

УДК 621.4

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШТАМПОВАННОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ СПОСОБА ОТБОРТОВКИ ИЗ КОНИЧЕСКОЙ ЗАГОТОВКИ ЭЛАСТИЧНОЙ СРЕДОЙ

© 2017 Е.Г. Демьяненко, А.Н. Епифанов, З.Д. Лыгин

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

Статья поступила в редакцию 20.12.2017

Рассмотрены новые способы получения тонкостенных осесимметричных деталей с заданной точностью толщины стенки. Предложена методика проектирования элементов оснастки.

Ключевые слова: способ, тонкостенная деталь, коническая оболочка, эластичная среда, штамповая оснастка, проектирование.

Типовыми изделиями ракетно-космической и авиационной индустрии являются тонкостенные оболочки из листовых заготовок (обшивки отсеков, обтекатели, топливные баки различных форм и размеров, баллоны хранения газов, сопловые оболочки, оболочки камер сгорания двигателей и др.). Для их получения многие из способов требуют или уникального оборудования и оснастки (штамповка взрывом, электрогидроштамповка и др.), или не обеспечивают заданной точности контура штампованной детали, т.е. имеют свои преимущества и недостатки. Поэтому большое значение на данный момент приобретает дальнейшее совершенствование процессов пластического формообразования листового металла [1,2,3,4,5], которые позволили бы получать сложные по форме и точные по размерам изделия при значительной экономии металла и высокой производительности труда. К таким инновационным способам, в том числе относятся способы, в устройстве (см. рисунок 1) которых используются раздвижные сектора и эластичный элемент [6] или (см. рисунок 2) эластичный элемент в виде двух конических оболочек 3 и 4 [7].

Особенность предложенных конструкции устройств в том, что изготовленная деталь лишена огранки и ее наружная поверхность практически совпадает с рабочей поверхностью матрицы, тем самым устранена дополнительная операция калибровки. Устройство должно удовлетворять следующим условиям. Чтобы избежать при увеличении диаметра эластичного элемента его уменьшения высоты и возникновения на поверхности контакта с заготовкой сжимающих сил трения, которые могут привести к потере устойчивости тонкостенной заготовки, эластичный элемент в районах наибольшего и наименьшего диаметров матрицы зажимается

(в начальный момент) между матрицей и секторами. Для надежного обеспечения условия зажима эластичного элемента необходимо, чтобы его высота была больше высоты рабочей поверхности, но не превышала общую высоту матрицы, иначе эластичный элемент может попасть в зазор между матрицей и секторами. Это устраняет сжимающие силы трения на внутренней поверхности заготовки. Эластичный элемент в случае применения двух конических оболочек 3 и 4, деформируясь, увеличивается в диаметре и уменьшается в толщине, то есть соответствует условию плоского деформированного состояния, когда деформация по толщине ε_S равна по величине и противоположна по знаку деформации увеличения диаметра эластичного элемента ε_θ . В этом случае приближенно можно записать условие постоянства объема (см. формулу 1):

$$\varepsilon_S \approx -\varepsilon_\theta \text{ или } \frac{\rho - r}{r} \approx -\frac{S - S_0}{S_0}, \quad (1)$$

где ρ, r – соответственно радиусы по средней поверхности средние по высоте эластичного элемента до и после деформации;

S_0, S – соответственно толщины средние до и после деформации.

Несмотря на уменьшение толщины эластичного элемента в виде двух конических оболочек, прирост объема ΔV_ρ его за счет увеличения диаметра должен компенсировать разницу между внутренним объемом, ограниченным рабочей поверхностью матрицы и объемом, ограниченным наружной поверхностью эластичного элемента в виде двух конических оболочек в исходном состоянии ΔV (см. формулу 2).

$$\Delta V_\rho = \Delta V \text{ или } \pi \frac{(\rho^2 - r^2)^2}{\cos \alpha} h_m = \Delta V, \quad (2)$$

где h_m – высота рабочей поверхности матрицы;
 α – угол конусности конуса.

