

Листовая штамповка

ИЗМЕНЕНИЕ ТОЛЩИНЫ СТенок ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СТАКАНОВ ПРИ ВЫТЯЖКЕ БЕЗ ПРИЖИМА

Л.С. КОХАН, *д-р техн. наук, проф.*

Ю.А. МОРОЗОВ, *канд. техн. наук, доц.*

А.В. ШУЛЬГИН, *канд. техн. наук, доц.*

*Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)
111250, Москва, Б. Семеновская, 38, т. 8(916)877-66-96; akafest@mail.ru*

Рассматривается деформационная модель утонения листового металла при сворачивании его в пространственное изделие. Согласно равенству изгибающих моментов в растянутом и сжатом слоях заготовки устанавливается величина нейтрального радиуса и деформированные значения наружного и внутреннего радиусов гибки, обусловленные изменением толщины материала.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: изгиб, радиус, деформация, нейтральная поверхность.

Толщина стенок заготовок, полученных методами вытяжки, зависит от положения исследуемого сечения. Так, полуфабрикат вначале перемещается по торцевому скруглению матрицы и затем по ее вертикальным стенкам втягивается до упора в днище штампа, растягиваясь по образующей пуансона. Локализуемые в материале деформации изгиба обуславливают появление растянутых и сжатых слоев, разделяемых нейтральным радиусом ρ_n . В результате давления слоев друг на друга и возникновения тангенциальных напряжений наружный радиус R_1 будет уменьшаться до $R_{нар}$; внутренний же радиус R_2 увеличивается до $R_{вн}$. Используя равенство деформаций в растянутых и сжатых слоях, получаем следующую систему уравнений [1, 2]:

$$\left(\frac{R_{нар}}{\rho_n}\right)^2 \left(\frac{R_{нар}}{\rho_n} - 1\right) = \frac{R_{11}}{R_{21}} Z - 1, \quad (a) \quad \frac{R_{вн}}{\rho_n} \left(\frac{R_{вн}}{\rho_n} + 1 - 2Z\right) \left(2 - \frac{R_{вн}}{\rho_n}\right) = 1 - Z, \quad (б) \quad (1)$$

где $Z = R_2 / \rho_n$ – коэффициент, определяющий положение нейтральной поверхности и вычисляемый из условия равновесия изгибающих моментов в растянутом и сжатом слоях заготовки, $M_{нар} = M_{вн}$.

С условием того, что процесс сворачивания изделия протекает с наличием трения по какой-либо поверхности, выражения изгибающих моментов могут включать дополнительный множитель, учитывающий контактное трение f :

$$\bar{M}_{нар} = \left(\frac{R_{нар}}{\rho_n} - 1\right)^2 \left(\frac{R_{нар}}{\rho_n} + 1\right) \times \underbrace{\left[1 + \frac{f}{3}\right]}_{\text{доп. множ.}}, \quad (a) \quad \bar{M}_{вн} = \left(1 - \frac{R_{вн}}{\rho_n}\right)^2 \left(1 + \frac{R_{вн}}{\rho_n}\right) \times \underbrace{\left[1 - \frac{f}{3}\right]}_{\text{доп. множ.}} \quad (б). \quad (2)$$

Исследуем вытяжку цилиндрического стакана с целью установить закон изменения его толщины по основным элементам контура (рис. 1).

В качестве примера проведем расчет геометрических размеров вытягиваемого стакана $\varnothing 40 \times 3$ мм, имеющего высоту цилиндрической части $h = 20$ мм и радиус скругления пуансона $R_{23} = 5$ мм. Расчет заготовки проводим по средним размерам изделия:

$$\text{радиус цилиндрической части стакана: } R_{ср.1} = R_{11} - \frac{1}{2} S = 20 - \frac{1}{2} 3 = 18,5 \text{ мм;}$$

радиус тора: $R_{cp3} = R_{23} + \frac{1}{2}S = 5 + \frac{1}{2}3 = 6,5$ мм;

радиус доннышка: $R_d = R_{11} - S - R_{23} = 20 - 3 - 5 = 12$ мм.

