

В.И. Максименков, М.В. Молод

***ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОСНАСТКИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
СЛОИСТЫХ ОБОЛОЧЕК***

Учебное пособие

Воронеж 2021

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

В.И. МАКСИМЕНКОВ, М.В. МОЛОД

**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОСНАСТКИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
СЛОИСТЫХ ОБОЛОЧЕК**

Воронеж 2021

УДК 628.336.3(075)
ББК 38.761.2я7
К935

Рецензенты

Воронежское авиационное самолётостроительное общество
Коломенский А.Б., доктор технических наук, профессор –Главный металлург

К935 **Повышение качества оснастки для изготовления слоистых оболочек:** учебное пособие / В.И. Максименков, М.В. Молод;
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет».
Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2020 -67 с.

ISBN

В учебном пособии изложены вопросы, связанные с выбором материалов, расчетом заготовок и проектированием пуансоном для формообразования слоистых оболочек.

Ил. 48. Табл. 4. Библиогр.:6 назв.

УДК 628.336.3(075)
ББК 38.761.2я7

Печатается по решению учебно-методического совета
Воронежского государственного технического университета

ISBN

© Максименков В.И.,
Молод М.В.,2021
© ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный технический
университет», 2021

ВВЕДЕНИЕ

Слоистые оболочки находят широкое применение в конструкциях летательных аппаратов.

Применение их в конструкциях крыла, фюзеляжа, каналов воздухозаборников требует обеспечения требований точности, качества и надежности, регламентируемых нормативными материалами. Многообразие конструктивных решений оболочек, их геометрических форм, применяемых материалов требует разработки способов формообразования, проектирования оснастки, обеспечивающих снижение уровня доводочных работ, стабильности геометрических параметров получаемых деталей.

Особого внимания заслуживают вопросы применения звукопоглощающих конструкций (ЗПК) в каналах воздухозаборников самолетов и кожухах двигателей. Их изготовление с высокой степенью точности требует изыскания новых способов формообразования и расширения технологических возможностей существующего оборудования и создания универсальной оснастки, переналаживаемой на различные геометрические параметры.

В данном учебном пособии рассмотрены вопросы, связанные с выбором материалов, расчетом заготовок и проектированием обтяжных пуансонов, разработкой методов интенсификации процессов формообразования оболочек.

Работу можно использовать как руководство для студентов специальностей ВГТУ при изучении курсов «Технологии самолетостроения», «Специальных и прогрессивных технологий», а также аспирантов, научных и практических работников.

1. ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ И ПАРАМЕТРОВ ЗАГОТОВОК ДЛЯ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ СЛОИСТЫХ ОБОЛОЧЕК

Конструктивно-технологические параметры слоистых оболочек, применяемые материалы, используемые в производстве летательных аппаратов, должны обеспечивать снижение трещиностойкости, повышение ресурса и надежности создаваемых изделий [1,3]. Технология их изготовления требует повышения точности процесса формообразования на обтяжных прессах. Из всего многообразия оболочек необходимо особо выделить звукопоглощающие сотовые конструкции (ЗПК), применяемые в воздухозаборниках и кожухах двигателей, выполненных из неметаллических материалов, нержавеющей стали и титановых сплавов.

Панели ЗПК содержат один или несколько слоев заполнителя и несущих слоев, соединенных между собой контактной или диффузионной сваркой.

Для изготовления слоев ЗПК применяют стали и титановые сплавы, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Обшивка			Заполнитель				
Тип соединения обшивок с сотовым заполнителем	Сплав	Толщина, мм	Сплав	Тип ячейки	Размер ячейки	Толщина, мм	Высота, мм
Сварные панели	ОТ4-1 ОСТ 1 90218-76	0,5-0,6	ВТ1-0 ОСТ 1 90145-74	Квадратная	6,0	0,08	15, 20, 25
	12Х18Н10Т ТУ 1-805- -0.96-80	0,5-0,6	12Х18Н10Т ТУ 3-703-72	Квадратная	6,0	0,06	10, 15, 20, 25
Диффузионно-сварные панели	ОТ4 ОСТ 1 90218-76 ТУ 1-92-41- -76 ГОСТ 22178-76	0,3-2,0	ВТ15 ТУ 1-5-010- 78	Шестигранная	8,0	0,08	15-120
	ВТ6ч ТУ 1-805- -465-78	0,8-2,0	ВТ6ч п.с. ТУ 2-805- 055-79	Шестигранная	8,0	0,08	15-120
	ВТ-20 ОСТ 1 90218-76 ТУ 1-92-29- -74 ГОСТ 22178-76	0,8-2,0	ОТ4 ОСТ 1 90218-76 ТУ 1-92-41- -76 ГОСТ 22178-76	Шестигранная	30,0	0,30	20-120

Для формообразования сотовых панелей (СП) используются обтяжные прессы ГРП 160/1200, FEKD 550/1100, а в отдельных случаях прессы ПГР-7, РГС-1200, РО-3М. Прессы ГРП позволяют получать цилиндрические и конические детали шириной 80-1200мм с углами обхвата 180° и углами конусности до 30°.

Прессы FEKD имеют большой силовой ход балансиров с зажимными губками, которые могут сводиться на расстояние, меньшее ширины стола. Они снабжены вертикальными и боковыми порталами, а также устройствами для контроля удлинения заготовки детали и цифровой индикации перемещения рабочих органов прессы.

Детали, полученные формообразованием СП на обтяжных прессах, показаны на рисунке 1.

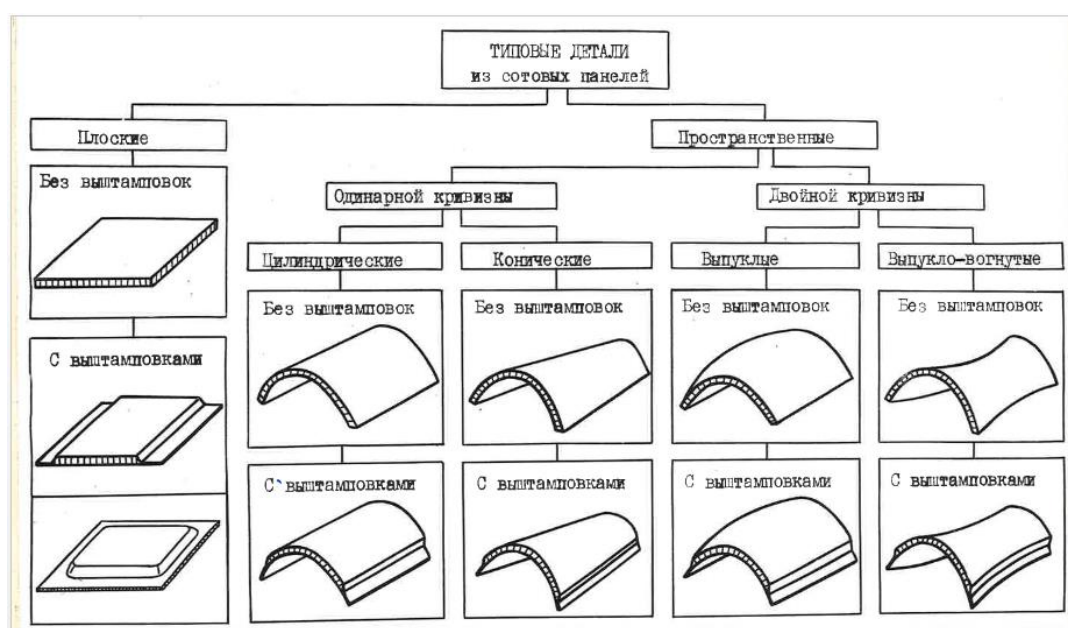


Рис. 1. Типовые детали из СП

Заготовки для формообразования СП выбирали с учетом вида обтяжного оборудования. Размеры заготовок для получения деталей на прессах ГРП и FEKD должны обеспечивать максимальную экономию материала [4].

Общую длину заготовки (рис. 2) определяли по формуле

$$L_{\text{заг}} = l_1 + 2l_2 + 2П_3, \quad (1.1)$$

где l_1 , l_2 – длина заготовки 1 СП с подмятиями и технологической пластины 2, приваренной к СП;

$П_3$ – припуск для приварки технологических пластин к СП, составляющий 25-30 мм.

Длину заготовки СП рассчитали по формуле

$$l_1 = (l_d + 2\Pi_1 + 2\Pi_2) (1 - \varepsilon_{1cp}), \quad (1.2)$$

где l_d – длина развертки детали в наиболее деформируемом сечении;

Π_1 – максимальное расстояние от линии обреза бокового контура до плоскости основания пуансона, равное 30-50 мм;

Π_2 – средняя относительная деформация по длине обтянутой заготовки в наиболее деформируемом сечении.

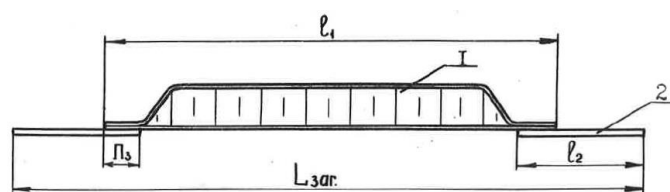


Рис. 2. Плоская заготовка СП с приваренными технологическими пластинами

Длину технологической пластины, приваренной к заготовке СП, находили по формуле

$$l_2 = \Pi_3 + \Pi_4 + \Pi_5 \quad (1.3)$$

где Π_4 – припуск края заготовки СП до точки касания технологической пластиной зажимов пресса, равный 30-90 мм для пресса FEKD;

Π_5 – припуск от точки касания технологической пластины «клюва» до упоров (рис. 3) для пресса FEKD, равный 170 мм.

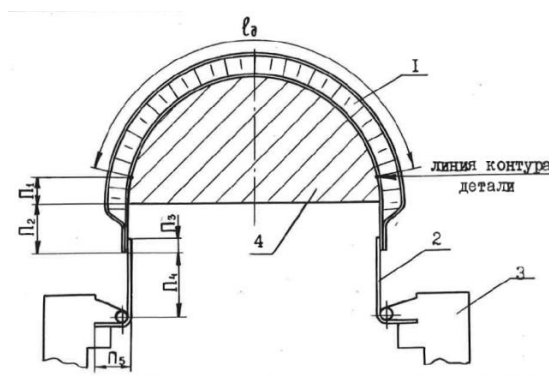


Рис. 3. Схема положения заготовки СП с приваренными технологическими пластинами при обтяжке на прессе FEKD 550/1100:

1 – панель; 2 – технологическая пластина; 3 – зажим; 4 – пуансон.

Для прессы ГРП длина технологической пластины должна быть не менее 370 мм. Ширина заготовки

$$B_{\text{заг}} = \frac{B_{\text{д}}}{1 + \varepsilon_{2\text{ср}}} + 2P_6 \quad (1.4)$$

где $B_{\text{д}}$ – ширина детали;
 P_6 – припуск на обрезку краев СП, составляющий 30 мм;
 $\varepsilon_{2\text{ср}}$ – средняя деформация по ширине по ширине обтянутой заготовки $\varepsilon_{2\text{ср}} = \mu_{21} \cdot \varepsilon_1$. Коэффициент μ_{21} поперечной деформации материала заготовки, определяемый при испытании на растяжение образцов, вырезанных вдоль направления обтяжки,

$$\mu_{21} = \frac{-\varepsilon_2}{\varepsilon_1}$$

где $\varepsilon_2, \varepsilon_1$ – деформации образца в направлении его растяжения и поперечная.

Размеры заготовки конусной детали определяются разверткой конуса, получаемой по геометрическим размерам R_1, R_2, β, α детали (рис. 4), и величиной технологических припусков.

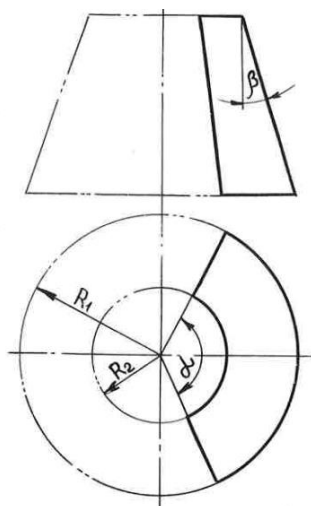


Рис. 4. Схема конической детали

Длину развертки детали (рис. 5) находили по формуле

$$l_{\text{д}} = 2L_1 \sin \frac{\theta}{2} \quad (1.5)$$

где $L_1 = R_1 / \sin \beta$;
 R_1 – большой радиус конической детали;
 β – половина угла конусности детали

$$\theta = \alpha \sin \beta \quad (1.6)$$

α – угол обхвата конусной детали

Ширина заготовки конусной детали

$$B_d = L_1 - L_2 \cos \frac{\theta}{2} \quad (1.7)$$

где $L_2 = \frac{R_2}{\sin \beta}$

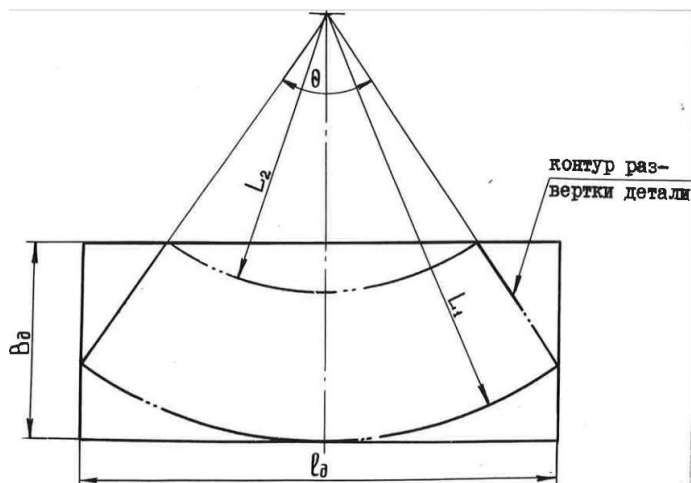


Рис. 5. Схема построения развертки конической детали

При обтяжке деталей двойной кривизны по пуансону (рис. 6) на прессе FEKD из заготовки прямоугольной формы необходимо выровнять длины сечений АВ и СД. Это достигается разворотом зажимов прессы на угол γ , равный углу между боковой линией обреза детали и продольной осью пуансона и поворотом стола прессы вместе с пуансоном на угол ψ .

Длину заготовки СП находили по формуле

$$l_1 = (l'_d + 2\Pi_1 + 2\Pi_2)(1 - \varepsilon_{1cp}), \quad (1.8)$$

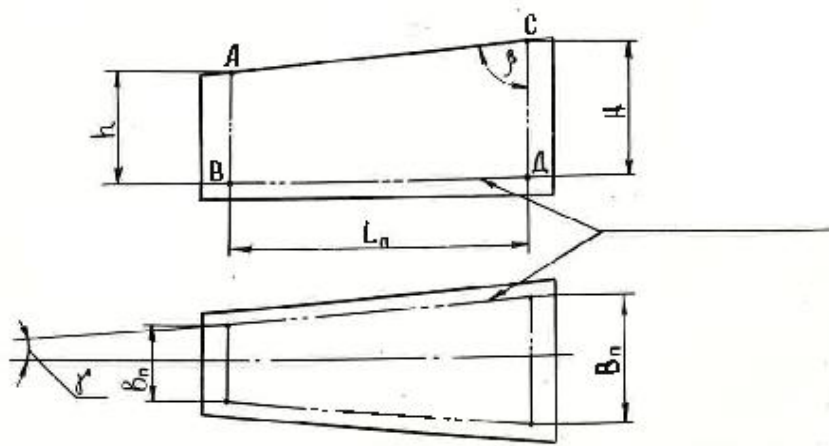


Рис. 6. Пуансон для обтяжки

где l'_d - длина большого повернутого сечения СД пуансона

$$l'_d = l_{d \max} \sqrt{\frac{0,25 B_n^2 + \frac{H^2 \sin^2 \beta}{\sin^2(\psi + \beta)}}{0,25 B_n^2 + H^2}}. \quad (1.9)$$

($l_{d \max}$, B_n , H – длина, ширина и высота большого бокового сечения СД пуансона, β - угол верхней образующей пуансона с вертикалью).

Угол поворота стола прессы ψ , необходимый для выравнивания длин боковых сечений АВ и СД пуансона, определяли по формуле

$$\psi = \arcsin\left(\frac{l_{d \max} - l_{d \min}}{2L_n}\right), \quad (1.10)$$

где $l_{d \min}$ – длина меньшего бокового сечения АВ пуансона;
 L_n – расстояние между боковыми сечениями АВ и СД пуансона.

Ширина заготовки

$$B_{\text{заг}} = \frac{B'_d}{1 - \varepsilon_{2 \text{ ср}}} + 2\Pi_6, \quad (1.11)$$

где $B'_d = B'_d + \Delta B$;
 $\Delta B = h \sin \psi$;
 h – высота пуансона в малом сечении АВ.

При обтяжке деталей по пуансону, показанному на рисунке 6, на прессе FEKD без поворота его стола, зажимы разворачиваются на угол γ и используется заготовка в виде трапеции.

Длину общего основания трапеции определяли по формуле

$$L_T = \left(\frac{l_{д max}}{\sin \beta} + 2\Pi_1 + 2\Pi_2 \right) (1 - \varepsilon_{1cp}), \quad (1.12)$$

длину меньшего основания трапеции – по формуле

$$l_T = (Cl_{д min} + 2\Pi_1 + 2\Pi_2)(1 - \varepsilon_{1cp}), \quad (1.13)$$

где $C = \sqrt{\frac{0,25B_n^2 + h^2 \sin^2 \beta}{0,25B_n^2 + h^2}}$
 B_n – ширина меньшего бокового сечения АВ пуансона.

Ширину заготовки находили по формуле

$$B_{заг} = \frac{B'_д}{1 + \varepsilon_{2cp}} + 2\Pi_6. \quad (1.14)$$

Допустимое отклонение размеров общей длины $L_{заг}$, ширины $B_{заг}$ и длины заготовки СП должно составлять ± 2 мм.

Толщина технологической пластины, привариваемой к заготовке СП, должна выбираться из условия $\delta > 2P + 0,2$ мм, где P – толщина обшивок СП.

Заготовку СП для пресса ГРП необходимо обрезать со всех сторон под прямым углом. Для предотвращения разрывов листов при обтяжке кромки на заготовках должны быть зачищены заусенцы и расслоения не допускаются. Шероховатость поверхности не более $R_z = 20$ мкм.

2. ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОБТЯЖНЫХ ПУАНСОНОВ

2.1 Проектирование пуансонов монолитной конструкции

Для формообразования СП на прессах ГРП и FEKD используют обтяжные (изготовленные согласно РТМ 684) и формовочные пуансоны, опорные трубы и каркасы для пуансонов [1, 2, 4].

Пуансоны должны быть выполнены так, чтобы равнодействующая сил давления заготовок на них в течение всего процесса формообразования проходила через опорную плоскость пресса.

Для изготовления пуансонов используют дерево, древесно-слоистые пластики, алюминий, сталь. В пуансонах из древесно-слоистых пластиков рекомендуется вертикальное расположение слоев пластика. Пуансоны из дерева и древесно-слоистых пластиков целесообразно облицовывать листовым

материалом из коррозионно-стойкой стали толщиной 1,2 мм. Шероховатость рабочей поверхности пуансона должна быть не более $R_z = 20$ мкм.

Геометрические размеры и особенности проектирования пуансонов определяются видом оборудования для формообразования. Формовочные пуансоны выполняются таким образом, чтобы равнодействующая сил давления при формообразовании заготовок проходила через опорные плоскости обтяжных пуансонов. Формовочные пуансоны должны быть устойчиво расположены на обтяжных пуансонах для совместной установки их на столе пресса. Вся оснастка увязывается между собой посредством направляющих втулок.

Для предотвращения поломки обтяжного и формовочного пуансонов консольность не опирающихся участков их оснований должна быть минимальной. В зависимости от ширины оснований и высоты обтяжного и формовочного пуансонов они устанавливаются либо непосредственно на стол пресса боковые и верхний порталы, либо на опорные тумбы.

Ширина опорных тумб не должна превышать ширины пуансонов во всех сечениях более чем на 50 мм. Высота тумб определяется в зависимости от достижения требуемого положения между основаниями пуансонов (рис. 7) относительно клювов зажимов с целью обеспечения качественного формообразования деталей.

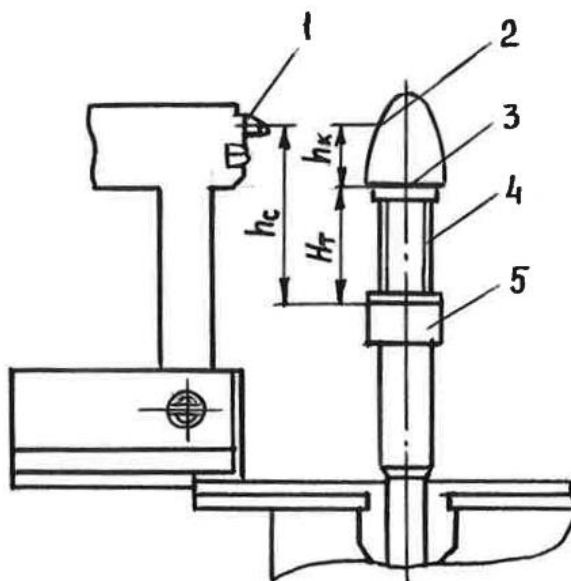


Рис. 7. Схема определения высоты опорной тумбы для пресса FEKD:

- 1 – клюв зажимов пресса; 2 – линия контура детали на пуансоне;
- 3 – основание пуансона; 4 – опорная тумба; 5 – стол пресса.

Высоту тумб находят по формуле

$$H_{T \min} = h_c - h_k, \quad (1.15)$$

где h_c – расстояние от опорной плоскости стола пресса в его верхнем положении до клюва зажимов;
 h_k – расстояние от опорной плоскости пуансона до контура обреза детали на нем.

При поднятии основания пуансона на один уровень с клювами зажимов $H_{Tmin} = h_c$. Для пресса FEKD 550.1100.650 $h_c = 310$ мм. Опорные тумбы должны крепиться к столу пресса, portalу и иметь отверстия для установки рым-болтов для перемещения их краном.

Пуансоны на пресс ГРП устанавливаются в каркасе (рис. 8), обеспечивающем их надежное крепление и быструю смену. Обтяжные пуансоны крепятся к каркасу болтами. Положение каркаса фиксируется на прессе с помощью стопора.

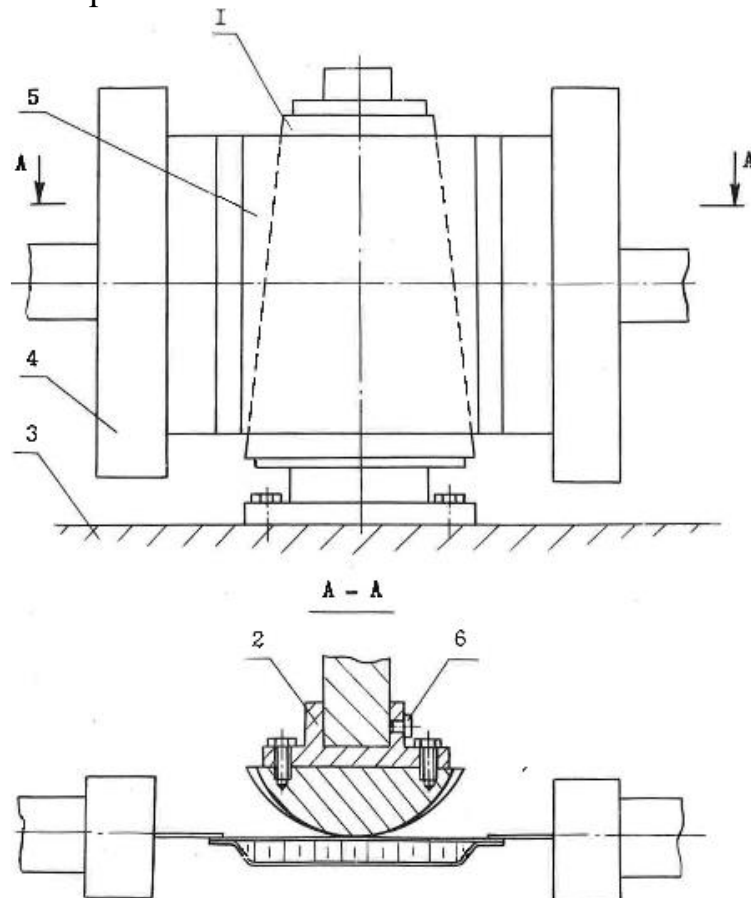


Рис. 8. Схема положения пуансона и заготовки на прессе ГРП при предварительном растяжении: 1 – пуансон; 2 – каркас; 3 – стол пресса; 4 – зажим; 5 – заготовка; 6 – стопор.

Верхняя образующая пуансона должна быть параллельна основанию и при предварительном растяжении заготовки находиться в плоскости зажима, чтобы заготовка касалась её без перегиба. Геометрические размеры цилиндрического пуансона определяли по схеме, приведенной на рисунке 9, конического – по схеме, приведенной на рисунке 10.

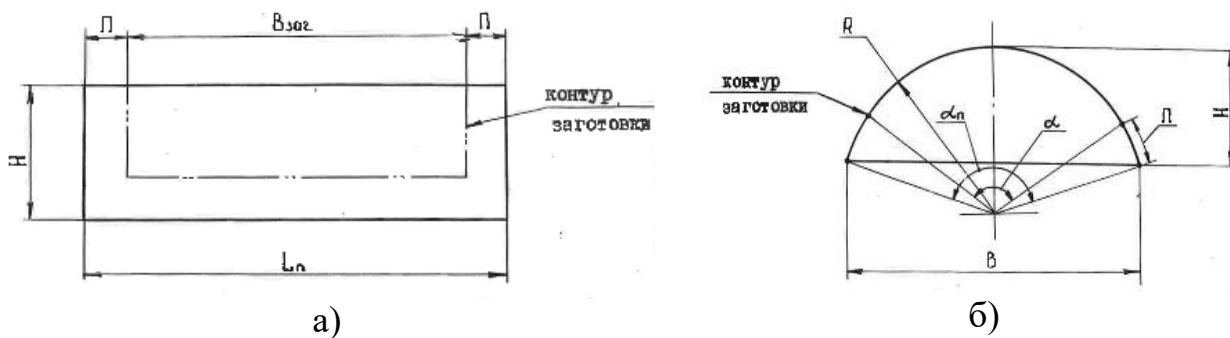


Рис. 9. Схема определения геометрических размеров цилиндрического пуансона

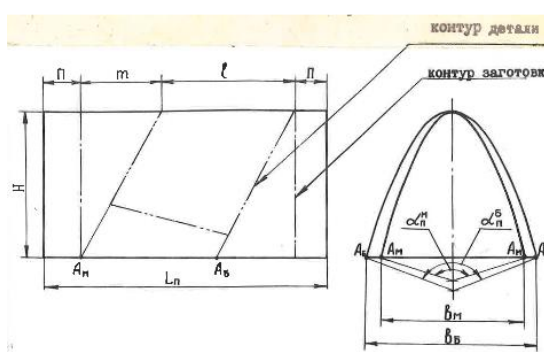


Рис. 10. Схема определения геометрических размеров конического пуансона

Длина пуансона для обтяжки цилиндрических деталей

$$L_n = V_{заг} + 2П, \quad (1.16)$$

где $П = 25$ мм – технологический припуск;

Длина пуансона для обтяжки конических деталей

$$L_n = l + m + 2П, \quad (1.17)$$

где l – длина образующей конической детали, определяемая по формуле $l = \frac{R_1 - R_2}{\sin \beta}$, R_1, R_2, β – геометрические размеры конической детали (рис. 4); $m = C_n \sin \beta$;

$$C_n = R_1 - R_2 \cos \alpha_{nmax} / 2. \quad (1.18)$$

Угол $\alpha_{nmax} = \alpha + 2П/R_1$, где α – угол обхвата конической детали.

Высоту пуансона для обтяжки цилиндрических деталей определяли по формуле

$$H_n = R(1 - \cos \alpha_n/2), \quad (1.19)$$

где R – радиус цилиндрической детали;

Угол $\alpha_n = \alpha + 2\Pi/R$, где α – угол обхвата цилиндрической детали;

$\Pi=25$ мм – припуск.

Для прессы ГРП рассчитанная высота пуансона из-за конструктивных особенностей прессы увеличивается до 460 мм.

Высоту пуансона для обтяжки конических деталей вычисляли по формуле:

$$H_{\Pi} = C_{\Pi} \cos \beta, \quad (1.20)$$

а ширину пуансона для обтяжки цилиндрических деталей – по формуле:

$$B = 2R \sin \alpha_n/2, \quad (1.21)$$

Ширину пуансона для обтяжки конических деталей определяли по следующим формулам:

для сечения с меньшим радиусом R_2

$$B_{min} = 2R_2 \sin \alpha_{nmin}/2, \quad (1.22)$$

где α_{nmin} – угол обхвата пуансона заготовкой по сечению с меньшим радиусом

$$\alpha_{nmin} = \arccos\left(1 - \frac{C_n}{R_2}\right), \quad (1.23)$$

для сечения с большим радиусом R_1

$$B_{max} = 2R_1 \sin \alpha_{nmax}/2, \quad (1.24)$$

где α_{nmax} – угол обхвата пуансона заготовкой по сечению с большим радиусом.

Радиус сбег R_c на пуансоне должен быть не менее 30 мм. При формообразовании СП на прессе FEKD для деталей с углами обхвата больше 120° необходимо обеспечить в конструкции обтяжных пуансонов скосы за обрезом детали.

Рассмотрим порядок расчета обтяжного пуансона для конической детали с $R_1=730,2$ мм; $R_2=656$ мм; $\alpha=60^\circ = 1,05$ рад; $\beta=4^\circ 38' = 0,0807$ рад.

Длину пуансона находим по формуле

$$L_n = l + m + 2\Pi = 917,2 + 9 + 2 \cdot 25 = 976,2 \text{ мм},$$

где

$$l = \frac{R_1 - R_2}{\sin \beta} = \frac{730,2 - 656}{\sin 4^\circ 38'} = 917,2 \text{ мм}.$$

$$m = C_n \sin \beta = 111,2 \cdot \sin 4^\circ 38' = 9 \text{ мм}.$$

$$C_n = R_1 \left(1 - \cos \frac{\alpha_{nmax}}{2}\right) = 730,2 \left(1 - \cos \frac{1,118}{2}\right) = 111,2 \text{ мм}.$$

$$\alpha_{nmax} = \alpha + \frac{2\Pi}{R} = 1,05 + 0,068 = 1,118 \text{ рад}.$$

Величина припуска $\Pi = 25$ мм.

Высоту пуансона H_Π определяем по формуле

$$H_\Pi = C_\Pi \cos \beta = 111,2 \cos 4^\circ 38' = 110,8 \text{ мм}.$$

Для прессы FEKD с учетом рассчитанной высоты пуансона и схемы, показанной на рисунке 9, выбираем размер опорной тумбы для получения качественной детали. Ширину пуансона для сечения с меньшим радиусом R_2 рассчитываем по формуле

$$B_{min} = 2R_2 \sin \frac{\alpha_{nmin}}{2} = 2 \cdot 656 \sin \frac{1,182}{2} = 730,8 \text{ мм},$$

где

$$\alpha_{min} = 2 \arccos \left(1 - \frac{C_\Pi}{R_2}\right) = 2 \arccos \left(1 - \frac{111,2}{656}\right) = 1,182 \text{ рад}.$$

Ширину пуансона для сечения с большим радиусом R_1 рассчитываем по формуле

$$B_{max} = 2R_1 \sin \frac{\alpha_{nmax}}{2} = 2 \cdot 730,2 \sin \frac{1,118}{2} = 774,5 \text{ мм}.$$

Приведенная методика проектирования обтяжных пуансонов может быть дополнена при проектировании пуансонов для глубокой обтяжки с углом охвата $\alpha \geq 180^\circ$.

При описанной методике конструкторы могут проводить расчет обтяжных пуансонов для прессов ГРП и FEKD.

2.1.1 Проектирование обтяжного пуансона для глубокой обтяжки

Для обтяжки деталей двойной кривизны преимущественно с углом охвата в поперечных сечениях по длине пуансона большим или равным 180° , разработан обтяжной пуансон с профилированным контуром [2, 5].

На рисунке 11 изображен без профилирования контура; на рисунке 12 – сечение А-А; на рисунке 13 – пуансон с профилированным контуром; на рисунке 14 – сечение Б-Б.

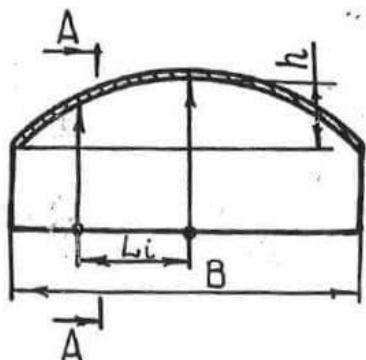


Рис. 11. Пуансон без профилирования контура

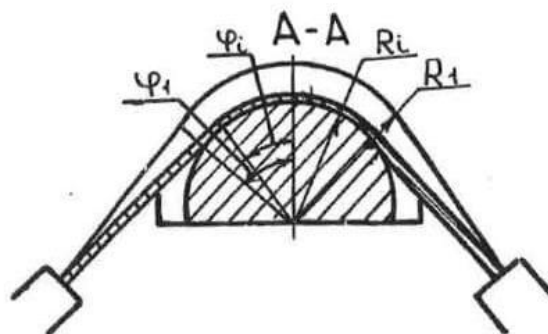


Рис. 12. Сечение пуансона без профилирования контура

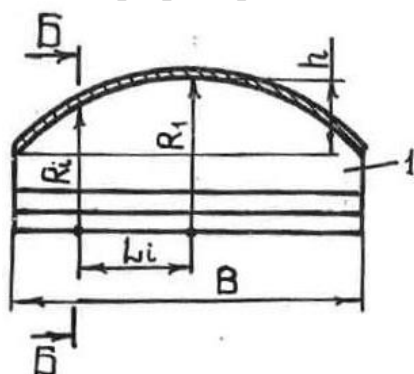


Рис. 13. Пуансон с профилированным контуром

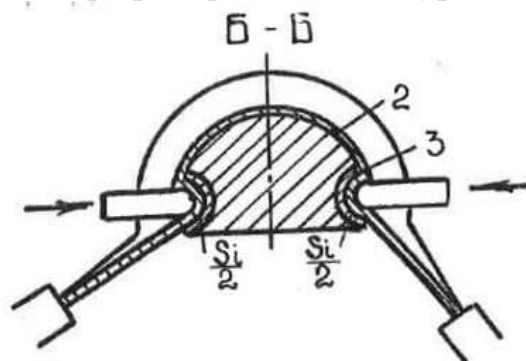


Рис. 14. Сечение пуансона с профилированным контуром

Обтяжной пуансон 1 (рис. 13 и 14) содержит рабочую поверхность 2, сопряженную с технологической поверхностью 3, выполненной вогнутой, при этом длину вогнутой технологической поверхности в каждом i -м поперечном сечении пуансона определяют по зависимости:

$$S_i = R_1(f_1 - f_i) + h \frac{4L_i^2}{B^2} f_i, \quad (1.25)$$

где R_1 – радиус максимального сечения пуансона;
 f_1 – угол охвата максимального сечения пуансона;
 f_i – угол охвата сечения пуансона в i -м сечении;
 h – стрела прогиба максимального сечения пуансона;
 L_i – расстояние от оси пуансона до i -го сечения пуансона;
 B – длина пуансона.

Длина сечений технологической поверхности в направлении обтяжки задается в зависимости от длины сечения рабочей поверхности, её расположения, а также длины заготовки в этих сечениях.

Длины сечений заготовки в конечный момент деформирования задаем увеличенными по сравнению с недеформированным состоянием на одну и ту же степень деформации в зависимости от требуемой точности прилегания.

Выполнение технологической поверхности 3 с длиной дуги в поперечных сечениях по длине пуансона, определяемой по зависимости 2.10, обеспечивает равномерное растяжение заготовки за счет выравнивания длин деформируемых участков. Выполнение технологической поверхности 3 вогнутой формы позволяет выполнить пуансон компактным, а также обеспечивает простоту конструктивного выполнения контр-формовок при его размещении на обтяжном прессе.

Пример: задаются первоначальной длиной заготовки, имеющей прямоугольную форму $C_i = 1900$ мм.

