

УДК 621.4

СПОСОБ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ УСЕЧЕННОЙ СУЖАЮЩЕЙСЯ ФОРМЫ НА ОСНОВЕ ПРОЦЕССА ОТБОРТОВКИ

© 2013 Е.Г. Демьяненко

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва
(национальный исследовательский университет)

Поступила в редакцию 15.02.2013

Предложен способ, основанный на процессе отбортовки, реализуемый устройством с раздвижными секторами, эластичным элементом.

Ключевые слова: способ; устройство; отбортовка; заготовка; толщина; тонкостенная; эластичный элемент.

В современных условиях конкурентоспособность изделий определяется сочетанием минимальной себестоимости и высокого качества. В производстве деталей летательных аппаратов в первую очередь это относится к обшивкам и оболочкам, значительная часть которых представлена тонкостенными осесимметричными деталями усечённой сужающейся формы. Рассмотрим применительно к подобным деталям актуальный способ, включающий процесс отбортовки (см. рис. 1).

Опорное кольцо 6 поднято вверх. Матрица отведена кверху на высоту, обеспечивающую установку заготовки. Раздвижные секторы 2 подняты вверх вместе с эластичным элементом 3. В этом положении устанавливают конусную заготовку сверху между эластичным элементом и кольцевым выступом 10. Элементы заготовки наибольшего диаметра деформируются путем отбортовки (схема напряженно-деформированного состояния соответствует процессу отбортовки), вовлекая в процесс элементы наименьшего диаметра по направлению действия сил трения между заготовкой и эластичным элементом. Этим достигается возможность получить одинаковые деформации по толщине и минимальную разнотолщинность детали. Эластичный элемент выполнен в виде конической оболочки переменной толщины. Причём наибольшая толщина выполнена в зоне больших диаметров, а наименьшая в зоне малых диаметров. Угол конусности внутренней поверхности эластичного элемента равен углу конусности конуса с направляющими пазами, а наружная поверхность меньше угла конусности образующей рабочей поверхности матрицы.

Найдем напряжения согласно схеме действия сил (см. рис. 1). Уравнение равновесия сил для конической детали имеет вид [1]:

Демьяненко Елена Геннадьевна, кандидат технических наук доцент кафедры обработки металлов давлением.
E-mail: e-dem@mail.ru

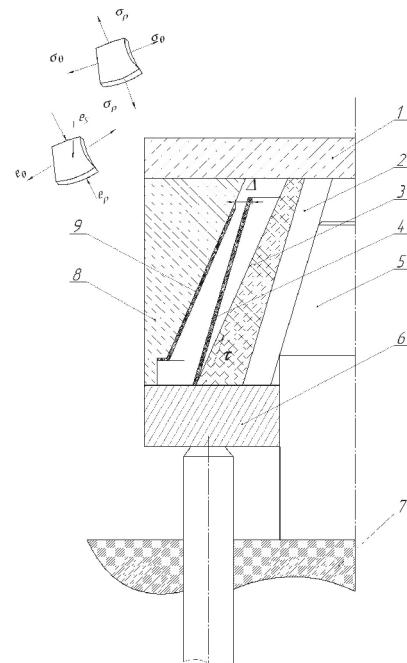


Рис. 1. Схема формообразования:

1 – плита верхняя; 2 – раздвижные сектора; 3 – эластичный элемент; 4 – заготовка; 5 – конус; 6 – опорное кольцо; 7 – плита нижняя; 8 – матрица; 9 – деталь

$$\rho \frac{d\sigma_\rho}{d\rho} + \sigma_\rho - \sigma_\theta (1 + f \cdot \operatorname{ctg} \alpha_{mapp}) = 0, \quad (1)$$

где σ_ρ – напряжения в меридиональном направлении;

σ_θ – напряжения в тангенциальном направлении;

f – контактное трение заготовки, коэффициент трения;

α_{mapp} – угол конусности матрицы.

Используем условие пластичности для трансверсальной анизотропии:

$$\sigma_\theta = k \sigma_s = \sigma_s^*, \quad (2)$$

где σ_s – напряжение текучести;

k – коэффициент, равный $k = \sqrt{2} \sqrt{1-\mu}$ [2];

μ - коэффициент анизотропии трансверсально-изотропного тела.

