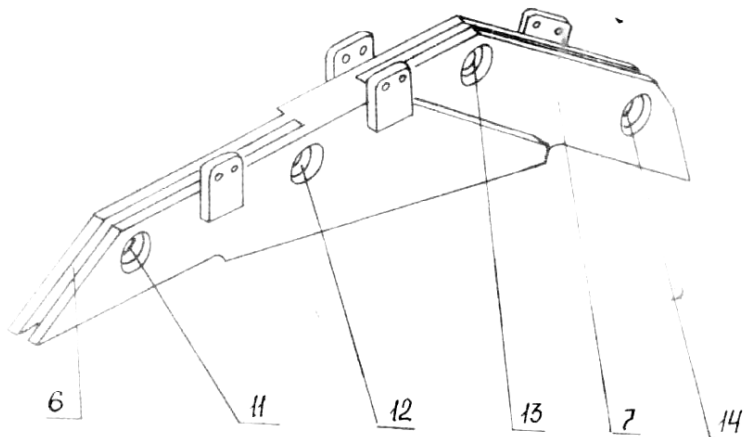
Обтяжные пуансоны из древесно-слоистого пластика.



1 – монолитный пуансон; 2, 3 – рабочая часть составного пуансона; 4 – опорная часть составного пуансона; 8 – опорные колонки прессы; 9 – пресс

Рис. 2.18

## Звено опорной части



1, 2, 3, 4 – отверстия под установочные колонки

Рис. 2.19

# Схемы симметричного соединения опорных звеньев

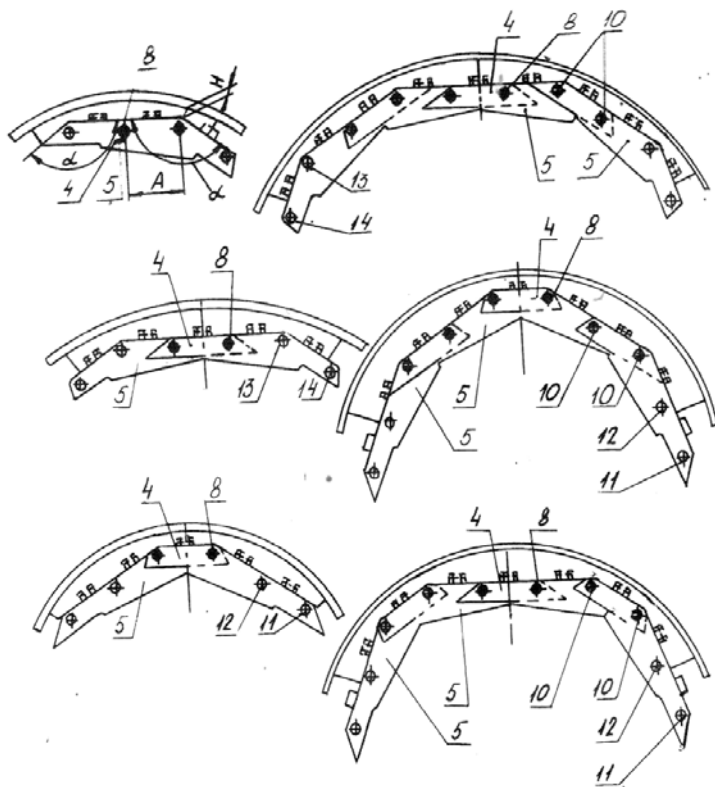


Рис.2.20

кривизны и длины формуемых деталей, уменьшение массы рабочей части пуансона при изготовлении крупногабаритных деталей и надежность работы пуансона.

Изготовление пуансона возможно в условиях существующего производства с использованием прогрессивного оборудования без ручной доводки рабочей поверхности.

На рис.2.18 изображен механизм для плоскопараллельного перемещения пуансона и фиксации его на столе прессы в положении согласно техпроцессу. Привод механизма осуществляется посредством спаренных пантографов с эксцентриками.

## Список литературы

1. Кузьмин В.Ф. Обеспечение требований к аэродинамическим обводам самолета в авиационном производстве. М. Машиностроение 2002 г. 271 с.
2. Горбунов М.Н. Технология заготовительно-штамповочных работ в производстве летательных аппаратов. М. Машиностроение 1970 г. 351 с.
3. Абрамов А.М. Исследование процесса формообразования оболочек замкнутых контуров растяжением. Труды МАТИ №65. Машиностроение 1966 г.
4. Максименков В.И., Писаренко В.Е., Макаров Н.М. Калибровка осесимметричных оболочек пружинным пуансоном. М. Авиационная промышленность №4 1991 г.
5. Максименков В.И. и др. Устройство для калибровки оболочек АС 1365459 В 21С/30 1986 г.
6. Максименков В.И. и др. Пуансон для формовки обтяжкой. АС 1343638 В21Д 11/20 1985 г.
7. С.С. Одинг, Ю.В.Некрасов. Компьютерное моделирование процессов формообразования методом продольной обтяжки. Кузнечно-штамповочное производство 2005. с.20-26.
8. И.А. Черных, В.И. Максименков и др. Способ гибки с растяжением. АС 1439825 В21Д 11/20 1988 г.
9. С.С.Одинг. Управление процессом формообразования обшивок двойной кривизны на обтяжном прессе.
10. И.А. Черных, С.С.Одинг и др. Формообразование деталей из алюминиевых пресованных панелей обтяжкой с растяжением. Судостроительная промышленность. Серия судоверфь. Технология и организация производства. 1988 г. Вып.10. с.35-43.



## Содержание

Введение

2. Методика расчета параметров технологических процессов и оснастки на величину пружинения

2.1. Напряженно-деформированное состояние профильных заготовок

2.2. Процесс гибки

2.3. Гибка с растяжением

2.4. Определение параметров технологического процесса обтяжки по схеме растяжение-изгиб (Р-И)

2.5. Построение скорректированного контура пуансона.

2.6. Пример построения контура пуансона с учетом пружинения.

2.7. Определение параметров технологического процесса обтяжки при монотонном нагружении профиля.

2.8. Расчет заготовки при гибке с растяжением.

2.9. Оборудование для гибки профилей с растяжением.

2.10. Оснастка

3. Оснастка для высокоточного формообразования.