Принимают необходимую степень деформации для фиксирования формы детали во всех сечениях $\varepsilon = 0,02$.

Длина заготовки после деформации определяется как

$$C_k = C_i \cdot (1 + \varepsilon) = 1938 \text{ мм.}$$

Длину сечений технологической поверхности пуансона определяют, зная формы и размеры рабочей поверхности.

В таблице 2 представлена зависимость длины сечения технологической поверхности от L_i, f_i, R_1, B, h .

С учетом марки материала заготовки, её толщины, прочности пуансона выбираем значение радиуса технологической поверхности и проектируем обтяжной пуансон.

Таблица 2

Зависимость длины сечения технологической поверхности
от L_i, f_i, R_1, B, h .

Длина деформируемой заготовки C_k , мм	Радиус максимального сечения R_1 , мм	Углы охвата максимального сечения f_i , град	Стрела прогиба h , мм	Длина пуансона B , мм	Расстояние от середины пуансона до рассматр. сеч. L_i , мм	Длина сечения технологической поверхности S_i
1938	500	150 140	100	1000	100	97
1938	500	150 130	100	1000	200	210
1938	500	150 120	100	1000	300	337
1938	500	150 110	100	1000	400	472

При формообразовании деталей с углом охвата $\alpha < 180^\circ$ выравнивание деформаций по сечению детали осуществляется профилированием по длине технологической поверхности пуансона.

Технико-экономическая эффективность предлагаемого устройства заключается в улучшении качества и ресурса пластичности в 2-3 раза.

2.1.2 Способ построения поверхности обтяжного пуансона

Для обеспечения равномерного растяжения деталей осуществляется профилирование пуансона [6].

Эта цель достигается тем, что при построении поверхности обтяжного пуансона, имеющего рабочую поверхность, соответствующую поверхности готовой детали, и технологическую поверхность, плавно сопрягаемую с рабочей поверхностью, технологическую поверхность выполняют в виде припуска, который в каждом поперечном сечении строят посредством проведения прямых касательных к смежной с ней рабочей поверхности, а длину технологической поверхности определяют по следующей зависимости:

$$T_i = \frac{l_i^2 - \left(\frac{C_{ki} - P_i}{2}\right)}{2l_i \cos \alpha - C_{ki} + P_i}, \quad (2.11)$$

- где T_i – длина технологической поверхности в i -м сечении;
 C_{ki} – длина заготовки между зажимными губками в конечный момент деформирования;
 P_i – длина рабочей поверхности обтяжного пуансона в i -м сечении;
 l_i – расстояние от зажимной губки до границы рабочей и технологической поверхностей;
 α – угол наклона технологической поверхности к условной прямой, соединяющей губку пресса и границу рабочей и технологической поверхностей в i -м сечении.

На рисунке 15 изображен пуансон, вид сбоку; на рисунке 16 – сечение А-А пуансона; на рисунке 17 – сечение Б-Б пуансона.

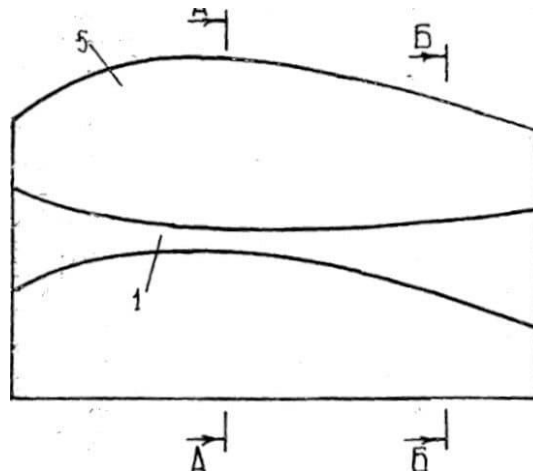


Рис. 15. Пуансон (вил сбоку): 1 – технологическая поверхность;
2 – рабочая поверхность

Технологическую поверхность 1 (рис. 15), контактирующую с технологическим припуском детали, строят посредством проведения прямых-касательных к границе 2 рабочей (рис. 17) и технологической поверхностям, причем длину технологической поверхности T определяют, решая систему уравнений

$$\begin{cases} T_i = \frac{C_{ki}}{2} - \frac{P_i}{2} - O_i \\ O_i = \sqrt{l_i + T_i^2 - 2l_i T_i \cos \alpha} \end{cases}, \quad (2.12)$$

- где C_{ki} – длина заготовки 3 (рис.17) между зажимными губками 4 в конечный момент деформирования, которая задается для всех продольных сечений увеличенной на одну и ту же степень деформации;
- P_i – длина рабочей поверхности 5 обтяжного пуансона 6 (рис. 17) в i -м сечении;
- O_i – минимальное расстояние между зажимной губкой 4 и краем технологической поверхности 1 в i -м сечении в конечный момент деформирования;

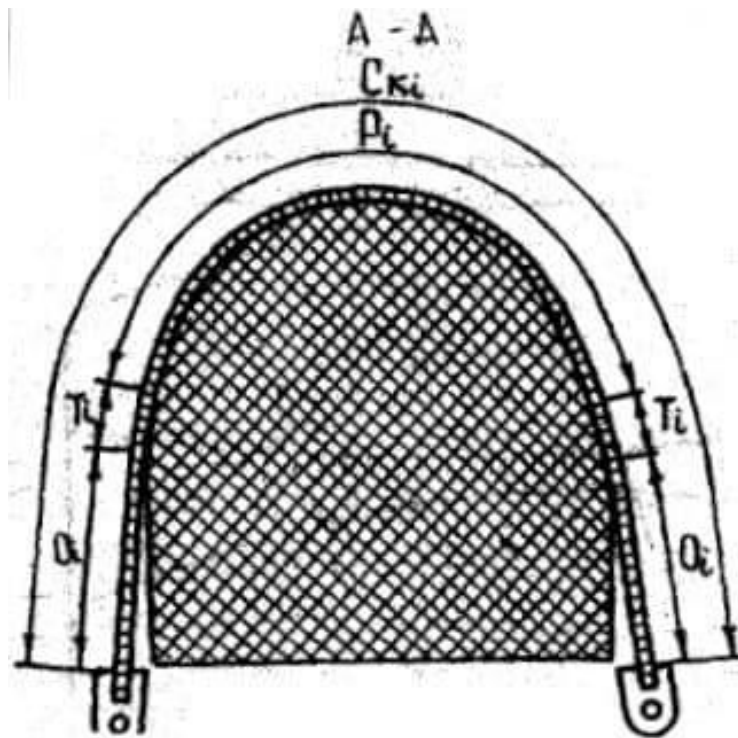


Рис. 16. Сечение А-А пуансона

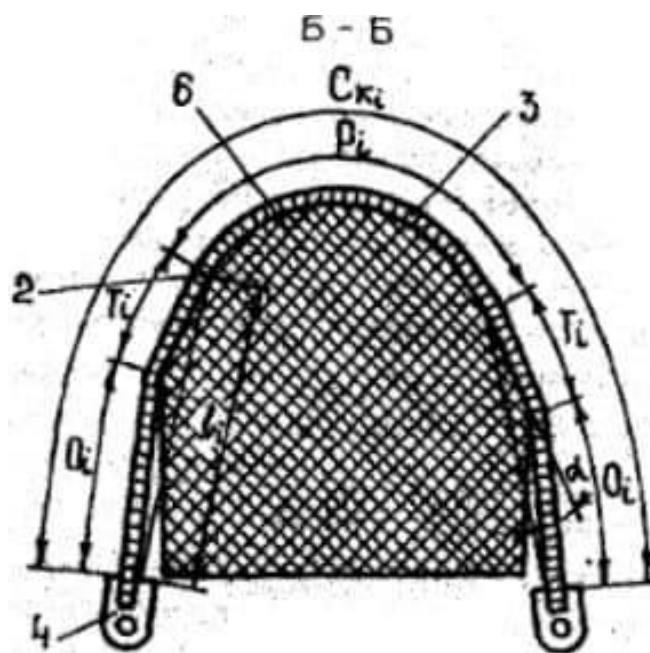


Рис. 17. Сечение Б-Б пуансона: 2 – граница обтяжного пуансона; 3 – заготовка; 4 – зажимные губки; б – обтяжной пуансон.

Длина технологической поверхности определяется в зависимости от длины сечений технологической поверхности и её расположения, причем длина сечений технологической поверхности тем больше, чем меньше длина рабочей поверхности.

Построение технологической поверхности посредством проведения касательных к смежной с ней рабочей поверхности и направленных в сторону приложения усилий обтяжки обуславливается необходимостью сокращения её длины и соблюдением при этом плавности сопряжения рабочей и технологической поверхностей.

Пример: задаются первоначальной длиной заготовки, имеющей прямоугольную форму $C_i = 1000$ мм. Принимают необходимую степень деформации для фиксирования формы детали во всех сечениях $\varepsilon = 0,02$. Длина заготовки после деформации должна быть во всех сечениях

$$C_{ki} = C_i \cdot (1 + \varepsilon) = 1020 \text{ мм.}$$

Расстояние от губок прессы до границы рабочей поверхности с технологической определяют, зная форму и размеры рабочей поверхности и задаваясь её расположением относительно губок.

В таблице 3 представлена зависимость длины технологической поверхности от α .

Таблица 3

Зависимость длины технологической поверхности от α .

Длина деформируемой заготовки C_{ki} , мм	Длина рабочей поверхности обтяжного пуансона P_i , мм	Угол α , рад	Расстояние от губки до границы рабочей и технологической поверхностей l_i , мм	Искомая длина технологической поверхности T_i , мм
1020	581	0,2377	417,4	277
1020	584	0,2672	429,1	62
1020	580	0,2615	438,0	21
1020	574	0,2428	443,6	26

Технико-экономическая эффективность предполагаемого способа заключается в улучшении качества и ресурса пластичности деталей в 2-3 раза.

2.1.3 Конструктивные особенности и технология изготовления универсальных обтяжных пуансонов двойной кривизны с накладкой из плоской заготовки

Применение конструкций сложной геометрической формы делает крайне необходимым решение задачи по созданию универсальных обтяжных пуансонов двойной кривизны. С учетом существующих конструктивных

решений обтяжных пуансонов, рассмотренных в работах, разработана конструкция универсального обтяжного пуансона, который состоит из универсальной опоры 1, используемой для ряда оболочек и сменной рабочей поверхности (накладки) 2, обеспечивающей форму получаемой детали [7] (рис. 18).

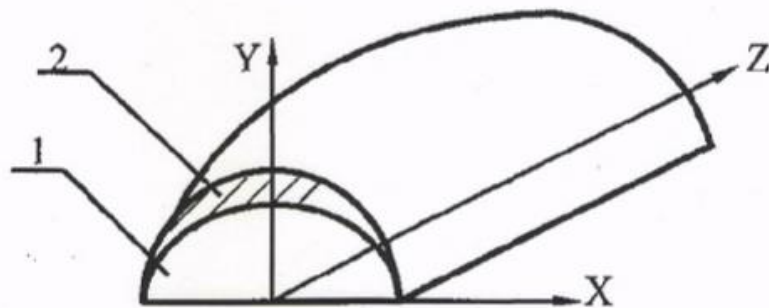


Рис. 18. Универсальный пуансон двойной кривизны:
1 – универсальная опора; 2 – сменная рабочая поверхность (накладка)

Процесс проектирования пуансона разделен на два этапа.

На первом этапе анализируют схему членения кожухов двигателей и агрегатов самолета и определяют габаритные размеры обшивок и оси симметрии главной системы координат OXYZ, после чего выбирают оборудование для изготовления деталей методом обтяжки. Анализ геометрии обшивки позволяет определить коэффициент обтяжки K_r и оценить количество переходов, необходимое для получения деталей.

Второй этап проектирования оснастки требует создания математической модели поверхности пуансона и разработки программы для обработки этой поверхности на станке с ЧПУ.

Программа обработки составляется с учетом деформаций, возникающих при последующем изгибе рабочей поверхности пуансона по заднему радиусу. так длина рабочей поверхности накладки до изгиба определяется по следующей зависимости:

$$l_1 = l - l \frac{H}{R_1},$$

где l - длина рабочей поверхности накладки после изгиба;

R_1 - радиус изгиба рабочей поверхности накладки;

H - высота рабочей поверхности накладки.

Если высота рабочей поверхности накладки H меняется по длине, то величину деформации определяют на каждом участке. Материал, используемый для изготовления накладки, сотовая панель из стеклопластика с наполнителем – вторичный алюминий, пеноалюминий и др.

Разработан технологический процесс изготовления наклейки из сотового наполнителя. При этом полые части наполнителя, закрепленного на жестком основании одинарной кривизны, наполняют легкоплавким материалом. После отверждения наполнителя осуществляют фрезерование наклейки в поперечном направлении на станках с ЧПУ (рис. 19).

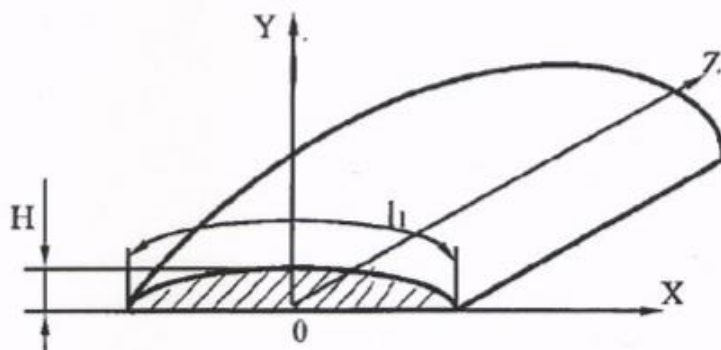


Рис. 19. Наклейка после обработки фрезерованием

Далее осуществляют изгиб наклейки в продольном направлении на заданный радиус кривизны.

Экспериментальные исследования по обтяжке обшивок слоистых панелей на универсальном пуансоне проводили на модельном обтяжном устройстве. Наклейка изготавливалась по вышеприведенной технологии. Радиус пуансона – 70 мм. Количество слоёв обшивок – 2 листа толщиной 0,5 мм каждый. Материал обшивок – Д19АТ (рис. 20). Величина давления находилась в пределах 4,7-6,2 МПа

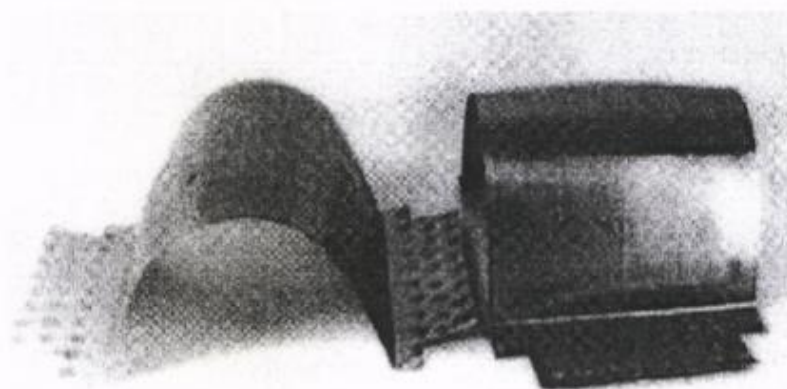


Рис. 20. Образцы обшивок слоистых панелей

В процессе формообразования обшивок, оснастка полностью выдерживая возникающие удельные давления без потери формы. При

изготовлении реальных конструкций радиусы кривизны значительно больше радиусов кривизны изготовленной опытной оснастки. Соответственно удельное давление, действующее на пуансон, будет меньше. Следовательно, данная конструкция универсального пуансона соответствует предъявляемым требованиям и может быть использована в производстве.

По разработанной технологии проводили экспериментальные исследования по изготовлению накладки из пеноалюминия. Поверхность изготовленной накладки после изгиба обрабатывалась ручным абразивным шлифовальным инструментом. Шероховатость поверхности накладки, изготовленной из пеноалюминия, после шлифования регулируемым инструментом должна соответствовать условию $R_z < 20$.

Рассмотренная конструкция универсального пуансона имеет ограничения для изготовления обшивок малого радиуса кривизны ($R < 300$ мм) из-за возникновения седловидности накладки и искажения геометрии её поверхности. Для устранения указанных недостатков была разработана конструкция криволинейной накладки.

2.1.4 Конструктивные особенности и технология изготовления универсальных обтяжных пуансонов двойной кривизны с криволинейной накладкой

Универсальные обтяжные пуансоны из плоской заготовки, изготовленные по приведенной выше технологии, имеют ограничения в применении для изготовления деталей с малыми радиусами кривизны, а также деталей двойной кривизны. Для формообразования таких деталей разработана конструкция обтяжного пуансона с накладкой другого типа [8].

Пуансон (рис. 21) состоит из опоры 1, на которую устанавливают накладку 2, а сверху укладывают обшивку 3, полученную обтяжкой на прессе. Накладка содержит ячейки 4, состоящие из поперечного 5 и продольного 6 набора пластин, внутренней поверхности 7 накладки 2, рабочей поверхности 8 опоры 1, наружной поверхности 9, накладки 2. Формирование внутренней поверхности (контура) 7 накладки 2 осуществляют по рабочей поверхности 8 опоры 1 после заполнения ячеек 4 твердеющей массой (эпоксидная смола и др.).

Данная конструкция пуансона позволяет увеличить диапазон обрабатываемых деталей, в частности, осуществлять формообразование слоистых панелей двойной кривизны. Применение такой конструкции пуансона позволяет на 50% снизить трудоемкость обработки наружной поверхности накладки и повысить качество и точность получаемых деталей, что особенно важно при изготовлении канала воздухозаборника однослойной и двухслойной конструкций.