Решение (1) и (2) имеет вид:

$$\sigma_{\rho} = \sigma_S^* \left(1 + f \cdot \operatorname{ctg} \alpha_{matp} \right) \left(1 - \frac{r_{dem}}{\rho} \right), \quad (3)$$

где r_{dem} – меньший радиус конической детали;

ρ – текущий радиус детали.

При $\rho = r_{dem}$; $\sigma_{\rho} = 0$. Анализ выражения (3) показывает, что напряжение σ_{ρ} растет с увеличением ρ . Этому должно способствовать утонению заготовки для элементов, примыкающих к большему диаметру и уменьшению размера внутреннего диаметра кольцевого выступа.

Технологически возможную толщину получим из уравнения связи напряжений и деформаций:

$$S_T = S_{zae} \left[1 - (1 - \mu) \cdot \frac{\sigma_{\rho}/\sigma_{\theta} + 1}{1 - \mu \cdot \sigma_{\rho}/\sigma_{\theta}} \left(\frac{\bar{\rho}_{zae}}{\rho} - 1 \right) \right]. \quad (4)$$

Чтобы значения S_T имели постоянное значение необходимо выполнить условие минимизации [3]:

$$\int_1^{\bar{R}_{dem}} (S_{dem} - S_T)^2 d\bar{\rho} \rightarrow \min, \quad (5)$$

где S_{dem} – заданная толщина детали;

S_T – технологически возможная толщина, которая получается после формообразования заготовки;

r_{dem} – меньший радиус детали;

$\frac{R_{dem}}{r_{dem}} = \bar{R}_{dem}$ – больший относительный радиус детали.

Варьируемыми параметрами возьмем радиус заготовки ρ_{zae} , который примем в виде линейной зависимости:

$$\frac{\bar{\rho}}{\rho_{zae}} = c + l \bar{\rho}. \quad (6)$$

Из двух неизвестных коэффициентов, c определим из условия, что при $\rho = r_{dem}$ (см. рис. 2):

$$\rho_{zae} = r_{dem} - \Delta. \quad (7)$$

r_{dem} – меньший радиус детали; R_{dem} – больший радиус детали; ρ – текущий радиус детали; ρ_{zae} – радиус заготовки; r_{zae} – меньший радиус заготовки; R_{zae} – больший радиус заготовки; Δ – горизонтальное перемещение элементов заготовки при деформировании на 1 стадии, принятное для всех элементов одинаковым; α_{zae} – угол конусности заготовки; α_{dem} – угол конусности детали

В относительных единицах при $\rho = 1$:

$$\rho_{zae} = 1 - \bar{\Delta}, \quad (8)$$

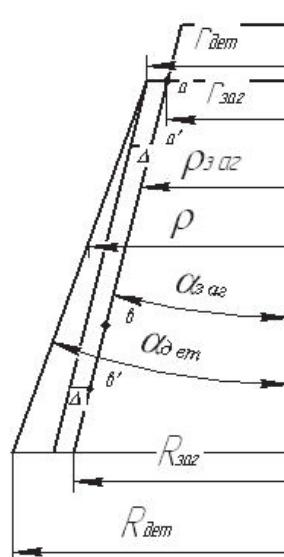


Рис. 2. Схема процесса

где $\bar{\Delta} = \frac{\Delta}{r_{dem}}$. Таким образом, $\frac{1}{1 - \bar{\Delta}} = c + l$, отсюда:

$$c = \frac{1}{1 - \bar{\Delta}} - l. \quad (9)$$

Подставим (9) в (6) и получим:

$$\frac{\bar{\rho}}{\rho_{zae}} = \frac{1}{1 - \bar{\Delta}} + l(\bar{\rho} - 1). \quad (10)$$

Зная l и c можно найти наименьший и наибольший радиусы заготовки, используя (10):

$$\rho_{zae} = \frac{\bar{\rho}}{\frac{1}{1 - \bar{\Delta}} + l(\bar{\rho} - 1)}. \quad (11)$$

Коэффициент l позволяет определить радиус наибольшей заготовки, который дает возможность получить деталь с минимальной разнотолщинностью.