Выразим r из (1) и, подставив его в (2) после преобразований получим:

Демьяненко Елена Геннадьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры обработки металлов давлением.
E-mail: e-dem@mail.ru
Епифанов Александр Николаевич, аспирант.
Лыгин Захар Денисович, магистрант.

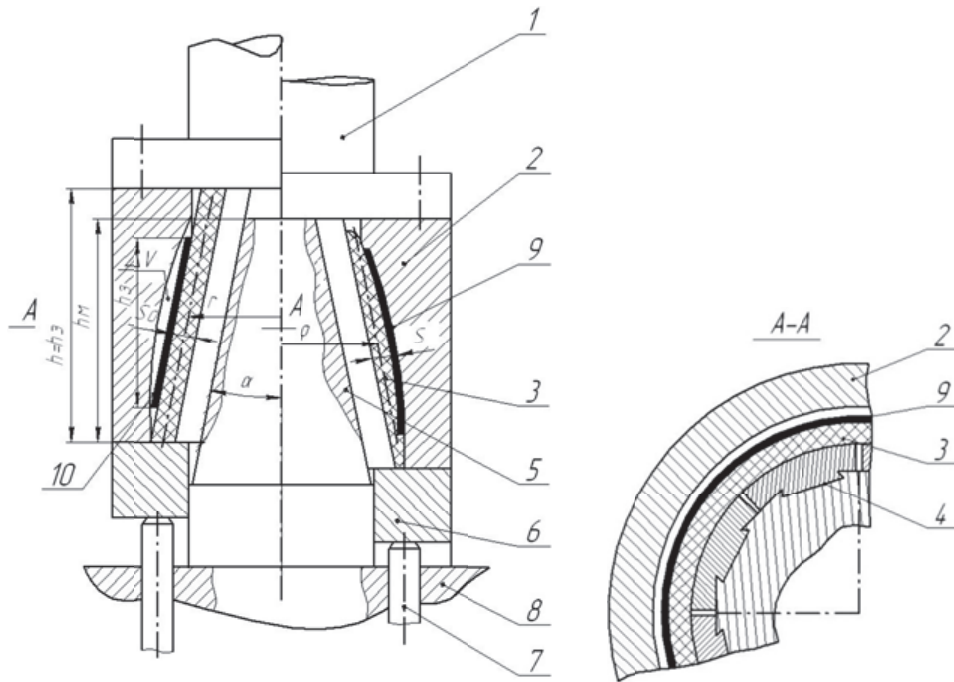


Рис. 1. Устройство для формообразования тонкостенных осесимметричных деталей усеченной сужающейся формы:

- 1 – пуансон; 2 – матрица; 3 – эластичный элемент; 4 – подвижные сектора; 5 – конус; 6 – опорное кольцо; 7 – шпилька; 8 – плита пресса; 9 – деталь; 10 – заготовка