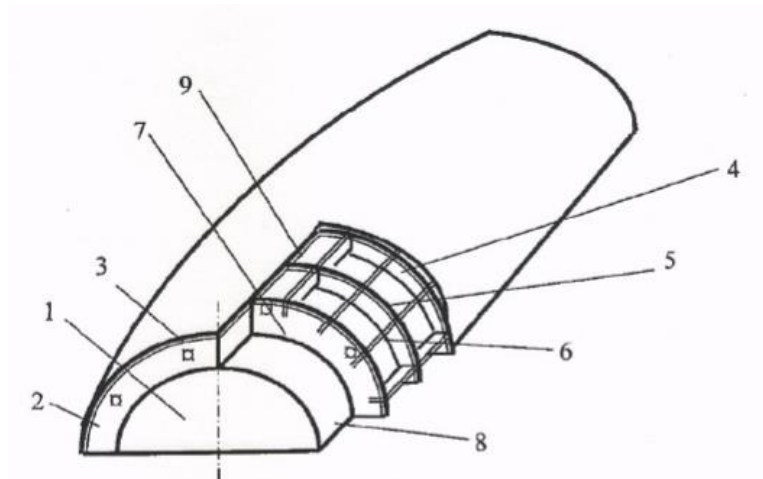


Рис. 21. Обтяжной пуансон со сменной рабочей поверхностью-накладкой, устанавливаемый на опору: 1 – опора; 2 – накладка; 3 – обшивка; 4 – ячейки; 5 – поперечный набор пластин; 6 – продольный набор пластин; 7 – внутренняя поверхность накладки 2; 8 – рабочая поверхность опоры 1; 9 – наружная поверхность накладки 2

Технологический процесс изготовления накладки для такого пуансона включает изготовление каркаса из продольного и поперечного набора пластин, образующих ячейки 50x50 высотой 30-60 мм, и заполнение полученных ячеек твердеющей массой с последующим выравниванием её, сушкой и зачисткой. В качестве твердеющей массы использовались эпоксидная смола, смесь бетона с опилками, паста ВП31. Учитывая результаты испытаний материалов наполнителя и особенности технологии изготовления ячеек на кладки, предпочтение отдается эпоксидной смоле с наполнителем из опилок, как наиболее технологичному наполнителю.

Продольный и поперечный набор пластин получают с электронной модели обтяжного пуансона из листового материала – стали 20 толщиной 1,0-2,02 мм.

Схема технологического процесса изготовления универсального пуансона для обтяжки обшивок приведена на рисунке 22.



Рис. 22. Схема технологического процесса изготовления универсального пуансона

Обработку по контуру пластин, образующих ячейку 4, осуществляют на оборудовании с ЧПУ (фрезерный станок, лазерный раскройный комплекс) с учетом толщины обшивки в виде листовой заготовки. После обработки осуществляют сборку поперечных 5 и продольных 6 пластин и получают накладку 2 с заданными размерами, которую укладывают на опору 1, а затем заполняют ячейки твердеющей массой.

Формование внутренней поверхности (контура) 7 накладки осуществляют по рабочей поверхности 8 опоры 1 после заполнения её ячеек 4 твердеющей массой. Геометрические размеры ячеек определяются с учетом прочностных и точностных параметров накладки. Высота накладки выбирается из условий жесткости при её транспортировке.

Рабочую поверхность накладки 2 получают выравниванием твердеющей массы упругой пластиной. После застывания твердеющей массы осуществляют обтяжку обшивки 3 в виде листовой заготовки, например, из Д16АМ толщиной

2,0 мм по наружной поверхности 9 накладки 2 с последующей обрезкой обшивки 3 и прикреплением её к продольному набору пластин 6.

После обтяжки листовой заготовки по изготовленному пуансону отклонение обшивки по толщине 2,0 мм составляет не более 0,12 мм, что вполне допустимо для изготовления пуансонов.

САПР технологического процесса изготовления криволинейной накладки универсального пуансона представлен на рисунке 23.

Одно из основных требований, предъявляемых к качеству пуансона – обеспечение точности наружной поверхности, выполняется за счет реализации предлагаемой технологии изготовления универсального пуансона.

Второе требование – это обеспечение требуемой прочности.

Значение величины удельного давления определяется по минимальному сечению пуансона по формуле Лапласа

$$q = \frac{\sigma h}{R},$$

где σ - значение предела прочности материала заготовки в Мпа;
 h - толщина обшивки в мм;
 R - радиус сечения пуансона, мм.

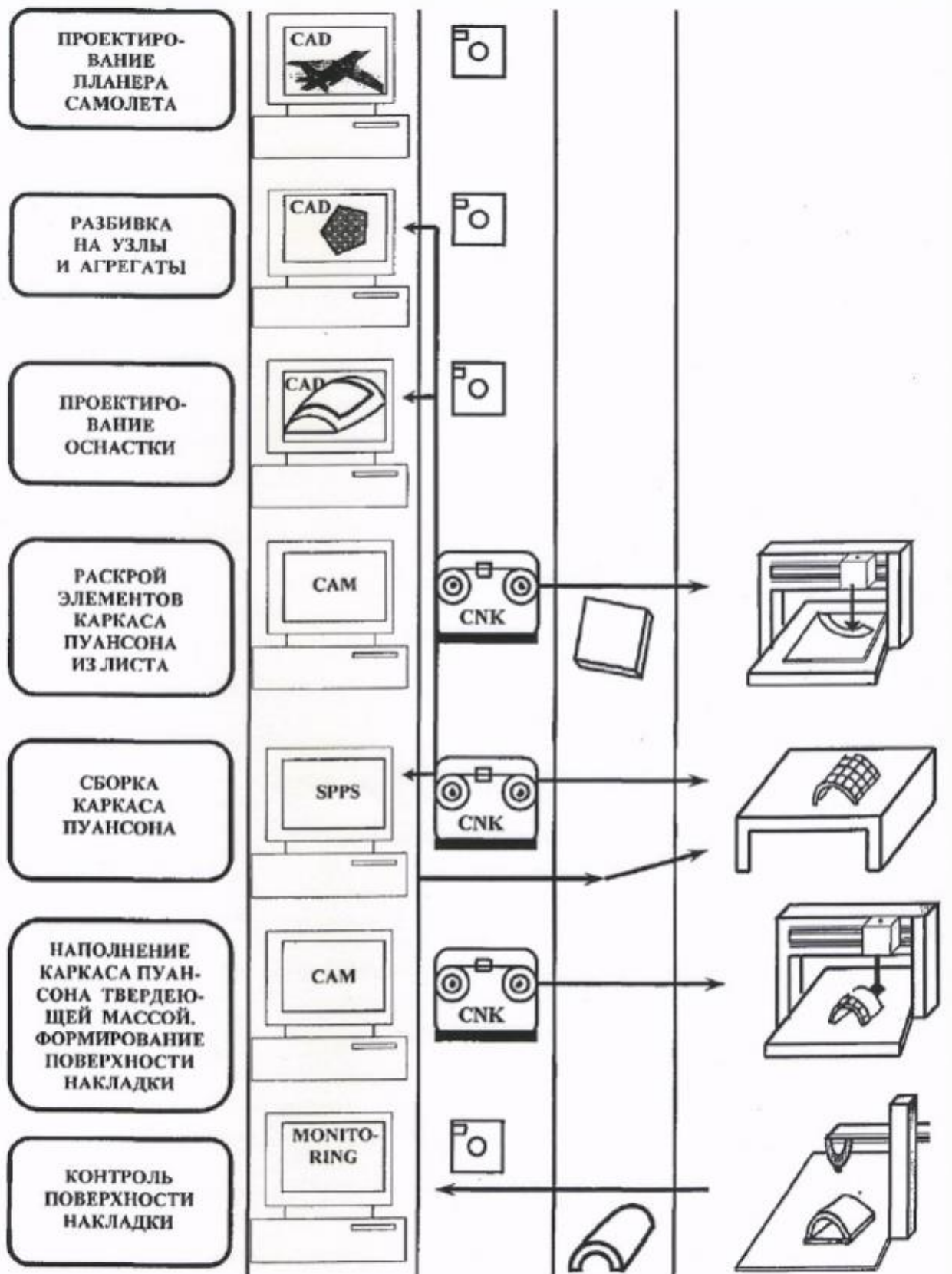


Рис. 23. САПР технологического процесса изготовления криволинейной накладки

Максимальная величина удельного давления находится в пределах 5 Мпа. Из этого расчета выбирались толщина пластин и размер ячеек накладки 50x50 мм.

Экспериментальный процесс обтяжки обшивок был осуществлен на пуансоне с радиусом кривизны в минимальном сечении $R_1 = 500$ мм, в максимальном $R_2 = 600$ мм, углом охвата $\alpha = 180^\circ$. Толщина формируемых обшивок составила 2,4 мм. Материал обшивок – Д16АТ.

Продольные и поперечные пластины накладки изготавливались из материала сталь 20.

Геометрические размеры накладки универсального пуансона представлены на рисунке 24.

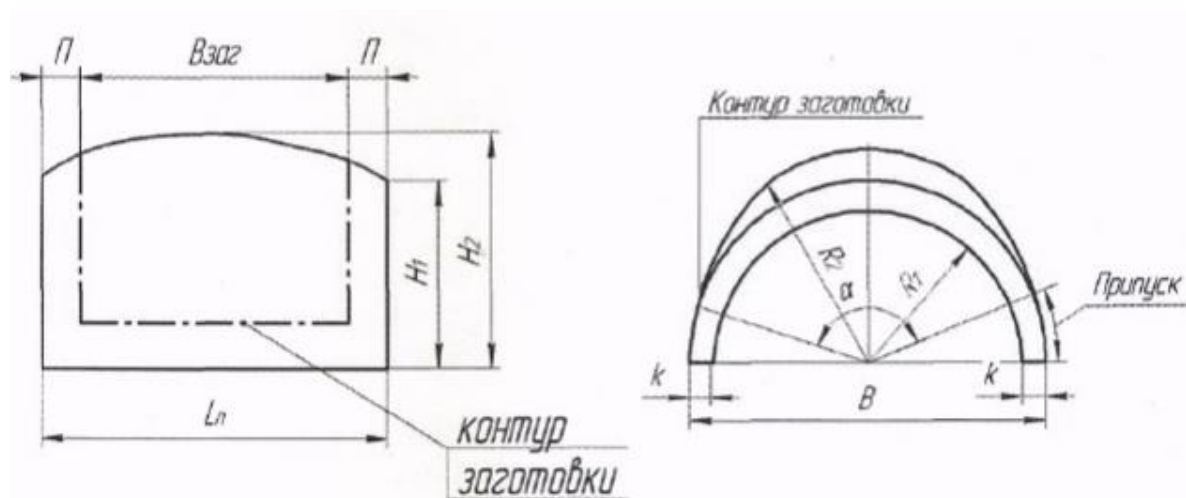


Рис. 24. Геометрические параметры накладки: $B_{заг}$ – ширина заготовки; L_n – длина пуансона; B – ширина; k – толщина; H_1 – высота крайнего сечения пуансона; H_2 – высота среднего сечения пуансона

Обтяжка обшивок осуществлялась на прессе с ЧПУ. перед обтяжкой на заготовку наносилась делительная сетка с базой 100x100 мм. Характер распределения деформаций по сечениям пуансона после формообразования представлен на рисунке 25.

Значения удельных давлений были рассчитаны по формуле Лапласа. При данных нагрузках обтяжной пуансон удовлетворял требованиям прочности и жесткости. Полученные обтяжкой обшивки удовлетворяли требованиям точности

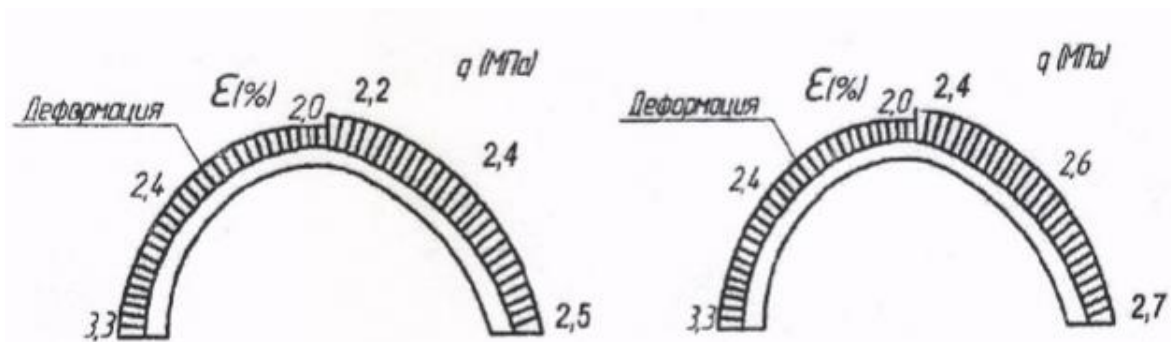


Рис. 25. Характер распределения деформаций по сечениям пуансона после формообразования: а - крайнее сечение; б – среднее сечение

Конструкции универсального пуансона имеют следующие преимущества:

- снижение материалоемкости оснастки более чем в 2 раза;
- опора является универсальной и используется для нескольких пуансонов;
- наличие в конструкции пуансона элементов опоры и накладки обеспечивает удобство хранения и эксплуатации;
- низкая трудоемкость изготовления (по сравнению с базовым вариантом достигнуто снижение трудоемкости изготовления на 40-50%);
- отсутствие необходимости проведения планового ремонта.

2.2 Проектирование пуансонов универсальной конструкции

Изготовление пуансонов монолитной конструкции весьма трудоемко. Кроме того, требуются периодические ремонты оснастки. Поэтому в отечественной и зарубежной практике все шире применяют универсальную, переналаживаемую оснастку. На одном из предприятий отрасли такая оснастка разработана [9].

Универсальный пуансон (рис. 26), используемый на прессе FEKD, состоит из каркаса, сменных шаблонов и гибкой оболочки. Каркас представляет собой сварную конструкцию и имеет пазы для установки и фиксации шаблонов. Рабочая поверхность шаблонов выполнена с учетом величины пружинения и толщины гибкой оболочки. Гибкая оболочка (рис. 27) крепится к каркасу шарнирно с помощью кронштейна 6. Она состоит из верхнего 2 и нижнего 5 листов, разделенных гофрированным наполнителем 3 и соединенных с ним неподвижно в центральной части. с двух сторон по краям листы соединяются подвижно с помощью направляющих 4, входящих в пазы 1. Универсальность такой конструкции заключается в том, что при смене типа деталей заменяют только шаблоны, оболочка же остается одна для всей номенклатуры.

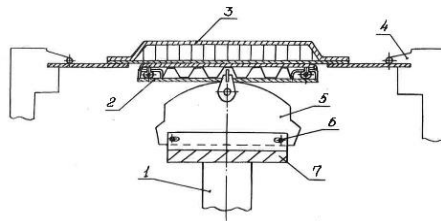


Рис. 26. Универсальный пуансон для прессы FEKD: 1 – стол прессы; 2 – гибкая оболочка; 3 – заготовка; 4 – зажим; 5 – сменный шаблон; 6 – фиксатор; 7 – каркас.

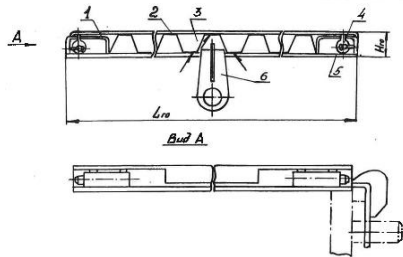


Рис. 27. Гибкая оболочка: 1- направляющий паз; 2 – верхний лист; 3 – гофрированный наполнитель; 4 – направляющая; 5 – нижний лист; 6 - кронштейн

Для изготовления шаблонов конических деталей на карусельном станке разработано приспособление (рис. 28). Оно устанавливается на столе станка и состоит из плиты с пазами, в которых фиксируются заготовки шаблонов. При изготовлении конических оболочек необходимо плиту повернуть на угол, равный углу конусности детали.

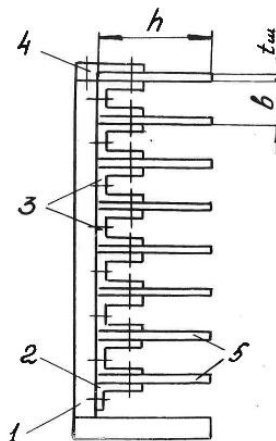


Рис. 28. Приспособление для обработки шаблонов конических деталей на карусельном станке: 1- плита; 2, 4 – нижняя и верхняя накладки; 3 – упоры; 5 – заготовки сменных шаблонов.

При изготовлении шаблонов нужно предварительно определить минимальные радиусы их заготовок. Длина образующей конической детали $l = (R_1 - R_2) / \sin \beta$, где R_1, R_2 – радиусы детали (рис. 29), без толщины гибкой оболочки $H_{г.о}$ (рис. 27); β – угол конусности детали.

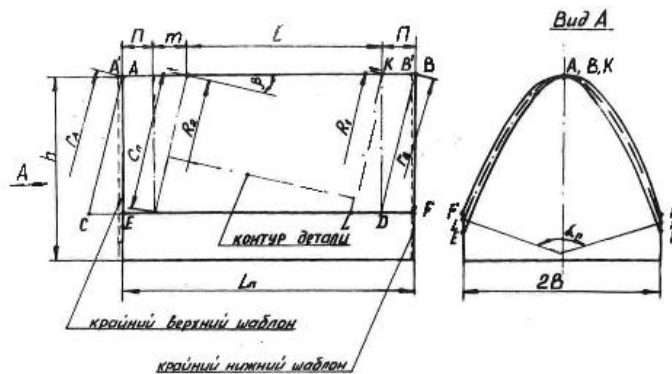


Рис. 29. Схема определения геометрических размеров конического пуансона

Углом обхвата пуансона по коническому сечению детали KL с максимальным радиусом R_1 будет

$$\alpha_{п} = (L_{г.о.} + 2\Pi_1) / R_1, \quad (2.13)$$

где $L_{г.о.}$ –длинна гибкой оболочки;

Π_1 –припуск, предотвращающий подмятие концов гибкой оболочки ($\Pi_1 = 50$ мм).

Величину m (рис.21) вычисляем по формуле

$$m = R_1 (1 - \cos \alpha_n / 2) \sin \beta \quad (2.14)$$

В зависимости от длины образующей детали l выбирают минимальную длину L_n между крайними коническими сечениями AC и VD , проходящими через точку A и B нижней плоскости шаблонов ,

$$L_n = (n - l) \cdot B, \quad (2.15)$$

где n –число шаблонов;

B – шаг расположения шаблонов на каркасе пуансона и в приспособлении для обработки на карусельном станке ($B = 125$ мм.)

При этом должно быть выполнено условие $L - (m + l + 2\Pi_2) \geq 0$, где Π_2 - припуск, равный 25 мм.