Выражение (5) примет вид с учетом безраз-

мерных величин $\bar{S}_{dem} = \frac{S_{dem}}{S_{zae}}$, $\frac{r_{dem}}{r_{zae}} = \bar{r}_{dem}$, $\frac{R_{dem}}{r_{dem}} = \bar{R}_{dem}$, т.е. от 1 до \bar{R}_{dem} :

$$\int_1^{\bar{R}_{dem}} \left\{ \bar{S}_{dem} - \left[1 - (1 - \mu) \cdot \frac{\sigma_{\rho}/\sigma_{\theta} + 1}{1 - \mu \cdot \sigma_{\rho}/\sigma_{\theta}} \left(\frac{1}{1 - \bar{\Delta}} + l(\bar{\rho} - 1) - 1 \right) \right] \right\}^2 d\bar{\rho} \rightarrow \min.$$

Минимизацию выражения (5) проведем путем варьирования коэффициента l :

$$\frac{\partial}{\partial l} = \int_1^{\bar{R}_{dem}} \left\{ \bar{S}_{dem} - 1 - (1 - \mu)b + \frac{(1 - \mu)b}{1 - \bar{\Delta}} + (1 - \mu)b(l(\bar{\rho} - 1)) \right\} (l(\bar{\rho} - 1)) d\bar{\rho} = 0. \quad (12)$$

$$\text{где } b = \frac{b_1 + b_2}{2}, \quad (13)$$

$$b_1 = 1 \text{ при } \bar{\rho} = 1; \quad \sigma_{\rho} / \sigma_{\theta} = 0; \quad (14)$$

$$b_2 = \frac{(1 + f \cdot \operatorname{ctg} \alpha_{mamp}) \left(1 - \frac{1}{R_{dem}}\right) + 1}{1 - \mu (1 + f \cdot \operatorname{ctg} \alpha_{mamp}) \left(1 - \frac{1}{R_{dem}}\right)} \text{ при } \bar{\rho} = \bar{R}_{dem}, \quad (15)$$

$\bar{\rho} = \frac{\rho}{r_{dem}}$, $\bar{\rho}_{zaz} = \frac{\rho_{zaz}}{r_{dem}}$ – соответственно относительные радиусы детали и заготовки.

$$\text{Или } \left[\bar{S}_{dem} - 1 - b(1-\mu) + \frac{b(1-\mu)}{(1-\Delta)} \right] \times \frac{(\bar{R}_{dem} - 1)^2}{2} + \frac{(1-\mu)l}{3} (\bar{R}_{dem} - 1)^3 = 0$$

отсюда

$$l = 3 \frac{1 + (1 - \mu)b - \bar{S}_{dem} - \frac{(1 - \mu)b}{(1 - \Delta)}}{2(\bar{R}_{dem} - 1)(1 - \mu)b}. \quad (16)$$

Чтобы вычислить l следует найти соотношение между $\bar{\Delta}$ и \bar{S}_{dem} ; при $\bar{\rho} = r_{dem}$ или $\bar{\rho} = 1$. Из (4) имеем, приравняв $\bar{S}_{dem} = \bar{S}_T$ и приняв соотношения: $r_{dem} - r_{zaz} = \Delta$ или $1 - r_{zaz} = \bar{\Delta}$ или $r_{zaz} = 1 - \bar{\Delta}$. Тогда

$$\bar{S}_{dem} - 1 = -(1 - \mu) \frac{(1 - r_{zaz})}{r_{zaz}} = -(1 - \mu) \frac{\bar{\Delta}}{1 - \bar{\Delta}},$$

$$\text{Отсюда } \bar{\Delta} = \frac{1 - \bar{S}_{dem}}{2 - \bar{S}_{dem} - \mu}. \quad (17)$$

Для наглядности проанализируем аналитические закономерности с помощью построенных графиков (рис. 3 – 12).

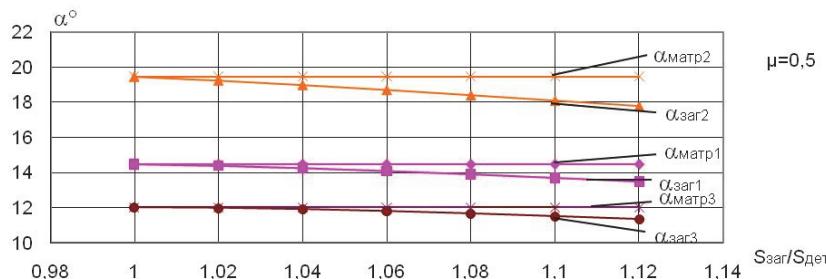


Рис. 3. Зависимость отношения S_{zaz} / S_{dem} от угла конусности заготовки α_{zaz} при $\mu = 0,5$; $f = 0,1$ и различных значениях угла конусности матрицы: $\alpha_{mamp1} = 14,5^0$; $\alpha_{mamp2} = 19,5^0$; $\alpha_{mamp3} = 12^0$