В этом случае радиус заготовки:

$$R_{заг} = \sqrt{2\pi R_{cp1} h + \pi R_{cp3} \left(\frac{2}{\pi} R_{cp3} + R_d \right) + R_d^2} =$$

$$= \sqrt{2\pi 18,5 \cdot 20 + \pi \cdot 6,5 \left(\frac{2}{\pi} 6,5 + 12 \right) + 12^2} = 34,84 \text{ мм.}$$

Устойчивость детали при возможном гофрообразовании, оценивается соотношением [3]:

$$\frac{100S}{2R_{заг}} = \frac{100 \cdot 3,0}{2 \cdot 34,84} = 4,31 > 1,5,$$

следовательно, вытяжку можно производить без прижима.

Сворачивание плоской заготовки в пространственное изделие обуславливается перераспределением объемов металла к фланцу изделия, вызывающим его утолщение на кромке

$$S' = S(1 + \varepsilon_r) = 3,0(1 + 0,0777) \approx 3,23 \text{ мм,}$$

где ε_r – радиальная деформация, определяемая эмпирической зависимостью:

$$\varepsilon_r = \left(0,0467 \frac{R_{заг}}{R_{11}} - 0,03675 \right) \frac{R_{заг}}{R_{11}} = \left(0,0467 \frac{34,84}{20} - 0,03675 \right) \frac{34,84}{20} = 0,0777.$$

Для первой точки «1», обозначающей кромку изделия, отношение наружного и внутреннего радиусов:

$$\frac{R_{11}}{R_{21}} = \frac{R_{21} + S'}{R_{21}} = \frac{17 + 3,23}{17} = 1,19.$$

Проведенные исследования позволили установить следующую зависимость для ориентировочного нахождения коэффициента нейтральной поверхности

$$Z \cong 1,362 - 0,37 \frac{R_{11}}{R_{21}} = 1,362 - 0,37 \cdot 1,19 = 0,922. \quad (3)$$

Дополнительным итерационным перебором, из равенства изгибающих моментов, уточняется $Z = 0,916$ и согласно системе уравнений (1), значения деформированных радиусов:

$$\frac{R_{нар1}}{\rho_{н1}} = 1,07755 \quad \text{и} \quad \frac{R_{вн1}}{\rho_{н1}} = 0,9166.$$

С учетом контактного трения только по наружной поверхности цилиндрической части стакана $f = 0,2$ (2,a):

$$\bar{M}_{нар1} = (1,07755 - 1)^2 (1,07755 + 1) \left[1 + \frac{0,2}{3} \right] = 0,013327,$$

$$\bar{M}_{вн1} = (1 - 0,9166)^2 (1 + 0,9166) = 0,013331.$$

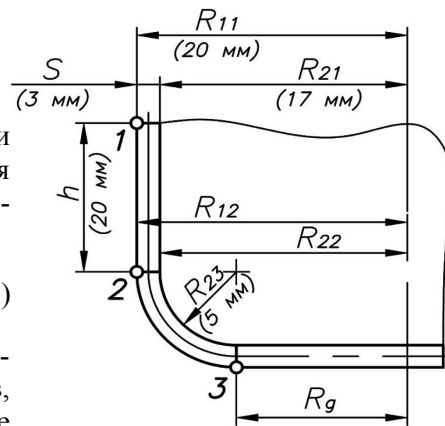


Рис. 1. Профиль изделия

Отличие моментов менее 1%, что позволяет перейти к дальнейшему определению кинематических параметров гибки. Тогда нейтральный радиус:

$$\rho_{н1} = \frac{R_{21}}{Z} = \frac{17}{0,916} = 18,56 \text{ мм.}$$

Деформированное значение наружного радиуса и толщина стакана на кромке в точке «1»:

$$R_{нар1} = \frac{R_{нар1}}{\rho_{н1}} \rho_{н1} = 1,07755 \cdot 18,56 \approx 20,0 \text{ мм,}$$

$$S'_1 = R_{нар1} - R_{21} = 20 - 17 = 3,0 \text{ мм и } S'_1/S = 1,0.$$

Согласно экспериментальным исследованиям: $S'_1 = 3,02 \text{ мм}$.

Далее исследуем отношение размеров толщины для второй точки «2»:

$$\frac{R_{12}}{R_{22}} = \frac{R_{22} + S'_1}{R_{22}} = \frac{17 + 3,0}{17} = 1,176.$$

При наличии технологического зазора между пуансоном и матрицей, превышающего толщину листового металла, контактное трение в данном сечении отсутствует, что позволяет предварительно определить (3)

$$Z \cong 1,362 - 0,37 \cdot 1,176 = 0,927, \text{ окончательно:}$$

$$Z = 0,9228; \quad \frac{R_{нар2}}{\rho_{н2}} = 1,07389 \quad \text{и} \quad \frac{R_{вн2}}{\rho_{н2}} = 0,9233.$$

Относительные изгибающие моменты (без учета контактного трения):

$$\bar{M}_{нар2} = 0,011323 \quad \text{и} \quad \bar{M}_{вн2} = 0,011315 \quad (\text{отличие менее } 1,0\%).$$

Тогда нейтральный радиус: $\rho_{н2} = R_{22}/Z = 17/0,9228 = 18,42 \text{ мм}$.