Тогда припуск Π можно найти по другой формуле

$$\Pi = \frac{L_n - m - l}{2} \quad (2.16)$$

Радиусы τ_a и τ_b крайних конических сечений шаблонов определяют по формулам

$$\tau_a = R_2 - (m + \Pi) \sin \beta \quad (2.17)$$

$$\tau_b = R_2 + (l + \Pi) \sin \beta \quad (2.18)$$

Радиусы промежуточных конических сечений шаблонов – по формуле

$$\tau_i = \tau_a + (i + l)B \sin \beta, \quad i = I, \Pi \quad (2.19)$$

причем $\tau_i = \tau_a, \tau_{\Pi} = \tau_b$;

Минимальные радиусы заготовок шаблонов – по формуле

$$R_i = \frac{a_i(1-c_i)(1-\sqrt{1-(\frac{B}{b_i})^2}}{2} + b_i c_i + \Pi_3, \quad i = I, \Pi \quad (2.20)$$

где B – половина ширины сменных шаблонов

Π_3 –припуск на карусельную обработку ($\Pi_3 = 10$ мм).

$S_i = b_i/a_i; a_i; b_i$ – соответственно большая и малая полуоси эллипса i -го шаблона, определяемые по формулам

$$a_i = \tau_i \frac{\cos \beta}{\cos 2\beta}, \quad (2.21)$$

$$b_i = \frac{\tau_i}{\sqrt{\cos 2\beta}} \quad (2.22)$$

Ниже приведены полученные расчетом минимальные радиусы заготовок шаблонов для конусной детали $R_1 = 637$ мм, $R_2 = 568$ мм, $\beta = 20^\circ$ при $L_{г.о.} = 1000$ мм, $h = 125$ мм, $B = 475$ мм, R_1, R_2, R_3, R_4 , равные 586, 630, 674, 719 мм соответственно.

Для того, чтобы обработать заготовки шаблонов на карусельном станке, необходимо задать угол конусности β детали и радиусы крайних конических сечений, проходящих через точки А и В верхней плоскости шаблонов (рис. 29), определяемые по формулам

$$\tau'_A = \tau_A - t_w \sin \beta \quad (2.23)$$

$$\tau'_B = \tau_B - t_w \sin \beta \quad (2.24)$$

где t_w – толщина шаблона.

При проектировании универсального пуансона следует обеспечить требуемую прочность и жесткость гибкой оболочки 2, обеспечивающей передачу усилия от формируемой детали 3 на шаблоны 5 (рис.26). При расчете оболочки на жесткость необходимо выбрать геометрические размеры гофра (рис.30) таким образом, чтобы прогиб оболочки в середине между шаблонами не превосходил заданную величину. При этом увеличение размеров гофра ограничивается условием неизменности контура сечения профиля. Кроме того, максимальное напряжение изгиба заполнителя не должно превышать предел пропорциональности.

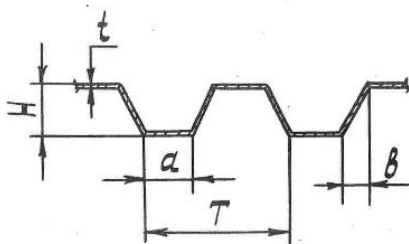


Рис. 30. Геометрические параметры гофрированного заполнителя

При расчете на прочность и жесткость принимается расчетная схема оболочки пластины, защемленной по краям.

Момент инерции сечения гофра определяется по формуле

$$J = \frac{t \cdot H^2}{2} \left(a + \frac{1}{3} \sqrt{H^2 - b^2} \right), \quad (2.25)$$

где a, b, t, H – геометрические параметры гофрированного заполнителя.

Величина момента сопротивления рассчитывается по формуле

$$W = t \cdot H \left(a + \frac{1}{3} \sqrt{H^2 + b^2} \right). \quad (2.26)$$

Нагрузка на шаг гофра

$$P = q \cdot T, \quad (2.27)$$

где T – шаг гофра заполнителя;
 q – удельное давление, действующее на оболочку, определяемое по формуле Лапласа

$$q = (t_g/R)\sigma, \quad (2.28)$$

где t_g – толщина несущих слоев сотовой панели;
 R – радиус пуансона;
 σ – среднее нормальное напряжение сотовой панели.

Величина максимального момента

$$M_{max} = Ph^2/12 \quad (2.29)$$

Максимальное напряжение изгиба

$$\sigma_{max} = M_{max}/W \quad (2.30)$$

Максимальный прогиб оболочки

$$W = Ph^4/384El \quad (2.30)$$

Результаты расчетов гофрированного заполнителя из сплава ОТ4-1 следующие: H , t , T , a , b , h равны 9; 0,8, 25, 8, 4, 125 мм. соответственно; $E=110000$ Мпа; $\sigma_{max} = 290$ МПа; $W = 0.29$ мм.

Полученные расчетные зависимости целесообразно подтвердить экспериментальными исследованиями.

были проведены исследования по определению потери устойчивости на сжатие гофрированного заполнителя на испытательной машине ЦД-40 на образцах заполнителя, параметры которого приведены выше. При этом рассмотрены схемы нагружения со свободными и закрепленными концами гофрированного заполнителя.

В первом случае (рис. 31а) образцы заполнителя 2 устанавливали на стол 4 испытательной машины и усилием траверсы 1 создавали на них давление. потеря устойчивости сопровождалась перемещением концов гофрированного листа и определялась по диаграмме сжатия усилие-перемещение (P-l). Напряжение потери устойчивости заполнителя составило 13 Мпа.

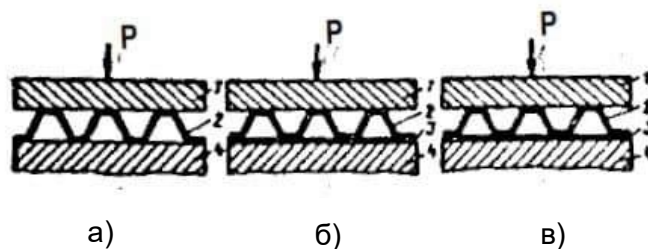


Рис. 31. Схемы испытаний гофрированного заполнителя на сжатие

Во втором случае гофрированный наполнитель крепили точечной сваркой к листу 3 с двух сторон по длине (рис. 31б) и отдельно к листу фиксировали каждый гофр (рис. 31в). При этом потеря устойчивости сопровождалась искажением формы каждого гофра. Значения напряжений устойчивости также фиксировались по диаграмме сжатия и соответствовали 60 Мпа (рис. 31б) и 47,3 Мпа (рис.31в)

Приведенные расчеты и испытания гофрированного наполнителя позволяют выбрать конструкцию гибкой оболочки и оптимальные расстояния между шаблонами. Разработка и применение универсальной оснастки позволяют сократить сроки подготовки производства при запуске нового изделия, а также уменьшить время на смену оснастки и снизить трудоемкость изготовления сотовых панелей.

Для формообразования оболочек одинарной кривизны $R \leq 400$ мм приведенная конструкция пуансона (рис. 26) не применима.

2.2.1 Универсальный пуансон для формовки обтяжкой оболочек одинарной кривизны

Разработана конструкция пуансона[10], обеспечивающая расширение технологических возможностей изготовления деталей и позволяющая осуществлять формообразование деталей с радиусом в вершине $R \leq 400$. Пуансон (рис. 32) содержит каркас 1 со сменными шаблонами 3, к вершине которых прикреплен трехслойная упругая оболочка. последняя состоит из внешних обшивок 4 и наполнителя 6. Наполнитель в средней части оболочки выполнен в виде полых цилиндрических трубок 5, соединенных тросиком 7. Средняя трубка наполнителя приварена к внешним обшивкам 4, а тросик 7 своими концами соединен с гофрированным наполнителем 6. В местах контактирования трубок 5 через обшивку 4 с шаблонами 3 в трубки 5 запрессованы заглушки 8. Пуансон позволяет обтягивать детали с кривизной $R < 400$ мм за счет увеличения жесткости наполнителя.

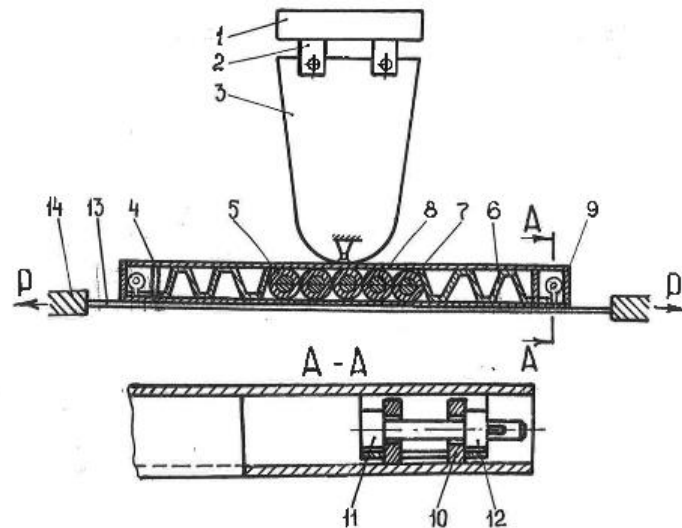


Рис. 32. Пуансон для формовки обтяжкой перед изгибом:

1 – каркас; 2 – фиксаторы, 3 – шаблон, 4 – внешняя обшивка, 5 – трубки (полые, цилиндрические), 6 – наполнитель, 7 – тросик, 8 – заглушки, 9 – скоба, 10 – пружины, 11 – штифты, 12 – шайбы, 13 – заготовка, 14 – зажим.

На рисунке 32 показан пуансон для формовки обтяжкой перед изгибом и законцовка оболочки (сечение А-А), на рисунке 33 – пуансон с оболочкой после изгиба детали.

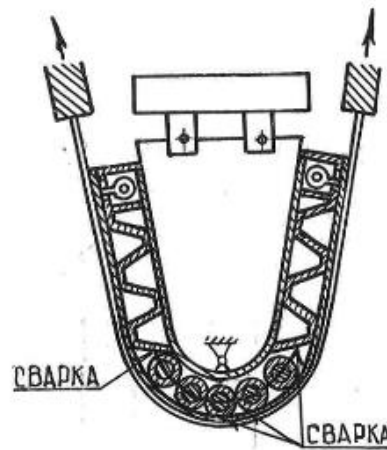


Рис. 33. Пуансон с оболочкой после изгиба детали

Пуансон содержит каркас 1, на котором фиксаторами 2 укреплены смешанные шаблоны 3. К вершине пуансона шарнирно прикреплена трехслойная упругая оболочка, состоящая из внешних обшивок 4 и наполнителя.

Заполнитель на контуре пуансона с малыми радиусами кривизны

($R < 400 \text{ мм}$) на центральном участке оболочки выполнен на полях цилиндрических тел в виде трубок 5, на контуре с большими радиусами кривизны ($R > 400 \text{ мм}$) – из гофрированных листов 6. Через сверления в трубках проходит гибкая связь в виде тросика 7, который с двух сторон соединяется с концами гофрированного заполнителя 6. В местах опирания трубок 5 заполнителя на шаблоны 3 запрессованы заглушки 8. Для обеспечения возможности смещения внешних обшивок и заполнителя относительно друг друга к нижней обшивке по её концам с двух сторон привариваются скобы 9, к верхней обшивке – проушины 10, в которые вставлены штифты с шайбами 12.

Листовая заготовка 13 фиксируется в зажимах пресса 14 и устанавливается на пуансон.

При обтяжке заготовка 13 прилегает к поверхности упругой оболочки и совместно принимает кривизну, задаваемую с помощью сменных шаблонов 3.

При изгибе обшивок 4 заполнитель 5, 6 изгибается совместно с ними. Заполнитель перемещается относительно обшивок 4, а верхняя обшивка смещается относительно нижней, при этом штифты 11 с шайбами 12 скользят по направляющим скоб 9.

После снятия усилия формообразования обшивки 4 и заполнитель 5,6 занимают первоначальное плоское положение.

Таким образом, наличие оболочки, выполненной в виде упругой трехслойной конструкции, позволяет получить заготовки переменной кривизны, задаваемой шаблонами.

Пример. Пуансон опробован при формообразовании листовой обшивки из материала 12Х18Н10Т толщиной 2 мм. Радиус кривизны в вершине пуансона $R = 300 \text{ мм}$ на угле охвата от 0° до 90° и $R = 600 \text{ мм}$ на угле охвата от 90° до 180° , $\sigma_B = 400 \text{ МПа}$.

Оболочка выполнялась из двух обшивок толщиной 1,0 мм из титанового сплава ОТ4-1, гофрированного заполнителя высотой 16 мм, с шагом гофров 12 мм; толщиной 0,8 мм из титанового сплава ОТ4-1, трубчатого заполнителя с внешним диаметром трубки 16 мм, толщиной 1 мм из титанового сплава ОТ4-1.

Максимальная величина удельного давления от заготовки составила:
для гофрированного заполнителя

$$P_{\Gamma} = \frac{400 \cdot 2}{600} = 1,3 \text{ МПа},$$

для трубчатого заполнителя

$$P_{\text{T}} = \frac{400 \cdot 2}{300} = 2,6 \text{ МПа}.$$

Из расчета прочности и жесткости оболочки расстояние между сменными шаблонами принято 125 мм.

Так как при изгибе наполнитель и обшивки имеют относительное перемещение, остаточных деформаций при изгибе не будет.

Применение пуансона позволяет осуществить быструю переналадку его на другой размер за счет смены шаблонов, обеспечивает требуемое качество получаемых обшивок.

Приведенная конструкция пуансона позволяет осуществить обтяжку оболочек носков крыла, стабилизатора, обеспечивая требования по точности аэродинамических поверхностей летательных аппаратов.

Наряду с конструктивными решениями обтяжных пуансонов, у которых рабочая поверхность регулируется с помощью сменных шаблонов, следует рассмотреть и другие решения.

2.2.2 Универсальный пуансон для формовки обтяжкой ребристых панелей

Пуансон содержит каркас с укрепленными на нем сменными шаблонами и шарнирно закрепленную на вершине пуансона плоскую упругую оболочку [11,12]. Последняя состоит из наружных листовых обшивок и размещенного между ними упругого гофрированного наполнителя. К обшивке прикреплены упоры. Одни упоры жестко связаны с обшивкой, а другие смонтированы с возможностью регулировочного перемещения относительно неподвижных упоров. В процессе формовки упругие вкладыши располагаются между ребрами панели.

На рисунке 34 показан пуансон с панелью перед изгибом, на рисунке 35 – то же, после изгиба, на рисунке 36 – сечение А-А пуансона с панелью.

Пуансон содержит каркас 1, на котором закреплены с помощью фиксаторов 2 сменные шаблоны 3 и с помощью шарнирного соединения 4 на вершине пуансона плоская упругая оболочка, состоящая из наружных листовых обшивок 5,6 и гофрированного листового наполнителя 7 между ними, жестко соединенного с обшивками 5,6. Верхние упоры 8, жестко закрепленные на листовой обшивке 6 плоской упругой оболочки, нижние упоры 9, установленные на последней с возможностью регулировки, упругие вкладыши 10, установленные между ребрами заготовки 11 (панель) и между ребрами заготовки и упорами 8,9 на плоской упругой оболочке. Упругие вкладыши 10 заполнены аналогично плоской упругой оболочке, только здесь количество гофрированных листовых наполнителей и листовых обшивок выбирается в зависимости от формы поперечного сечения заготовки.

Пуансон работает следующим образом.

Заготовка (панель с ребрами жесткости) с упругими вкладышами 10, установленными между ребрами заготовки и верхними и нижними упорами 8,9, фиксируется между последними и зажимается в зажимах пресса.

При обтяжке заготовка с упругими вкладышами полностью прилегает к поверхности плоской оболочки и совместно принимает кривизну, задаваемую с

помощью сменных шаблонов 3, установленных на каркасе 1 с помощью фиксаторов 2.

При изгибе гофрированные листовые заполнители и листовые обшивки плоской упругой оболочки и упругих вкладышей перемещаются друг относительно друга.

После снятия усилия формообразования плоская упругая оболочка и упругие вкладыши принимают первоначальное положение.

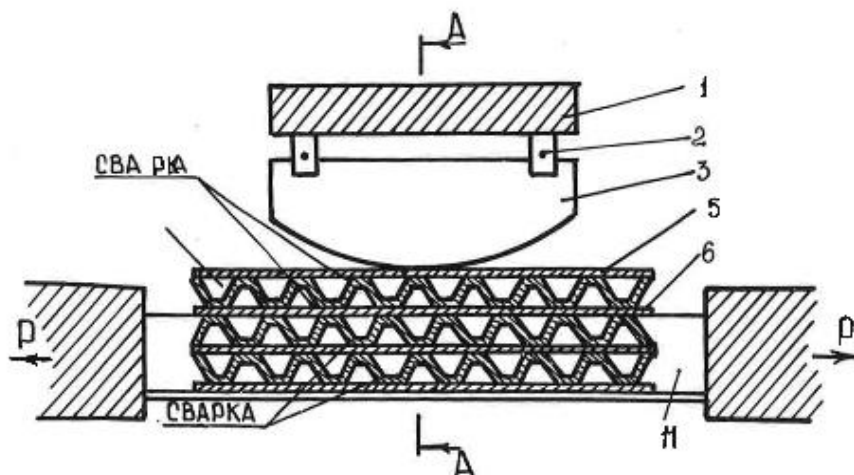


Рис. 34. Пуансон с панелью перед изгибом: 1- каркас; 2 – фиксаторы; 3- сменные шаблоны; 5,6 – листовые изгибы; 7 – гофрированный заполнитель; 11 – панель.