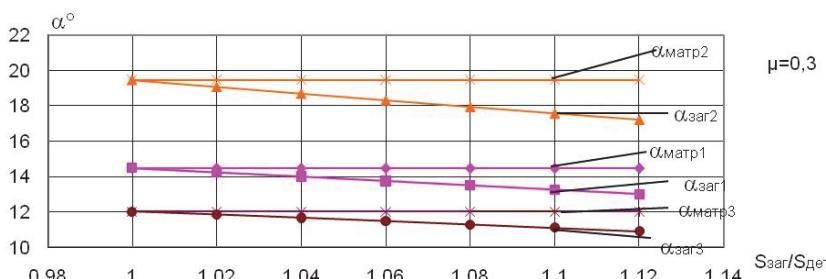


Рис. 4. Зависимость отношения S_{zaz} / S_{dem} от угла конусности заготовки α_{zaz} при $\mu = 0,3$; $f = 0,1$ и различных значениях угла конусности матрицы: $\alpha_{mamp1} = 14,5^0$; $\alpha_{mamp2} = 19,5^0$; $\alpha_{mamp3} = 12^0$

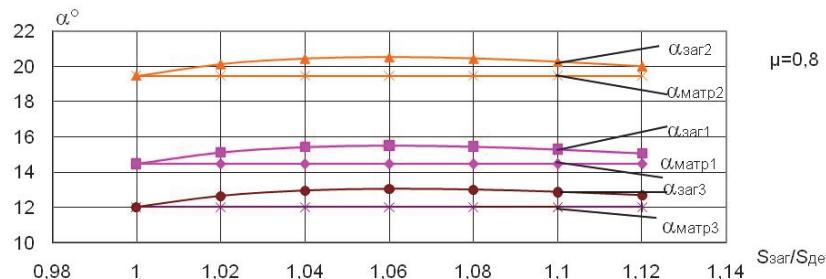


Рис. 5. Зависимость отношения S_{zaz} / S_{dem} от угла конусности заготовки α_{zaz} при $\mu = 0,8$; $f = 0,1$ и различных значениях угла конусности матрицы: $\alpha_{mamp1} = 14,5^0$; $\alpha_{mamp2} = 19,5^0$; $\alpha_{mamp3} = 12^0$

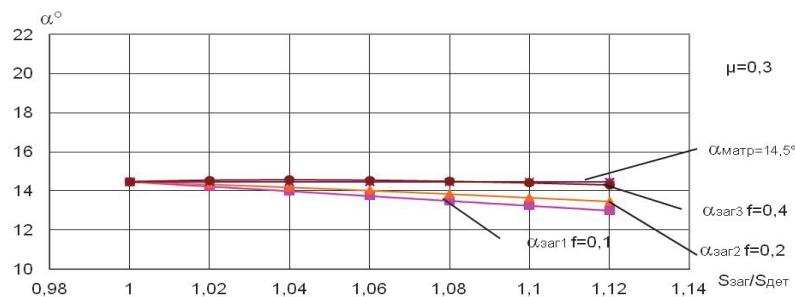


Рис. 6. Зависимость отношения $S_{\text{заг}} / S_{\text{дет}}$ от угла конусности заготовки $\alpha_{\text{заг}}$ при $\mu = 0,3$; $\alpha_{\text{матр}} = 14,5^{\circ}$ и различных значениях коэффициента трения

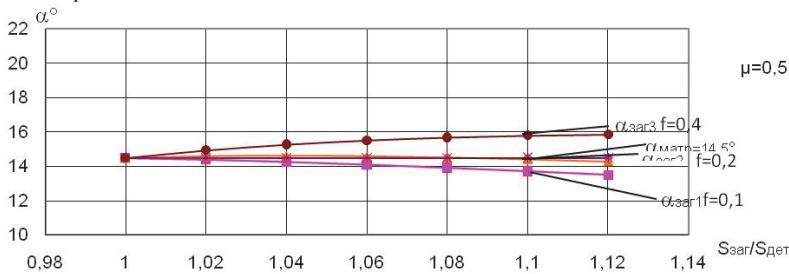


Рис. 7. Зависимость отношения $S_{\text{заг}} / S_{\text{дет}}$ от угла конусности заготовки $\alpha_{\text{заг}}$ при $\mu = 0,5$; $\alpha_{\text{матр}} = 14,5^{\circ}$ и различных значениях коэффициента трения