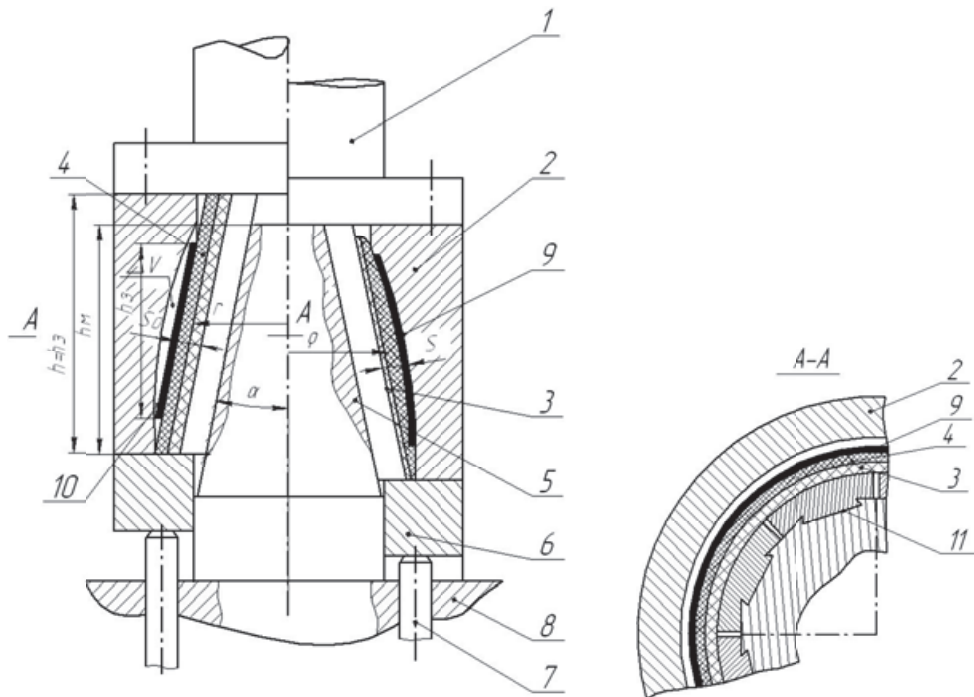


Рис. 2. Устройство для формообразования тонкостенных осесимметричных деталей усеченной сужающейся формы:

- 1 – пуансон; 2 – матрица; 3 – эластичный элемент; 4 – эластичный элемент; 5 – конус; 6 – опорное кольцо; 7 – шпилька; 8 – плита пресса; 9 – деталь; 10 – заготовка; 11 – подвижные сектора

$$\rho = \left(2 - \frac{S}{S_0}\right) \sqrt{\frac{\Delta V \cos \alpha}{\pi \cdot h_m} \left[\left(2 - \frac{S}{S_0}\right)^2 + 1 \right]} \cdot (3)$$

Приняв во внимание, что $\rho = \rho_0 - 0,5S$ имеем:

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

Исходную толщину эластичного элемента в виде двух конических оболочек найдем, поставив ограничения по степени деформации:

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

$$S = S_1 + S_2; S_0 = \frac{S_1 + S_2}{k}, \text{ где}$$

$$S_1 + S_2 = 2 \left(\rho_\delta - (2 - k) \sqrt{\frac{\Delta V \cos \alpha}{\pi \cdot h_m [(2 - k)^2 + 1]}} \right), \quad (4)$$

где ρ_δ – средний радиус детали;

S_1 – толщина внешнего эластичного элемента;

S_2 – толщина внутреннего эластичного элемента.

Улучшение современной авиационной техники, и в тоже время ее усложнение, повышение требований к качеству и надежности приводит к расширению производства технологической оснастки, проектирование и изготовление которой по трудоемкости составляет около 80 %, а по длительности – до 90 % общей трудоемкости и длительности технологической подготовки производства. Рассмотрим методику проектирования элементов оснастки для способа получения тонкостенной осесимметричной детали усеченной сужающейся формы.

• Расчет матрицы на прочность:

так как контейнер находится под внутренним давлением, то с целью безопасности эксперимента необходимо рассчитать его на прочность. Используя выводы расчета на прочность толстостенных цилиндров, нагруженных изнутри равномерным давлением [8], определили напряжения в тангенциальном направлении:

$$\sigma_\theta = \frac{q_2 r_{\text{конт}}^2}{R_{\text{конт}}^2 - r_{\text{конт}}^2} + \frac{q_2 r_{\text{конт}}^2 R_{\text{конт}}^2}{R_{\text{конт}}^2 - r_{\text{конт}}^2} \cdot \frac{1}{r_{\text{конт}}^2} \leq [\sigma_\theta], \quad (5)$$

где $R_{\text{конт}}$, $r_{\text{конт}}$ – радиусы контейнера наружный и внутренний соответственно;

q_2 – избыточное давление матрицы через заготовку на эластичный элемент, $[q_2] \leq 0,1 \text{ кг} / \text{мм}^2$;

$[\sigma_\theta]$ – предельное значение напряжения в тангенциальном направлении.

• Для процессов формообразования эластичным элементом конической формы (см. рис. 3) будем считать, что схема сжатия эластичного конического элемента в виде толстостенной оболочки эквивалентна сжатию эластичного элемента в виде кольца (см. рис. 4).