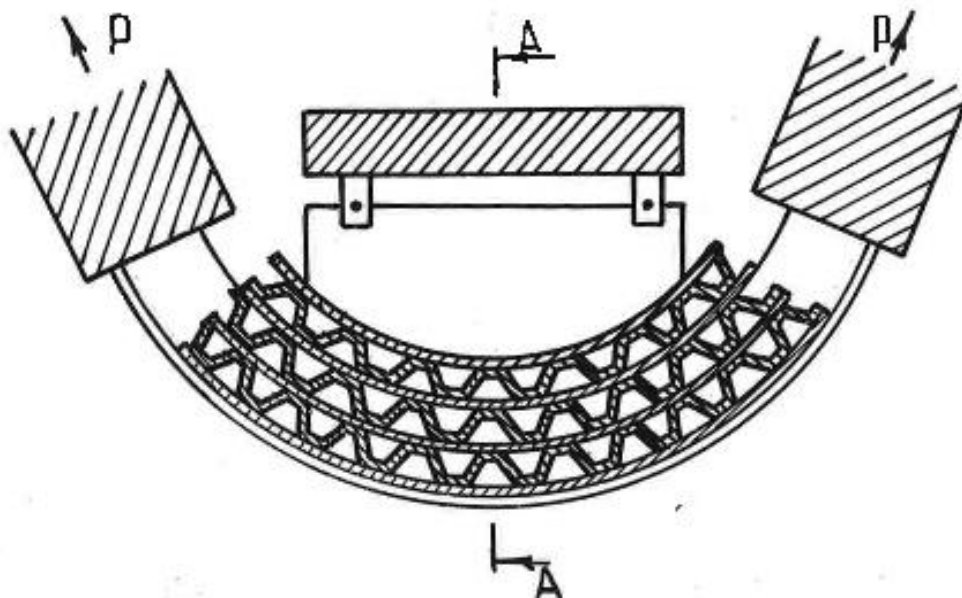


Рис. 35. Пуансон с панелью после изгиба

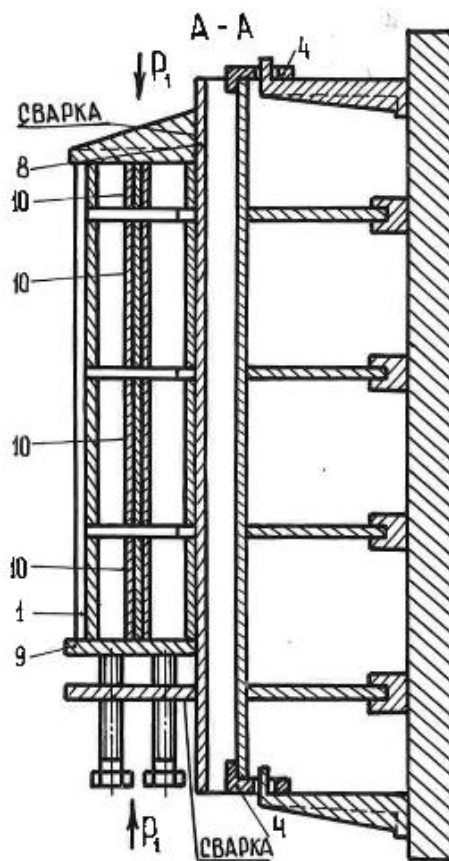


Рис. 36. Пуансон с панелью – сечение А-А: 1 – каркас; 4 – шарнирное соединение; 8 – упоры верхние; 9 – нижние упоры; 10 – упругие вкладыши

Пример: Пуансон опробован при формообразовании заготовки из материала АМГ-6, состоящей из обшивки толщиной 4 мм и ребер жесткости высотой 50 мм и толщиной 3,5 мм, расположенных с шагом 200 мм, по цилиндрическому пуансону диаметром 1200 мм. Плоская упругая оболочка и упругие вкладыши изготавливались из листовых обшивок толщиной 1,0 мм из титанового сплава ОТ4-1 и гофрированного листового заполнителя высотой 16 мм и шагом гофров 12 мм, толщиной 0,8 мм из титанового сплава ОТ4-1.

Максимальная величина удельного давления от панели составила

$$P = \frac{350 \times 7,5}{600} = 0,125 \text{ кг/мм}^2.$$

Из расчета прочности и жесткости плоской упругой оболочки расстояние между сменными шаблонами принято 100 мм.

Так как при изгибе гофрированные заполнители и листовые обшивки имеют относительное перемещение, остаточных деформаций при изгибе нет.

2.2.3 Универсальный пуансон для формовки обтяжкой с регулируемой рабочей поверхностью

Универсальный пуансон с регулируемой рабочей поверхностью представлен [13] на рисунке 37.

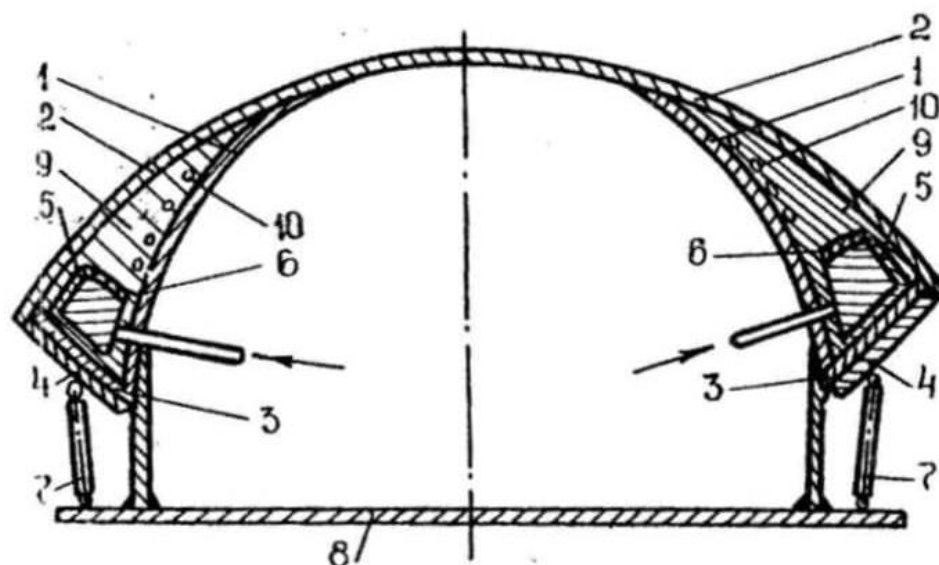


Рис. 37. Пуансон с регулируемой рабочей поверхностью: 1- корпус; 2 – упругая оболочка; 3 – направляющие; 4- стенки оболочки; 5 – металлические резервуары; 6 – эластичные диафрагмы; 7 – силовые элементы; 8 – основания пуансона; 9 – наполнитель; 10 – нагревательный элемент

Пуансон состоит из корпуса 1, с закрепленными на его вершине упругой оболочкой 2, направляющих 3, торцовых стенок оболочки 4, металлических резервуаров 5, эластичных диафрагм 6, силовых элементов регулируемых длины 7, шарнирно соединенных с основанием пуансона 8 и торцевыми стенками оболочки легкоплавкого накопителя 9, нагревательных элементов 10, установленных на корпусе.

Регулирование рабочей поверхности происходит следующим образом. Для придания упругой оболочке заданной геометрии включают нагревательные элементы 10, при этом легкоплавкий наполнитель 9 переходит в жидкое состояние. После этого на вершину пуансона устанавливают макет поверхности (шаблон) и в металлические резервуары 5 под давлением подают жидкость, при этом давление на легкоплавкий наполнитель передается посредством эластичной диафрагмы.

Посредством регулирования длины силовых элементов регулируемой длины достигается наилучшее прилегание упругой оболочки к макету, затем

нагреватели выключают и после застывания легкоплавкого наполнителя резервуары отключают от насоса.

Применение предлагаемого пуансона позволит в операциях обтяжки повысить точность получаемых деталей и снизить трудоемкость их изготовления в 3 раза за счет сокращения ручных доводочных работ. Проектирование поверхности обтяжного пуансона осуществляется по методике, приведенной выше.

3 СПОСОБЫ И СРЕДСТВА ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА ОБТЯЖКИ

Одной из задач внедрения технологических процессов формообразования на обтяжных прессах является уменьшение объема ручных доводочных работ при изготовлении слоистых оболочек сложной формы, имеющих большие коэффициенты обтяжки или образующие поверхности большой кривизны [14,15].

Для решения этих непростых задач были разработаны способы интенсификации процесса формообразования оболочек, дано их техническое обоснование и область применения. Интенсификация процесса обтяжки осуществлялась по следующим направлениям: повышение точности при уменьшении числа переходов и сокращении ручных доводочных работ, уменьшения складкообразования тонколистовых оболочек.

3.1 Способ уменьшения сил трения при обтяжке

Предложен способ, который обеспечивает повышение точности деталей за счет уменьшения вредного воздействия сил трения на заготовку со стороны пуансона и сокращение объема ручных доводочных работ. Заготовку предварительно растягивают. Затем её изгибают по пуансону с приложением дополнительного растяжения в процессе изгиба. Величину растяжения увеличивают в соответствии с расчетной зависимостью. После изгиба на требуемый угол прикладывают калибровочное растяжение.

Способ повышает точность изготовления деталей за счет уменьшения пружинения после снятия внешней нагрузки.

На рисунке 38 показана заготовка на i-м этапе деформирования, на рисунке 39 то же, в текущий момент деформации.

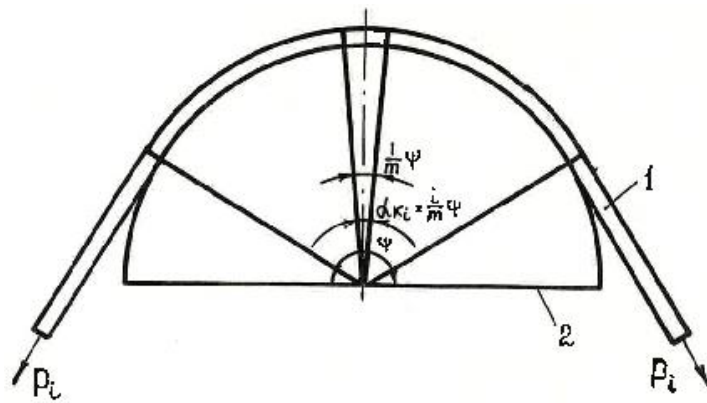


Рис. 38. Заготовка на i -м этапе деформирования:
1 – заготовка, 2 – пуансон

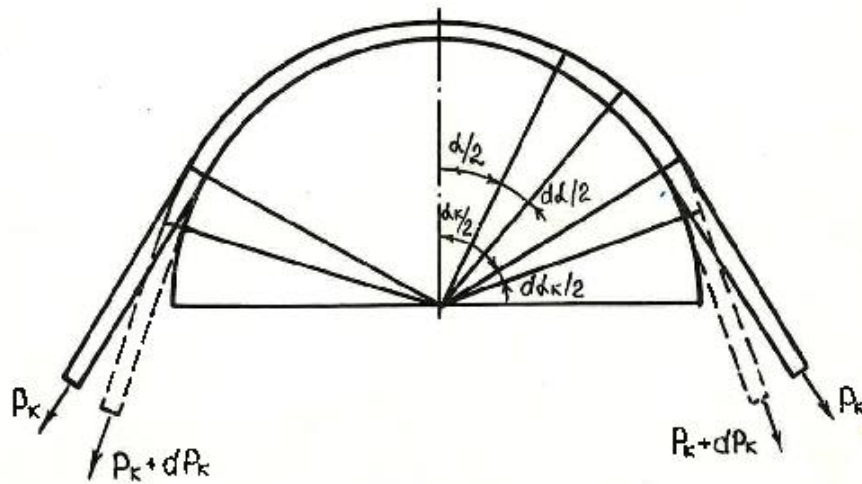


Рис. 39. Заготовка в текущий момент деформирования

Заготовку предварительно растягивают, а затем изгибают по пуансону 2 на требуемый угол с приложением дополнительного растяжения в процессе изгиба. После изгиба с приложением дополнительного растяжения её калибруют, при этом величину дополнительного растяжения определяют по зависимости

$$P_i = P_0 \left(1 + 1.01\mu \frac{\psi}{2m} \right), \quad (3.1)$$

где P_0 – усилие предварительного растяжения;
 μ – коэффициент трения;
 ψ – конечный угол изгиба;
 $2m$ – количество разбиений конечного угла изгиба.

Количество разбиений конечного угла изгиба будет равно

$$2m = \frac{\psi}{0,00436} = \frac{100}{0,00436} \frac{3,14}{180} = 400$$

Определяют изменения текущего значения, соответствующие изменению угла изгиба α на 10°

$$j = m \frac{\Delta\alpha}{\psi} = 200 \frac{10}{100} = 20.$$

Модуль линейного упрочнения материала определяют по формуле

$$\eta = \frac{\sigma_B - \sigma_T}{\varepsilon_B - \varepsilon_T} = \frac{(398 - 176) \cdot 10^6}{0,2 - 0,0034} = 1129 \text{ Мпа},$$

где σ_B, ε_B – значения напряжений и деформации предела прочности материала;
 σ_T, ε_T – значения напряжений и деформаций предела текучести материала.

Величину допустимого усилия с учетом предела деформации от изгиба профиля можно записать $i = \frac{\alpha_i \cdot m}{\psi}$ – текущее значение этапа деформирования, который определяется текущим углом изгиба α_i (i меняется от 1 до m).

В конце гибки дается дополнительное калибровочное растяжение, необходимое для вывода в пластическую область слоев сечений заготовки, находящихся на пуансоне. Величина окончательного усилия с учетом калибровочного растяжения определится по формуле

$$P = \left(P_0 + \frac{\eta S_0}{R} \right) \exp\left(\mu \frac{\psi}{2}\right), \quad (3.2)$$

где η – модуль линейного упрочнения материала;
 S_0 – статический момент сечения относительно его нижнего слоя;
 R – радиус кривизны нейтрального слоя загрузки.

Пример. Образец заготовки выполнен из материала АМг5М (уравнение кривой течения $\sigma = 550\varepsilon^{0,2}$ Мпа, $\sigma_T = 176$ Мпа, $\varepsilon_T = 0,0034$, $\sigma_B = 398$ МПа, $\varepsilon_B = 0,2$, $F_1 = 218 \cdot 10^{-6}$ м², $S_0 = 4369 \cdot 10^{-9}$ м²) необходимо изогнуть по пуансону радиуса $R = 4$ м на угол 100° . Усилие предварительного растяжения

$$P_0 = \sigma_T \cdot F = 176 \cdot 10^6 \cdot 218 \cdot 10^{-6} = 38368 \text{ Н};$$

$$\begin{aligned}
P_d &= \sigma_B \cdot F = K (\varepsilon_B - \varepsilon_T)^n \cdot F = K \left[\varepsilon_B - \frac{(h - h_{\text{цт}})}{R} \right]^n = \\
&= K \left[\varepsilon_B - \frac{h - \frac{S_0}{F}}{R} \right]^n \cdot F = 550 \cdot 10^6 \left[0.2 - \frac{40 \cdot 10^{-3} - \frac{4360 \cdot 10^{-9}}{218 \cdot 10^6}}{4} \right]^{0.2} \cdot 218 \cdot 10^{-6} = 86462 \text{ Н}
\end{aligned}$$

Первоначально заготовку растягивают усилием P_0 . Затем начинают гибку с одновременным увеличением растягивающего усилия по зависимости (3.1).

При достижении угла изгиба 10^0 ($t = j = 20$) усилие растяжения заготовки составляет $P = P_0(1 + 1.01\mu \frac{\psi}{m})^i = 38368(1 + 1.01 \cdot 0.00436)^{20} = 38878 \text{ Н}$:
при угле изгиба 20^0 ($t = 2j = 40$)

$$P = 38368(1 + 1.01 \cdot 0.15 \cdot 0.00436)^{40} = 39395 \text{ Н};$$

при угле изгиба 100^0 ($t = 10j = 200$)

$$P = 38368(1 + 1.01 \cdot 0.15 \cdot 0.00436)^{200} = 43784 \text{ Н}$$

Далее дается дополнительное калибровочное растяжение. Величина окончательного усилия составляет

$$\begin{aligned}
P &= \left(P_0 + \eta \frac{S_0}{R} \right) \exp \left(\mu \frac{\psi}{2} \right) = 38368 + 1129 \cdot 10^6 \cdot 4360 \cdot \frac{10^{-9}}{4} * \\
&* 0,15 \frac{100}{2} \cdot \frac{3,14}{180} = 45136 P_y = 86462 \text{ Н}
\end{aligned}$$

Приведенный способ можно использовать при формообразовании оболочек, ребристых панелей и профилей.

Технико-экономическая эффективность от использования предлагаемого способа заключается в повышении точности изготовления деталей за счет уменьшения пружинения заготовки после снятия внешней нагрузки и в сокращении объема ручных доводочных работ.

3.2 Средства интенсификации процесса обтяжки

Повышение точности процесса обтяжки осуществлялась за счет выравнивания деформаций по площади обшивки путем применения различных технологических средств, изменяющих форму припуска заготовки. Так, при обтяжке обшивок сложной геометрической формы обеспечивается соответствие контуров клюва зажимов и заготовки в конечный момент обтяжки

благодаря применению специальных жестких прокладок, устанавливаемых между формовочным носком зажимов и обтягиваемым пуансоном (рис.40).

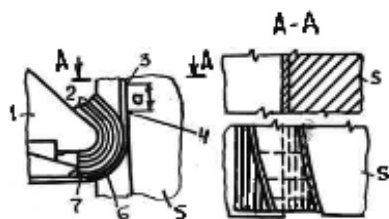


Рис. 40. Схема установки жестких прокладок выравнивания контура пуансона

Прокладки дополняют прямолинейный контур формовочного носка до контура детали, создавая равномерный прижим заготовки к пуансону за контуром среза детали. в качестве материала для прокладок следует использовать резиновые и резинотканевые пластины повышенной твердости или полиуретан. Для получения плавного контура прокладок целесообразно наружную прокладку изготавливать из мягкой резины.

Уменьшение числа переходов достигается с помощью специального выравнивающего устройства, которое устанавливается на контроформовки прессы. Устройство состоит из сварного корпуса, в паз которого устанавливается профилированная вставка из древесного волокнистого пластика или алюминия. Контур вставки выбирается таким, чтобы вызываемое ею изменение формы технологического припуска заготовки обеспечивало выполнения условия $L_{max} + \Delta L_{min} = L_i + \Delta L_i$, где L_{max} – наибольшая длина обшивки; ΔL_{min} – минимальный припуск заготовки; L_i – длина обшивки в i -м сечении; ΔL_i – припуск заготовки в i -м сечении. Применение профилированных вставок позволяет снизить необходимую величину максимальной деформации для обтяжки обшивки, а следовательно, сократить число переходов.

Отработан технологический процесс с наклонным и горизонтальным расположением вставок (рис.41).

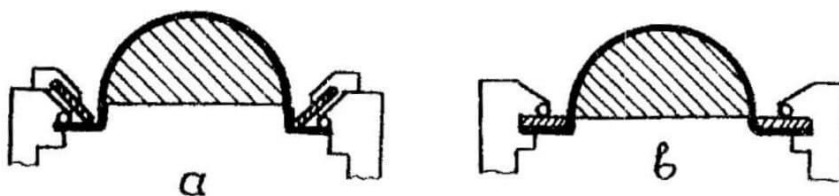


Рис. 41. Закрепление вставок в устройствах:
 а – для выравнивания деформации;
 в – непосредственно в зажимных губках.