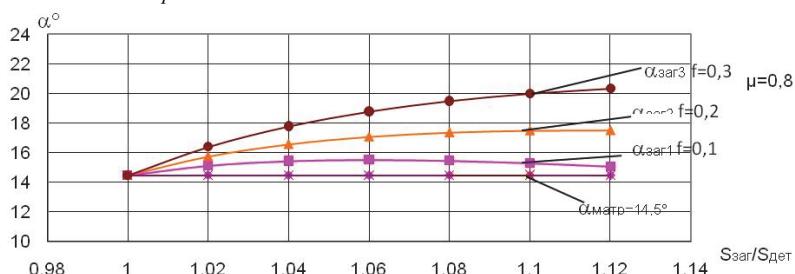


Рис. 8. Зависимость отношения $S_{\text{заг}} / S_{\text{дет}}$ от угла конусности заготовки $\alpha_{\text{заг}}$ при $\mu = 0,8$; $\alpha_{\text{матр}} = 14,5^{\circ}$ и различных значениях коэффициента трения

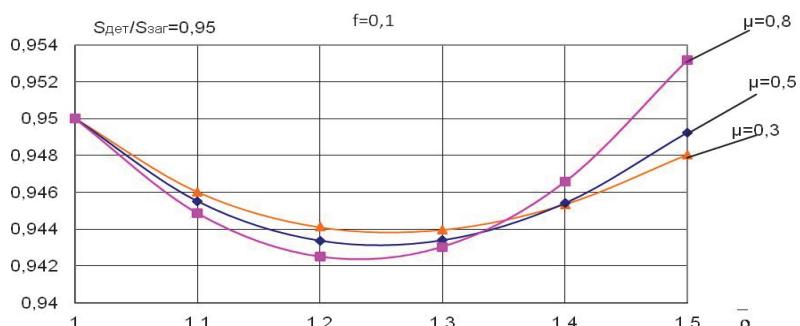


Рис. 9. Зависимость отношения $S_T / S_{\text{заг}}$ по заданному соотношению $S_{\text{дет}} / S_{\text{заг}} = 0,95$; $f = 0,1$; $\alpha_{\text{матр}} = 14,5^{\circ}$; $R_{\text{дет}} = 1,5$ и различных значениях коэффициента анизотропии $\mu = 0,3$; $\mu = 0,5$; $\mu = 0,8$

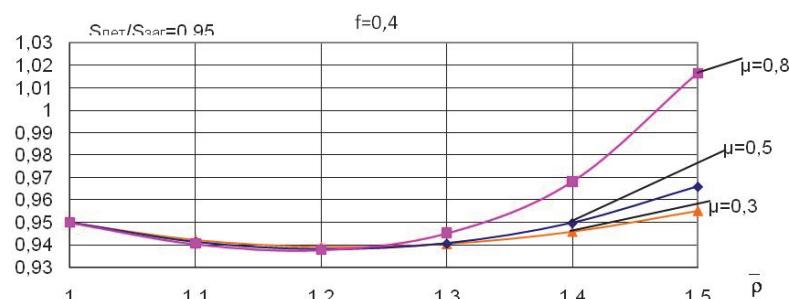


Рис. 10. Зависимость отношения $S_T / S_{\text{заг}}$ по заданному соотношению $S_{\text{дет}} / S_{\text{заг}} = 0,95$; $f = 0,4$; $R_{\text{дет}} = 1,5$; $\alpha_{\text{матр}} = 14,5^{\circ}$ и различных значениях коэффициента анизотропии $\mu = 0,3$; $\mu = 0,5$; $\mu = 0,8$