При этом примем, что толщина толстостенной конической оболочки равна толщине эластичного элемента в виде кольца, внутренний радиус кольца равен наименьшему радиусу ко-

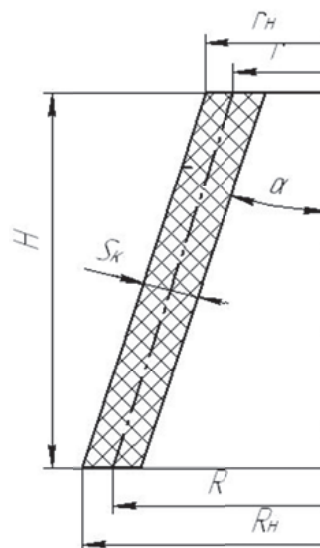


Рис. 3. Эластичная коническая оболочка: H – высота эластичного конического элемента; R, R_n – большой радиус по срединной и наружной поверхности эластичного конического элемента; r, r_n – меньший радиус по срединной и наружной поверхности эластичного конического элемента; S_k – толщина эластичного конического элемента

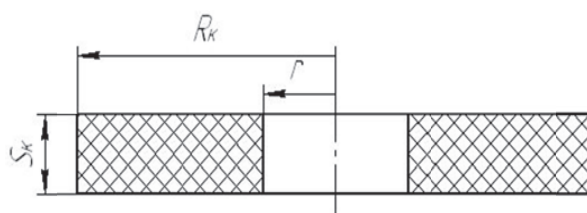


Рис. 4. Эластичный элемент в виде кольца: R_k – большой радиус кольца; r – радиус отверстия в кольце; S_k – толщина кольца

нического эластичного элемента, а наружный радиус равен:

$$R_k = \sqrt{r^2 + \frac{(R - r)^2}{\sin^2 \alpha}}, \quad (6)$$

где $r \approx r_n - S_k$, т.к. $r_n \geq S_k$.

Выражение получено из условия равенства площадей по срединной поверхности конической эластичной оболочки и эластичного кольца. Предлагаемая модель позволяет рассчитать размеры эластичного конического элемента в виде толстостенной оболочки, если его размеры R_k, r_n, H определены геометрией заготовки.

При применении способов необходимо определить толщину эластичного элемента кроме использования формулы (4) еще из дополнительных условий. Рассмотрим их.

• Обеспечение отсутствия заполнения эластичными элементами зазора Δ . Рассмотрим схему действия сил в области зазора между подвижными секторами (см. рис. 5).

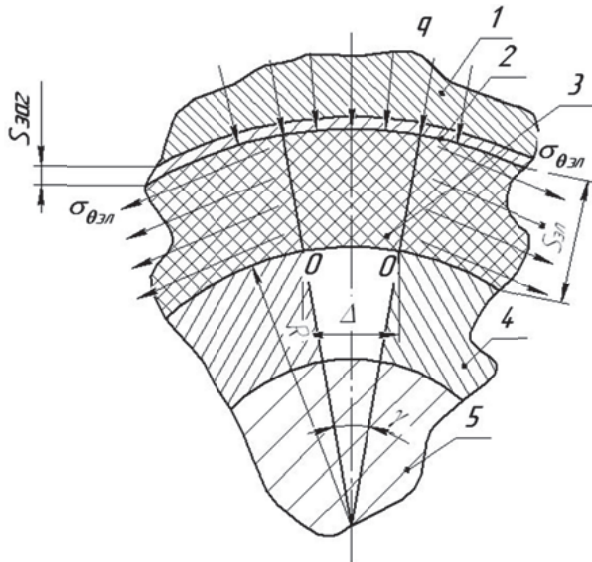


Рис. 5. Схема действия сил на эластичный элемент в области зазора между подвижными секторами: 1 – матрица; 2 – заготовка; 3 – эластичный элемент; 4 – подвижный сектор; 5 – конус; Δ – зазор между секторами; γ – угол наклона; R – радиус до наружной поверхности секторов; S_{эл} – толщина эластичного элемента; S_{заг} – толщина заготовки; σ_{θэл.} – тангенциальное напряжение растяжения эластичного элемента; q – суммарное давление на эластичный элемент

Чтобы эластичный элемент не продавливался в зазор Δ, необходимо соблюдать равенство моментов от действия растягивающих и сжимающих сил относительно сечений перпендикулярных плоскости чертежа и проходящих через точки «0».

$$M_p = M_{сж}, \tag{7}$$

где M_p, M_{сж} – изгибающие моменты соответственно от растягивающих и сжимающих сил на единицу ширины.