В первом случае (а) вставки закрепляются в устройстве для выравнивания деформаций, во втором (в) – непосредственно в зажимных губках. Наклонное расположение вставок целесообразно применять для деталей, имеющих большой коэффициент обтяжки при значительной кривизне верхней образующей поверхности пуансона. Если пуансон имеет образующую наибольшей кривизны со стороны зажимов, используют, как правило, горизонтальное расположение вставок. Конструктор вставок при этом должен соответствовать контуру пуансона со стороны зажимов. Проведенные исследования показали, что применение вставок обеспечивает выравнивание деформаций по площади обшивок и точность прилегания обшивок к пуансону.

Главной причиной складкообразования при обтяжке тонколистовых обшивок, имеющих участки со значительной двойной кривизной, сопряженные с пологими участками, являются сжимающие напряжения при малой изгибной жесткости пологих участков заготовки. Для их предотвращения необходимо выделить стадию формообразования, на которой они приводят к складкообразованию, и повысить на этой стадии устойчивость участков заготовки, расположенных против пологих участков пуансона (увеличить изгибную жесткость), а также уменьшить деформации сжатия заготовки за счет повышения коэффициента трения и удельного давления. Наибольшую величину сжимающие напряжения имеют при наиболее равномерном по ширине заготовки растяжении, т.е. на стадии формообразования участков обшивки с большой двойной кривизной.

Данный способ реализуется следующим образом. Листовую заготовку обтягивают на стадии предварительного формообразования по пуансону с установленными на нем вставками, увеличивающими кривизну пологих участков детали. Кривизну вставок определяют по расчетной зависимости. Предварительную обтяжку заготовки осуществляют до деформаций удлинения, соответствующих заданной геометрической форме детали. Затем производят термообработку и окончательное формообразование обтяжной заготовки по пуансону без вставок, имеющему форму готовой детали. При этом устраняется складкообразование.

На рисунке 42 схематично изображена листовая заготовка, обтягиваемая на предварительной стадии по пуансону. На рисунке 43 то же, на стадии окончательного формообразования.

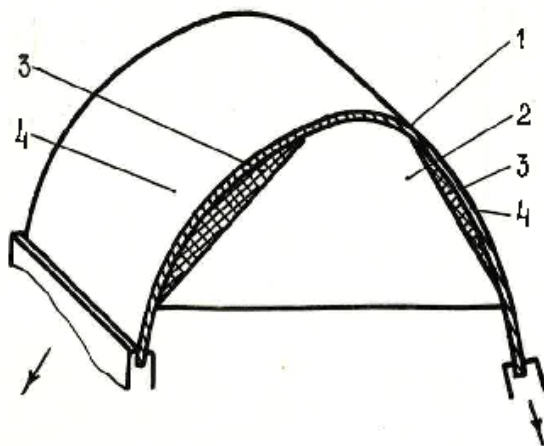


Рис. 42.Предварительная стадия обтяжки заготовки:
 1 – заготовка; 2 – пуансон; 3 – вставки;
 4 – участки заготовки с увеличенной кривизной

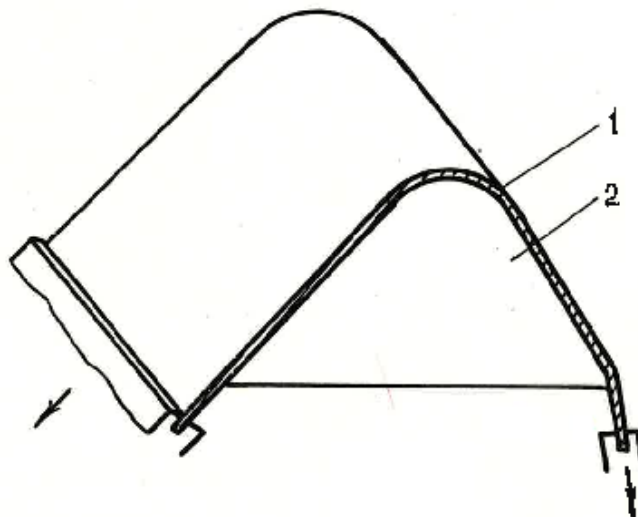


Рис. 43.Стадия окончательного формообразования:
 1 – заготовка; 2 – пуансон

Листовую заготовку 1 обтягивают на предварительной стадии по пуансону 2 со вставками 3, увеличивающими крутизну участков 4 заготовки, соответствующих пологим участкам детали.

Предварительную обтяжку заготовки 1 осуществляют до деформаций удлинения, соответствующих заданной геометрической форме детали. затем осуществляют закладку детали и производят окончательное формообразование обтяжкой заготовки по пуансону без вставок, имеющему форму готовой детали. Кривизну «К» вставок 3 в направлении обтяжки определяют по зависимости:

$$K = \frac{q_{\text{пр}} \cdot \mu}{t \cdot \sigma_{02}}, \quad (3.3)$$

где $q_{\text{пр}}$ – необходимое удельное давление прижима фланца заготовки при вытяжке из того же материала, что и обтягиваемая деталь;
 t – толщина заготовки;
 σ_{02} – предел текучести материала заготовки;
 μ – коэффициент, учитывающий различие схем напряженно-деформированного состояния обтяжки и вытяжки;
 $\mu = 0,09 - 0,1$.

Пример осуществления способа.

На обтяжном прессе обтягивают тонколистовые детали двойной кривизны с пологими участками из материала Д16АМ толщиной 0,8 мм.

Радиус поперечной кривизны составляет 300 мм, продольной – 11000 мм, ширина заготовки 1200 мм.

Устанавливают пуансон на стол пресса и фиксируют заготовку в зажимах пресса. На пологий участок пуансона устанавливают вставку с кривизной, определяемой по зависимости

$$K = \frac{q_{\text{пр}} \cdot \mu}{t \cdot \sigma_{02}},$$

где $q_{\text{пр}} = 0,12$; $t = 0,8$ мм; $\sigma_{02} = 11$ кг/мм²; $\mu = 0,1$. Тогда величина $K = 0,00138$.

Осуществляют предварительную обтяжку до деформаций, соответствующих в минимальном сечении на вершине пуансона значения, равного σ_{02} . При этом деформации удлинения примерно соответствуют заданной геометрической форме детали.

Закаливают заготовку и производят окончательное формообразование обтяжкой по пуансону без вставки, имеющему форму детали.

Предлагаемый способ повышает качество получаемых деталей за счет устранения складкообразования пологих участков и повышает производительность в 2 раза.

3.3 Формообразование обшивок изменением наклона пуансона

Одним из факторов, существенно снижающих технологические возможности процесса обтяжки, является неравномерность распределения деформаций по углу охвата заготовкой пуансона. Одна из причин – негативное влияние трения между пуансоном и заготовкой. Поэтому для интенсификации процесса обтяжки было разработано формообразование обшивок с изменением наклона пуансона относительно заготовки на прессах с ЧПУ и FEKD [16].

При формообразовании предложенным способом (рис.44) обеспечивается растяжение заготовки 2 последовательно в каждом поперечном сечении до пластических деформаций, распределенных по его длине, согласно зависимости

$$\varepsilon_{imax} - \varepsilon_{imin} \leq \varepsilon_T \left[\exp\left(\frac{\mu\varphi_i}{n}\right) - 1 \right] \quad (3.4)$$

- где $\varepsilon_{imax}, \varepsilon_{imin}$ – наибольшая и наименьшая относительные деформации заготовок в i -м поперечном сечении;
- ε_T – деформация, соответствующая пределу текучести материала заготовки;
- μ – коэффициент трения;
- φ_i – угол охвата заготовкой пуансона в i -м поперечном сечении от вершины до схода пуансона;
- n – показатель упрочнения заготовки.

Заготовку изгибают в поперечном направлении и растягивают по пуансону 3 до распределения деформаций по зависимости (3.3) в i -м поперечном сечении. Затем пуансон опускают и изменяют его угол наклона. Подъемом пуансона растягивают $(\tau + 1)$ -е поперечное сечение заготовки до тех пор, пока деформации в нем будут соответствовать зависимости (3.3), и т.д. до придания заготовке формы детали, контур верхней продольной образующей которой определяется на вершине шаблоном.

Обтяжка листовых деталей с постоянным углом наклона стола в процессе формообразования характеризуется неравномерным распределением деформаций заготовки по углу охвата пуансона (Рис. 45).

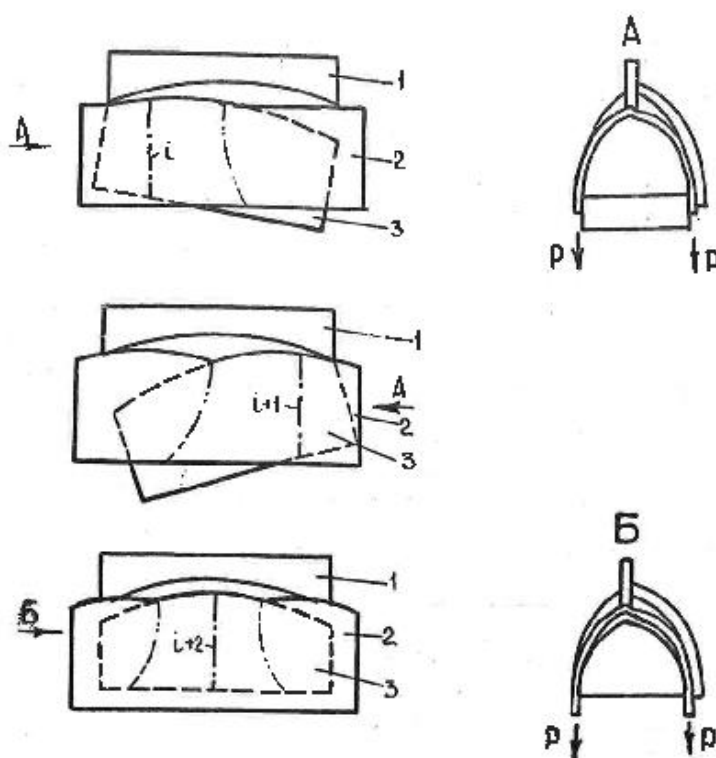


Рис. 44. Последовательное растяжение заготовки: 1 - заготовка; 2 - пуансон; 3 – шаблон

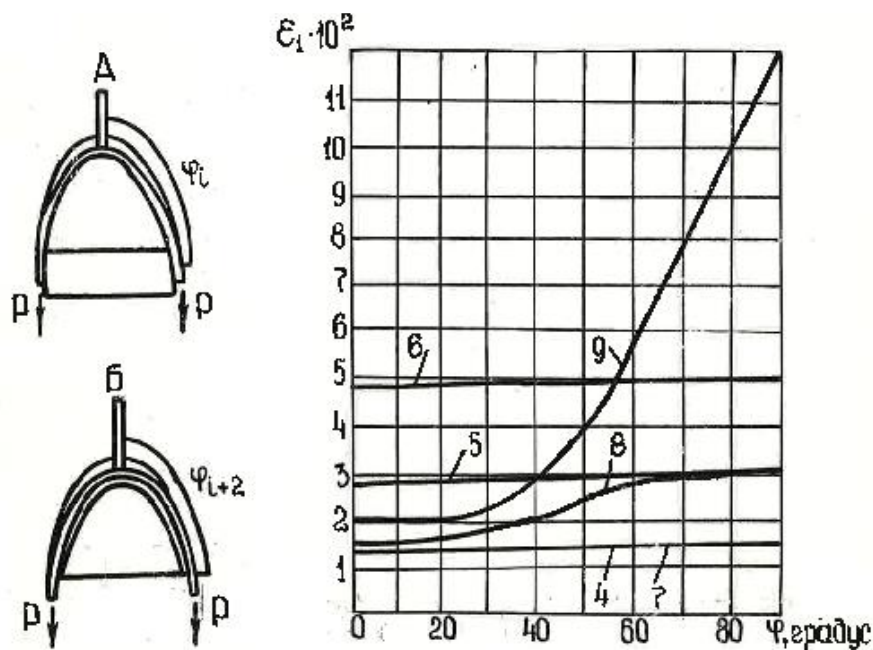


Рис. 45. Эпюры распределения деформаций заготовки в поперечном сечении пуансона с наибольшей длиной

Эпюры 4-6 распределения деформаций (рис. 45) характеризуют соответственно деформации на начальной стадии предлагаемого способа, на промежуточной стадии и в конце формообразования в i -м сечении заготовки. Эпюры 7-9 распределения деформаций характеризуют соответственно деформации на начальной стадии формообразования известным способом, на промежуточной стадии и в конце формообразования.

Как видно, наиболее равномерное распределение деформаций при формообразовании деталей двойной кривизны с выпуклой продольной образующей имеет место на начальной стадии формообразования. При этом заготовка контактирует с пуансоном частью её ширины.

Создание аналогичных начальным условиям формообразования на протяжении всего процесса обтяжки позволяет повысить равномерность деформирования в направлении растяжек заготовки. Этот принцип реализуется при обтяжке с изменением угла наклона пуансона по отношению к заготовке. Показатель, называемый геометрическим коэффициентом обтяжки и характеризующий степень деформации металла в наиболее опасном сечении заготовки в конце обтяжки, при условии равномерности деформаций в этом сечении определяется выражением

$$K_r = 1 + l_n \left(\frac{L_{max}}{L_0} \right), \quad (3.5)$$

где L_{max}, L_0 — длина заготовки между зажимами в наиболее растянутом сечении после и до обтяжки.

Показатель, называемый коэффициентом обтяжки, определяется по формуле

$$K_{\text{обт}} = 1 + l_y, \quad (3.6)$$

где l_y – относительная деформация растяжения в направлении приложения растягивающего усилия в наиболее растянутом сечении заготовки после обтяжки.

При обтяжке по пуансону с постоянным углом его расположения относительно заготовки деформации распределяется в направлении растяжения неравномерно из-за влияния таких факторов, как трение заготовки о пуансон, перераспределение деформаций по ширине заготовки и др. Вследствие этого $K_{\text{обт}} > K_r$. При обтяжке с переменным углом наклона пуансона относительно заготовки распределение деформации происходит более равномерно $K_{\text{обт}} \rightarrow K_r$. В зависимости от геометрии детали и других факторов число ступеней и величина наклона пуансона относительно заготовки могут быть различными, и подбор оптимальных величин позволяет значительно интенсифицировать процесс обтяжки.

Пример. На обтяжном прессе «Луар» с числовым программным управлением производят обтяжку детали двояковыпуклой формы из материала Д16АМ толщиной 1,2 мм. Радиус кривизны на вершине пуансона составляет 2400 мм, а на сходе 11000 мм. Величина припуска заготовки между прямолинейными зажимными губками и пуансоном 50 мм, а ширина заготовки 1500 мм. Угол облегания заготовкой пуансона $2\varphi_i = \pi$. Устанавливают пуансон в положение, при котором хорда верхней образующей его поверхности параллельна верхней образующей заготовки. Подъемом пуансона растягивают заготовку до деформации на вершине пуансона, равной ε_{02} деформации, соответствующей условному пределу текучести материала. Замеряют деформацию на сходе пуансона. Деформация заготовки на сходе пуансона меньше деформации заготовки на вершине пуансона. Постепенным подъемом пуансона и замером деформации на вершине и сходе заготовки с пуансона добиваются равенства деформаций заготовки на сходе пуансона и вершине при $\varepsilon_i = 0,015$. При этом ширина зоны прилегания заготовки на сходе пуансона составляет $b = 300 \text{ мм} < B = 1500 \text{ мм}$.

Опускают пуансон и изменяют угол его наклона наклоном стола пресса в продольном направлении. Подъемом стола пресса растягивают заготовку в другом поперечном сечении до значений деформаций заготовки на вершине пуансона, равных 0,015, при этом деформация заготовки на сходе пуансона в $(i + 1)$ -м сечении равна её деформации на вершине пуансона. Заготовка i -м сечении не растягивается, так как в результате изменения угла наклона пуансон в этом сечении не доходит до растянутой заготовки. В той же последовательности производят формообразование заготовки по всей её ширине, при этом в поперечных сечениях заготовки, близких к минимальным, её растяжение ограничивается контуром шаблона верхнего продольного

сечения детали, устанавливаемого на заготовку. После формообразования заготовки по всей ширине производят её вторичное растяжение в i -м сечении и т.д. Распределение деформаций по длине заготовки в направлении её растяжения представляет после её формообразования прямую линию, что соответствует полному использованию пластичности материала по всей длине заготовки. На основании отработанного графика перемещения рабочих органов пресса составляется программа для работы пресса в режиме с числовым программным управлением.

Предлагаемый способ повышает равномерность деформаций путем снижения влияния трения и тем самым повышает технологические возможности формообразования деталей двойной кривизны с выпуклой верхней продольной образующей на 30-50 %.

4. КАЛИБРОВКА ОСЕСИМЕТРИЧНЫХ ОБОЛОЧЕК ПРУЖИНЫМ ПУАНСОНОМ

Формообразование тонколистовых деталей типа оболочек из высокопрочных сталей и сплавов с обеспечением заданной точности представляет для производства одну из сложнейших проблем.

Проведены теоретические и экспериментальные исследования формообразования оболочек пружинным пуансоном. При этом определяли силовые параметры, характеризующие технологические возможности процесса.

4.1 Расчет усилия формообразования оболочки

Рассмотрим процесс калибровки конической оболочки пружинным пуансоном (рис.46).

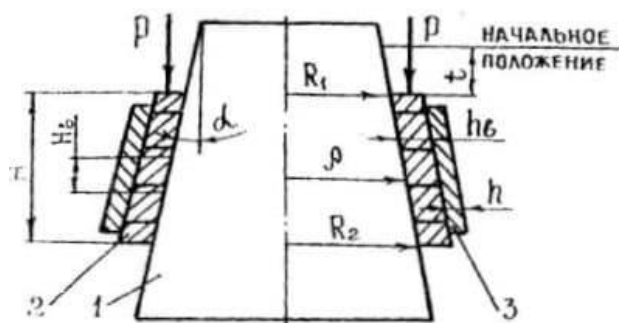


Рис. 46. Формообразование конической оболочки: 1 – конус; 2 – пуансон; 3 – оболочка.