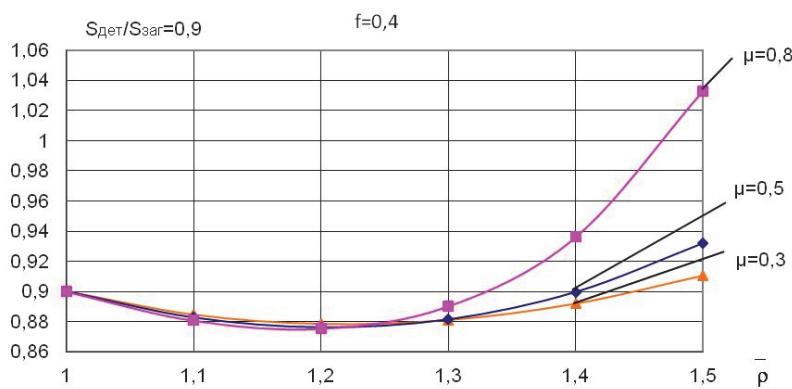


Рис. 11. Зависимость отношения $S_T / S_{заг}$ по заданному соотношению $S_{дет} / S_{заг} = 0,9$; $f = 0,4$; $R_{дет} = 1,5$; $\alpha_{матр} = 14,5^0$ и различных значениях коэффициента анизотропии $\mu = 0,3$; $\mu = 0,5$; $\mu = 0,8$

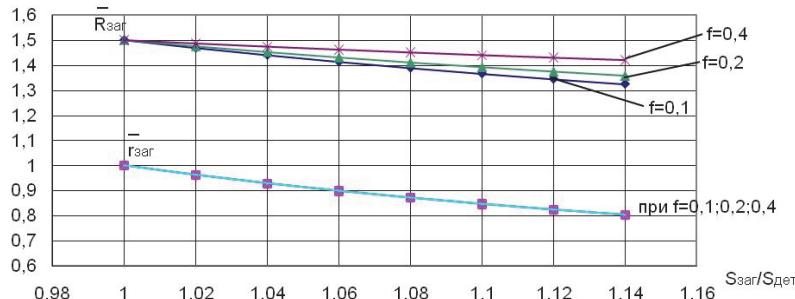


Рис. 12. Зависимость отношения большого и малого относительного радиуса заготовки от $S_{заг} / S_{дет}$ при $R_{дет} = 1,5$; $\alpha_{матр} = 15^0$ и различных значениях коэффициента трения

Задаваясь соотношением $S_{дет} / S_{заг}$ и различными значениями коэффициента анизотропии, коэффициента трения, используя формулы (13, 14, 15, 16, 9, 11, 4) построим зависимость отношения $S_T / S_{заг}$.

По проведенной работе можно сделать выводы:

- При уменьшении коэффициента анизотропии μ сокращается разница между углами $\alpha_{матр}$ и $\alpha_{заг}$, что особенно сильно сказывается при малых значениях угла конусности матрицы $\alpha_{матр}$.
- С возрастанием коэффициента трения разница между значениями больших радиусов $R_{дет}$ и $R_{заг}$ уменьшается и с возрастанием значений коэффициента анизотропии μ эта разница практически исчезает.

• С увеличением коэффициента трения отклонение по толщине от величины заданной детали возрастает. Для значений коэффициента анизотропии $\mu \leq 0,5$ эта разница при коэффициенте трения $f = 0,1$ не превышает 1,5%, а при коэффициенте трения $f = 0,4 - 2,5\%$. Минимальное отклонение

от заданной толщины при малых μ составляет 1%.

- При значительных значениях коэффициента анизотропии, близких к единице, угол конусности заготовки может быть больше угла конусности детали.

Таким образом, с точки зрения получения наименьшей разнотолщинности детали способ эффективен для случая, когда имеет место наименьших значений коэффициента анизотропии μ и коэффициента трения f .

Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением. М.: Машиностроение, 1971. 424 с.
2. Гречников Ф.В. Деформирование анизотропных материалов. М.: Машиностроение, 1998. 448 с.
3. Попов И.П. Направленное изменение толщины листовой заготовки в процессах пластического деформирования: учебное пособие. Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т., 2006. 74 с.

THE METHOD OF FORMING OF THIN-WALLED AXISYMMETRIC PARTS WITH TRUNCATED TAPERED SHAPE ON THE BASIS OF FLANGING PROCESS

© 2013 E.G. Demyanenko

Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolyov
(National Research University)

It is suggested the method, which is based on flanging process and is implemented in the device with sliding sectors, rubber pad.

Keywords: method, device, flanging, blank, thickness, thin-walled, rubber pad.

Elena Demyanenko, Candidate of Technics, Associate Professor
at the Metal Forming Department. E-mail: e-dem@mail.ru