В первом случае имеем:

$$M_p = \sigma_{\theta_{эл.}} \cdot S_{эл.} \cdot \frac{S_{эл.}}{2}, \tag{8}$$

где σ_{θэл.} – напряжение растяжения в эластичном элементе.

Во втором случае:

$$M_{сж} = q \cdot \Delta \cdot \frac{\Delta}{2}, \tag{9}$$

где Δ – зазор между подвижными секторами.

Величина зазора определяется из условия:

$$\Delta = \frac{2\pi R_1 - 2\pi r_0}{N}, \tag{10}$$

где N – число секторов;

R₁ – радиус по наружной поверхности подвижных секторов в момент окончания деформации в сечении, которое в исходном состоянии находилось в плоскости разъема матрицы с радиусом r₀.

Суммарное давление эластичной среды равно (согласно принципу суперпозиции):

$$q = q_1 + q_2 + q_3, \tag{11}$$

где q₁ – давление заготовки на эластичный элемент;

q₂ – избыточное давление матрицы через заготовку на эластичный элемент, [q₂] ≤ 0,1 кгс / мм².

Составляющая сжатия от напряжения растяжения эластичного элемента:

$$q_3 = \sigma_{\theta_{эл.}} \sin \frac{\gamma}{2}, \tag{12}$$

где $\gamma = \arctg \left| \frac{\Delta}{2R_{заг}} \right|$ (см. рис. 5),

где R_{заг} – радиус цилиндрической заготовки.

Из уравнения Лапласа [9]:

$$q_1 = \frac{S_{заг}}{R_{заг}} \sigma_{\theta_{заг}}, \tag{13}$$

где σ_{θзаг} ≈ σ_σ – тангенциальное напряжение растяжения в заготовке.

С учётом выражений (8 ÷ 13) равенство (7) примет вид:

$$\sigma_{\theta_{эл.}} \cdot S_{эл.}^2 \geq \left(q_2 + \frac{S_{заг}}{R_{заг}} \sigma_{\theta} + \sigma_{\theta_{эл.}} \sin \frac{\gamma}{2} \right) \frac{\Delta^2}{2}. \tag{14}$$

Отсюда имеем:

$$S_{эл.} \geq \frac{\left[q_2 + S_{заг} / R_{заг} \cdot \sigma_{\theta} + \sigma_{\theta_{эл.}} \cdot \sin(\gamma/2) \right] \frac{\Delta^2}{2}}{\sigma_{\theta_{эл.}}}. \tag{15}$$

Условие (15) гарантирует отсутствие затекания эластичного элемента в зазоры между подвижными секторами. В противном случае процесс проводить нежелательно. Ограничения зависят и от относительной толщины заготовки, и от давления эластичной среды, на которое влияет величина вытесненного объёма (форма и размеры детали).

• Расчет толщины конической эластичной оболочки определяется исходя из необходимого давления. Для этого используются диаграммы сжатия эластичного элемента (резины), которые достаточно широко представлены (см. рис. 6). Условием выбора толщины и относительных размеров эластичного в виде кольца служит максимальная величина сжатия по толщине не превышающая 10-15%, при выбранном значении q₂ (см. формулу 11).

Необходимо выполнить условие, чтобы величина сжатия резины не превышала в местах наибольшего деформирования более 30%.

Далее из рассчитанных толщин (см. формулу 4, 15 и см. рис. 6) выбирается наименьшая.

• Определение числа и размеров подвижных секторов. Схема для расчета представлена на рис. 7.