Усилие формообразования определяем по формуле

$$P = P_q + P_{T1} + P_{T2} + P_{T3} + P_{\Pi} \quad (4.1)$$

где P_q – усилие калибровки оболочки 3;
 P_{T1}, P_{T2}, P_{T3} – усилия на преодоление сил трения между пуансоном 2 и конусом 1, витками пуансона и поверхностями конуса и детали, между витками пуансона;
 P_{Π} – усилие для изгиба витков пружинного пуансона.

Усилие P_q определяем интегрированием по площади контакта пуансона и конуса

$$P_q = \int_S \rho \sin \alpha ds \quad (4.2)$$

где $q = \sigma_{\varphi} h / (p \cos \alpha)$ – давление на поверхности конуса со стороны пуансона;
 σ_{φ} – окружное напряжение в заготовке;
 h – толщина оболочки;
 α – угол наклона конуса;
 ρ – текущее значение радиуса конуса.

$$dS = \int_{\varphi} \int_z \frac{\sigma_{\varphi} h \operatorname{tg} \alpha}{\cos \alpha} dz d\varphi, \quad (4.3)$$

где z, φ – вертикальная и угловая координаты.
 Принимаем степенной закон упрочнения материала

$$\sigma_{\varphi} = K \varepsilon_{\varphi}^n$$

где $\varepsilon_{\varphi} = \Delta \rho / (\rho + h_{\delta} + 0,5h)$ – деформация в окружном направлении;
 $\Delta \rho = \rho - \rho_0$ – увеличение радиуса в процессе деформирования;
 ρ_0 – радиус в начальном положении.
 В результате получаем формулу

$$\frac{2\pi h K (\Delta \rho)^n \operatorname{tg} \alpha [(R^2 + h_{\delta} + 0,5h)^{1-n} (R_1 + h_{\delta} + 0,5h)^{1-n}]}{(R_2 - R_1)(1-n) \cos \alpha}, \quad (4.4)$$

где H – высота пуансона;
 R_2, R_1 – максимальный и минимальный радиусы конуса внутренней поверхности пуансона.

Усилие P_{T1} определяем аналогично

$$P_{T1} = \int_S q \mu \cos \alpha dS, \quad (4.5)$$

где μ – коэффициент трения между пуансоном и конусом.

После преобразования получим

$$\frac{2\pi h n K (\Delta\rho)^n [(R^2 + h_8 + 0,5h)^{1-n} - (R_1 + h_8 + 0,5h)^{1-n}]}{(R_2 - R_1)(1-n)}. \quad (4.6)$$

Усилие находим по формуле

$$P_{T2} = 2A_{T2}/t, \quad (4.7)$$

где $2A_{T2}$ – работа сил трения между витками пуансона и поверхностями конуса и детали в течение рабочего хода пуансона.

Считаем, что работа на преодоление сил трения, действующих на элементарный участок витка пуансона

$$A_{T2} = dF_{T2} \Delta l, \quad (4.8)$$

где $dF_{T2} = \mu q_8(\varphi) dS_8$ – сила трения, действующая на элементарный участок витка площадью $dS_8 = H_8 \rho_8(\varphi) d\varphi$;

H_8 – высота витка;

$\rho_8(\varphi)$ – радиус средней линии витков их внутренней поверхности;

$q_8(\varphi)$ – давление витка на конус по линии, определяемой $\rho_8(\varphi)$;

$\Delta l = \psi_0(\varphi) - \psi(\varphi)$ – перемещение элементарного участка витка пуансона;

$\psi_0(\varphi), \psi(\varphi)$ – функции длины витков в начальный и конечный моменты перемещения пуансона.

При расчете спираль, по которой изготовлены витки пуансона, разбиваются на равные части. В точке разбиения принимаем $\Delta l = 0$. Общую величину вычисляем интегрированием вдоль спирали

$$A_{T2} = \int_{\varphi} \mu_1 \rho_8(\varphi) H_8 q_8(\varphi) [\psi_0(\varphi) - \psi(\varphi)] d\varphi. \quad (4.9)$$

Интеграл определяем численным способом.

При расчетах для спирали с постоянным шагом, у которой $H_8 = const$ используем зависимость

$$(4.10)$$

$$\rho_{\text{в}}(\varphi) = \rho_{\text{н}} + \frac{H_{\text{в}} t g \varphi}{2\pi} \varphi,$$

где $\rho_{\text{н}}$ – радиус в начале спирали.

При работе кривизна витков пуансона изменяется. Необходимое для этого усилие рассчитывается по формуле

$$P_{\text{п}} = \Pi_{\text{п}}/t, \quad (4.11)$$

где $\Pi_{\text{п}}$ – потенциальная энергия изгиба витков пуансона при его перемещении на величину рабочего хода t .

Приращение потенциальной энергии находим по формуле

$$\Pi_{\text{п}} = \frac{M_{\text{п}} \Delta \rho}{2 [\rho_{\text{в}}(\varphi) - \Delta \rho + 0,5 h_{\text{в}}]} d\varphi, \quad (4.12)$$

где $M_{\text{п}}$ – величина изгибающего момента.

$$M_{\text{п}} = \left(\frac{I}{\rho_{\text{в}}(\varphi)} + 0,5 h_{\text{в}} \right) - \frac{I}{\rho(\varphi) - \Delta \rho + 0,5 h_{\text{в}}}) EJ,$$

После преобразования получим

$$\Pi_{\text{п}} = \frac{EJ \Delta \rho^2}{2} \int_{\varphi} \frac{1}{(\rho_{\text{в}}(\varphi) - \Delta \rho + 0,5 h_{\text{в}})^2} d\varphi. \quad (4.13)$$

Усилие $P_{\text{т3}}$ определим по формуле

$$P_{\text{т3}} = A_{\text{т3}}/t, \quad (4.14)$$

где $A_{\text{т3}} = \sum_{i=1}^m A_{\text{т3}i}$ – работа сил трения между витками пуансона при его перемещении на величину рабочего хода;

m – число витков;

$$A_{\text{т3}} = \mu_2 N_i \Delta l_{\text{отн}i}$$

где μ_2 – коэффициент трения между витками;

$\Delta l_{\text{отн}} = 2\pi \Delta \rho$ – относительное смещение i и $i - 1$ витков;

N_i – прижимающая сила между i и $i - 1$ витками, определяемая по формуле

$$N_i = (P_q + P_{\text{т1}} + P_{\text{т2}} + P) \frac{m-i-1}{m}. \quad (4.15)$$

Установив усилия формообразования, переходим к расчету деформаций и напряжений в витках пружинного пуансона.

Представляем спиралевидный виток как разрезанное кольцо и рассчитываем его как брус мало кривизны при чистом изгибе.

Максимальная деформация пружинного пуансона

$$\varepsilon_{max} = \frac{h_B \Delta \rho}{2(\rho_0 + 0,5h_B)(\rho + 0,5h_B)}, \quad (4.16)$$

где h_B – толщина витка

Максимальное напряжение $\sigma_{max} = E\varepsilon_{max}$. Для работоспособности пуансона необходимо выполнение условия $\sigma_{max} < \sigma_T$.

Деформирование заготовок пружинным пуансоном проводим на экспериментальном устройстве (рис. 47): слева от оси – исходное положение, справа – конец деформирования.

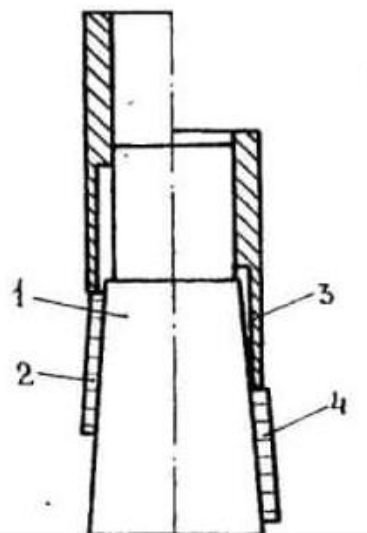


Рис. 47. Деформирование заготовки пружинным пуансоном

Устройство состоит из корпуса 1, пружинного пуансона 2, нажимной втулки 3. Заготовку 4 устанавливают на пружинном пуансоне. При приложении осевого усилия к нажимной втулке пружинный пуансон вместе с заготовкой перемещается по конусу. При этом витки пуансона, плотно облекая конус и контактируя друг с другом, раскручиваются, их диаметр увеличивается в области упругих деформаций, заготовка деформируется

4.2 Экспериментальные исследования

Для проведения экспериментальных исследований были изготовлены пружинные пуансоны с конической, выпуклой и вогнутой формами наружной поверхности. Основные геометрические параметры приведены в таблице 4.

Основные геометрические параметры пружинного пуансона

Параметры пружинного пуансона	Форма наружной поверхности		
	Коническая	Выпуклая	Вогнутая
Число витков	7	7	7
Угол наклона конуса	5°42'36"	5°42'36"	5°42'36"
Мин. внутренний радиус R_1 , мм	24	24	24
Макс. внутренний радиус R_2 , мм	29	29	29
Высота Н, мм	50	50	50
Наиб. деформация заготовки, ϵ_{max} , %	6,9	6	6,9
Наиб. деформация пружинного пуансона ϵ_{max} , %	0,4	0,46	0,4
Рабочий ход t , мм	20	20	20

Формообразование заготовок конической формы осуществляем на испытательной машине с записью диаграммы деформирования усилие-ход (рис. 48).

Были определены усилие деформирования, необходимое для деформирования пружинных пуансонов без заготовки и с заготовкой, максимально допустимая степень деформирования пружинного пуансона в области упругих деформаций, а также изучены конструктивные и технологические требования к пружинному пуансону. проведенные исследования подтверждают удовлетворительную сходимость теоретических и экспериментальных данных.

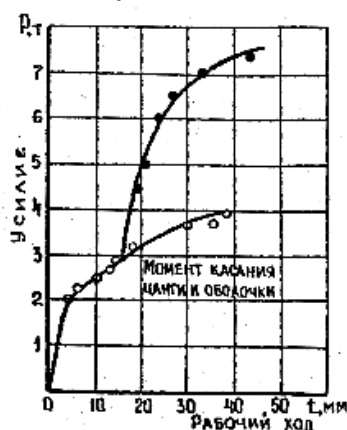


Рис. 48. Диаграмма усилий деформирования

Формообразование пружины пуансоном позволяет получить детали с углом конусности до 20° (При больших углах возможно соскальзывание оболочки пуансона). Этим способом можно обрабатывать детали диаметром до

1500 мм цилиндрической, конической форм и двойной кривизны. Максимальная деформация заготовки ограничена возможностью работы материала пуансона лишь в упругой области и не превышает 10%.

Точность получаемых деталей высока, так как пружинение, изменение размеров после снятия штампа в результате упругих деформаций разгрузки можно концентрировать дополнительным перемещением пружинного пуансона 2 вниз по конусу (см. рис. 47). Материал деталей может быть самый разнообразный - сталь 12X18H10T, сплавы АМГА-М, ОТ4-1.

4.3 Проектирование пружинного пуансона

Проектирование пружинного пуансона проводится следующим образом. По имеющемуся чертежу детали выбирают форму, размеры заготовки и величину деформации формообразования. Затем подбирают угол уклона пружинного пуансона (рекомендуется $\alpha=2-10^\circ$), необходимый рабочий ход пружинного пуансона для получения выбранной величины деформации заготовки, минимальную величину его витков с учетом недопустимости их пластической деформации. Эти величины должны быть строго взаимосвязаны. Общая высота пружинного пуансона должна соответствовать или быть несколько больше высоты заготовки, а число витков его должно зависеть от выбираемого угла их подъема, который рекомендуется от 5 до 30°. В качестве материалов для изготовления пружинных пуансонов рекомендуются пружинные высокопрочные стали и различные сплавы с высоким пределом прочности (пределом текучести) и желательны с минимальным модулем упругости. Это пружинные стали 50ХФА, 65Г, 60С2А. Далее необходимо рассчитать усилие, необходимое для деформирования заготовки.

Выбор оборудования осуществляют по величине общего осевого усилия деформирования и рабочего хода пуансона.

Предлагаемый инструмент применяется для формообразования и калибровки тонколистовых оболочек. При его использовании практически отсутствуют зазоры между витками пуансона, что обеспечивает высокое качество поверхности формируемой детали.

5 ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ОБОЛОЧЕК

С целью расширения технологических возможностей процесса формообразования оболочек разработано устройство, уменьшающее трение между витками пружины и оправки[17].

На рисунке 48 схематично изображено устройство калибровки оболочек. На рисунке 2 – место контакта верхнего конца витков цанги с криволинейным пазом конической оправки, разрез.

Устройство для калибровки оболочек содержит оправку 1 с цилиндрической и конической поверхностями, на которых установлены втулка 2 и цанга 3. Последняя выполнена в виде пружины из плотно навитых витков прямоугольного сечения.

Концы витков цанги подвижно контактируют с криволинейными пазами 4, выполненными по винтовой линии на конической поверхности оправки 1. На цанге 3 установлена заготовка 5.

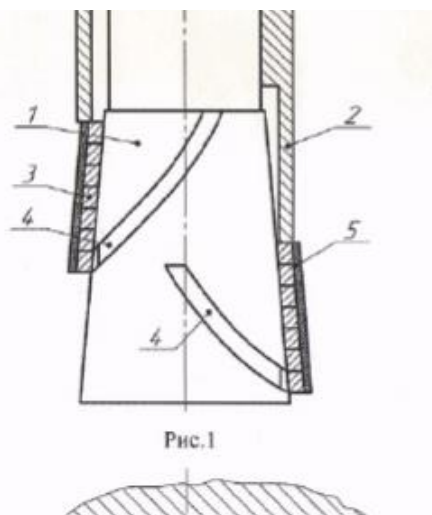


Рис. 48. Схема устройства калибровки оболочек

Устройство работает следующим образом.

Заготовка 5 устанавливается на цангу 3. К втулке 2 прикладывается осевое усилие. Под давлением втулки цанга перемещается по конической части оправки 1. При этом концы витков цанги движутся по криволинейным пазам 4, расположенным на оправке.

Витки цанги выполнены достаточно упругими. При перемещении по конической оправке они изгибаются и скользят один относительно другого. Радиус их увеличивается, и происходит деформация заготовки. Витки остаются прижатыми один к другому и не образуют зазоров.

Стенки криволинейных лазов, воздействуя на концы верхнего и нижнего витков цанги, создают усилия, способствующие изгибу витков и увеличению их радиуса изгиба.

Это уменьшает контактные силы давления между конусом и цангой и соответственно силы трения, что облегчает перемещение цанги по оправке, устраняет рывки, уменьшает требуемое рабочее усилие на втулке.

В результате расширяются технологические возможности устройства.

Форма криволинейных лазов на конусе выбрана такой, чтобы облегчить усилие на выступы концов цанги и одновременно не допустить потери контакта её витков с конусом.

Внешняя поверхность цанги обработана в разжатом состоянии по размерам готовой детали. После достижения ею крайнего положения

формообразование заканчивается. Усилие с втулки снимается. Цанга возвращается в начальное положение, сжимается, приобретая первоначальные размеры. Готовая деталь снимается с устройства.

В качестве материала для пружинной цанги рекомендуется применять пружинные высокопрочные материалы с высоким пределом текучести и малым модулем упругости первого рода.

Устройство для калибровки оболочек опробовано при раздаче цилиндрических сварных заготовок диаметром 1170 мм из стали 12Х18Н10Т. В конце операции получают конические детали с диаметром оснований 1171 и 1187,7 мм высотой 212 мм.

Толщина материала заготовки 1 мм. Цанга состоит из 6 витков прямоугольного сечения 40×20 мм из закаленной стали 30ХГСА. Высота конуса 241 мм, угол при вершине конуса 10°.

На конусе выполнены два криволинейных паза глубиной 300 мм и шириной 30 мм. Рабочий ход цанги по конусу 100 мм.

В качестве оборудования используют гидравлический пресс с усилием прессования 42 т. Максимальная деформация материала заготовки в окружном направлении 1,5 %. Для уменьшения сил трения на поверхность конуса и паза наносят смазку.

Применение устройства позволит уменьшить трение между витками цанги и конической оправкой, снизить потребное рабочее усилие в 1,3-1,5 раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные в учебном пособии конструктивные решения оснастки, результаты исследований по реализации разработок, позволяют повысить качество получаемых деталей для производства летательных аппаратов.

Наличие в учебном пособии оригинальных решений оснастки и подходов к вопросам её проектирования обеспечивают возможность студентам, аспирантам и практическим работникам расширить поле исследований для создания новых изделий авиационной техники.

Большинство приведенных в учебном пособии разработок оснастки, а также способов повышения качества процессов изготовления деталей летательных аппаратов реализованы на предприятиях авиационной промышленности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Содержание

Введение	4
1 Выбор материалов и параметров заготовок для формообразования слоистых оболочек	5
2 Выбор материалов и проектирование обтяжных пуансонов	11
2.1 Проектирование пуансонов монолитной конструкции.....	11
2.1.1 Проектирование обтяжного пуансона для глубокой обтяжки.....	16
2.1.2 Способ построения поверхности обтяжного пуансона.....	18
2.1.3 Конструктивные особенности и технология изготовления универсальных обтяжных пуансонов двойной кривизны с накладкой из плоской заготовки	22
2.1.4 Конструктивные особенности и технология изготовления универсальных обтяжных пуансонов двойной кривизны с криволинейной накладкой.....	24
2.2 Проектирование пуансонов универсальной конструкции	30
2.2.1 Универсальный пуансон для формовки обтяжкой оболочек одинарной кривизны.....	36
2.2.2 Универсальный пуансон для формовки обтяжкой ребристых панелей	39
2.2.3 Универсальный пуансон для формовки обтяжкой с регулируемой рабочей поверхностью	42
3 Способы и средства интенсификации процесса обтяжки	43
3.1 Способ уменьшения сил трения при обтяжке	43
3.2 Средства интенсификации процесса обтяжки	46
3.3 Формообразование обшивок изменением наклона пуансона.....	50
4 Калибровка осесимметричных оболочек пружины пуансоном.....	54
4.1 Расчет усилия формообразования оболочки	54
4.2 Экспериментальные исследования.....	58
4.3 Проектирование пружинного пуансона.....	60
5 Практическая реализация процесса формообразования осесимметричных оболочек	60