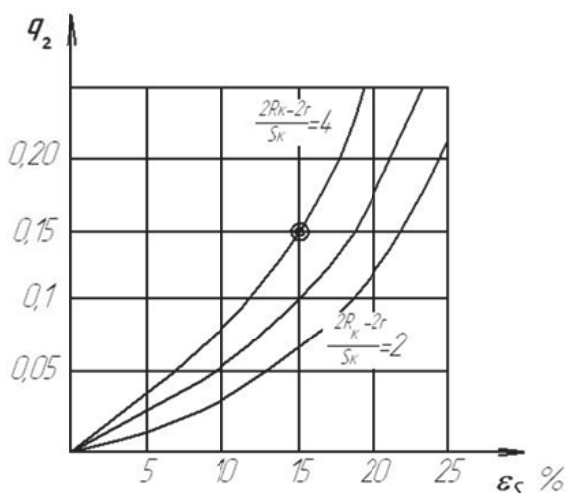


Рис. 6. Диаграмма сжатия резины

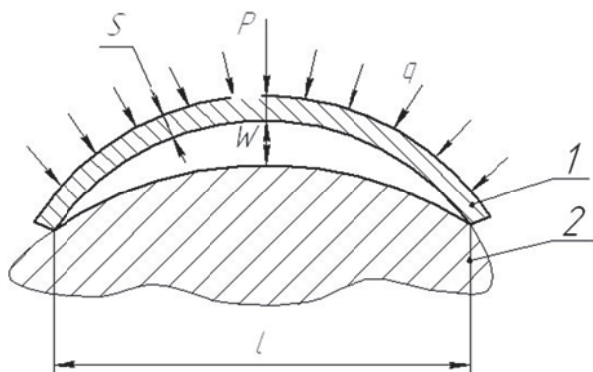


Рис. 7. Схема действия сил на подвижный сектор:
 P – результирующее усилие;
 q – давление эластичной среды;
 1 – подвижный сектор; 2 – конус

Подвижные сектора 1 получены путем распила конической оболочки прилежащей к конусу 2, вдоль образующих на несколько частей. Поэтому при движении вдоль конуса отсечений меньшего диаметра к большему образуется зазор ϖ между внутренней поверхностью подвижного сектора 1 и поверхностью конуса 2.

Подвижный сектор должен передавать усилия от пресса при минимальной толщине, не деформируясь и не разрушаясь. Поэтому размеры сектора l, S должны быть согласованные с давлением среды q . Необходимым условием согласования этих параметров может быть равенство момента внутренних и внешних сил:

$$M_u = M_g, \quad (16)$$

где M_u, M_g – моменты внешних и внутренних сил.

Будем считать:

$$M_u = P \cdot l = \frac{q \cdot l^2}{2}, \quad (17)$$

$$M_g = \sigma_{0,2} \frac{S^2}{4}. \quad (18)$$

Из условия (17; 18) имеем:

$$S_c = \sqrt{\frac{2q \cdot l^2}{\sigma_{0,2}}}, \quad (19)$$

где l – ширина подвижного сектора в сечении наибольшего радиуса R_c . Его длина определяется:

$$l = \frac{2\pi R_c}{N}, \quad (20)$$

где N – число секторов.

Из равенств (19 и 20) можно определить:

$$N = \sqrt{\frac{8 \cdot q \pi^2 R_c^2}{\sigma_{0,2} S^2}}. \quad (21)$$

• Рассчитываются усилия процессов формообразования эластичным буфером сложных деталей с подвижными секторами.

Схема к определению усилия представлена (см. рис. 8).

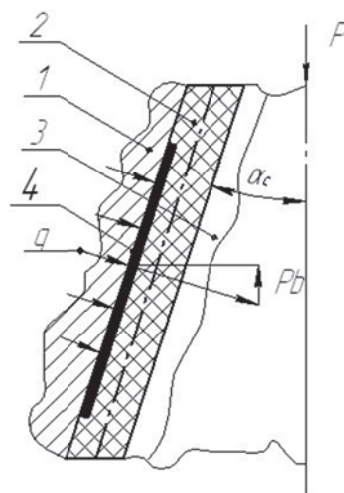


Рис. 8. Схема действия сил на подвижный сектор:
 1 – матрица; 2 – эластичный элемент;
 3 – подвижный сектор;
 q – давление эластичной среды;
 P_b – внутреннее усилие сопротивления;
 P – внешнее усилие; α_c – угол конусности

Запишем условие равенства внешнего и внутреннего усилия:

$$P_g = P, \quad (22)$$

где P_g – результирующее внутреннее усилие.

$$P_g = K_3 q F \cdot \sin \alpha_c. \quad (23)$$

При анализе назначения новых способов и оценке их технологичности важным является проработка методики проектирования элементов оснастки, так как это определяющая часть оснащения производства и оборудования с целью выполнения определенной задачи технологического процесса [10]. Обоснованная методика способствует повышению производительности; точности обработки, сборки и контроля; облегчению условий труда; сокращению количества и снижению квалификации рабочих; строгой регламентации длительности выполня-

емых операций; расширению технологических возможностей оборудования; повышению безопасности рабочих и снижению аварийности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ерисов Я.А., Гречников Ф.В. Математическая модель анизотропного упругопластического материала // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. 2011. № 6(30). С. 73-80.
2. Шляпугин А.Г., Попов И.П., Звонов С.Ю. Особенности процесса формообразования полых конических деталей из кольцевой заготовки // Известия ВУЗов. Авиационная техника. 2010. № 3. С. 75-76.
3. Нестеренко Е.С., Попов И.П., Зимарёв М.В. Способ получения тонкостенных конических деталей в штампе с упругим элементом // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. 2012. № 1(32). С. 161-169.
4. Арышенский В.Ю., Гречникова А.Ф., Ерисов Я.А. Влияние параметров текстуры и структуры на предельное формоизменение обшивочных листов при обтяжке // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. 2012. № 2(33). С. 142-148.
5. Демьяненко Е.Г. Исследование возможностей процесса формовки в устройстве с применением разжимных секторов // Известия Самарского научного центра РАН. 2012. Т. 14. №6. С. 182-186.
6. Патент РФ № 2493928 18.04.2012 зарегистрировано 27.09.2013 «Устройство для формообразования тонкостенных осесимметричных деталей усеченной сужающейся формы».
7. Патент РФ № 128527 09.11.2012 зарегистрировано 27.05.2013 «Устройство для формообразования тонкостенных осесимметричных деталей усеченной сужающейся формы».
8. Расчеты на прочность в машиностроении. Том 2. Некоторые задачи прикладной теории упругости. Расчеты за пределами упругости. Расчеты на ползучесть // С.Д. Пономарев, В.Л. Бидерман, К.К. Лихарев, В.М. Макушкин, Н.Н. Малинин, В.И. Феодосьев. М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1958. 974 с.
9. Теорияковки и штамповки: учебное пособие для студентов машиностроительных и металлургических специальностей вузов / Е.П. Унксов, У. Джонсон, В.Л. Колмогоров и др. [под общ. ред. Е. П. Унксова, А.Г. Овчинникова]. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1992. 720 с.
10. Совершенствование организации литейного производства авиационного предприятия на основе имитационного моделирования / В.И. Дровяников, И.Н. Хаймович, М.А. Фролов, Е.А. Ковалькова // Фундаментальные исследования. 2015. № 2-14. С. 3023-3028.

DESIGNING OF STAMPING TOOL FOR THE FLANGING PROCESS FROM A CONICAL BLANK WITH RUBBER

© 2017 E.G. Demyanenko, A.N. Epifanov, Z.D. Lygin

Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov

It is suggested the new methods of manufacturing thin-walled axisymmetric parts with a given wall thickness accuracy are considered. It is developed the method for designing of stamping tool.

Keywords: method, thin-walled component, conical shell, rubber, stamping tool, designing.

Elena Demyanenko, Candidate of Technics, Associate Professor at the Metal Forming Department.

E-mail: e-dem@mail.ru

Alexandr Epifanov, Graduate Student.

Zakhar Lygin, Student.