Деформированное значение наружного радиуса и толщина стенки

$$R_{нар2} = \frac{R_{нар2}}{\rho_{н2}} \rho_{н2} = 1,07389 \cdot 18,42 = 19,78 \text{ мм,}$$

$$S'_2 = R_{нар2} - R_{22} = 19,78 - 17 = 2,78 \text{ мм и } S'_2/S = 0,927.$$

Согласно экспериментальным исследованиям: $S'_2 = 2,82 \text{ мм}$.

Сделаем аналогичные расчеты утонения и для точки сопряжения торового элемента с донышком. В этом случае расчетное отношение наружного и внутреннего радиусов:

$$\frac{R_{13}}{R_{23}} = \frac{R_{23} + S'_2}{R_{23}} = \frac{5 + 2,78}{5} = 1,556.$$

При отсутствии трения вследствие охвата материалом давящего инструмента – пуансона, относительные изгибающие моменты в растянутой и сжатой зонах:

$$\bar{M}_{нар3} = 0,067404 \quad \text{и} \quad \bar{M}_{вн3} = 0,067375.$$

Относительное положение нейтральной поверхности:

$$Z = 0,7991; \quad \frac{R_{нар3}}{\rho_{н3}} = 1,176 \quad \text{и} \quad \frac{R_{вн3}}{\rho_{н3}} = 0,8069.$$

Тогда нейтральный радиус: $\rho_{н3} = R_{23}/Z = 5/0,7991 = 6,26 \text{ мм}$.

Деформированное значение наружного радиуса:

$$R_{нар3} = \frac{R_{нар3}}{\rho_{н3}} \rho_{н3} = 1,176 \cdot 6,26 = 7,36 \text{ мм},$$

и толщина стенки: $S'_3 = R_{нар3} - R_{23} = 7,36 - 5 = 2,36 \text{ мм}$ и $S'_3/S = 0,787$.

Согласно экспериментальным исследованиям: $S'_3 = 2,31 \text{ мм}$.

Увеличение радиуса закругления кромки пуансона, например, $R_{23} = 10 \text{ мм}$ устанавливает $Z = 0,8853$ и $S'_3 = 2,51 \text{ мм}$. Аналогичные расчеты изменения толщины донной части стакана, в зависимости от радиуса скругления пуансона, представлены на рис. 2.

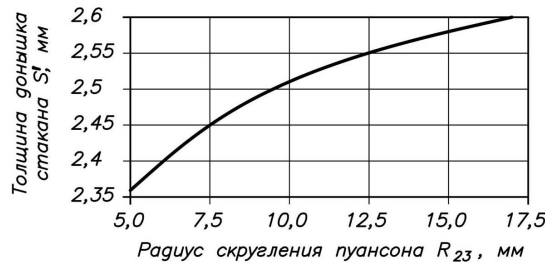


Рис. 2. Изменение толщины доннышка стакана

Таким образом, увеличение радиуса скругления пуансона уменьшает утонение стенки вытянутого изделия до 10%.

Далее исследуем влияние толщины заготовки на величину утонения материала.

При сохранении указанных выше размеров изделия, исследуем стакан $\varnothing 40 \times 5 \text{ мм}$, с внутренним радиусом $R_{21} = 15 \text{ мм}$. Тогда радиус заготовки: $R_{зар} = 33,88 \text{ мм}$.

Радиальная деформация и толщина стакана на кромке:

$$\varepsilon_r = \left(0,0467 \frac{33,88}{20} - 0,03675 \right) \frac{33,88}{20} = 0,0718;$$

$$S' = S(1 + \varepsilon_r) = 5,0(1 + 0,0718) \approx 5,36 \text{ мм}.$$

Отношение наружного и внутреннего радиусов на кромке изделия в точке «1»:

$$\frac{R_{11}}{R_{21}} = \frac{R_{21} + S'}{R_{21}} = \frac{15 + 5,36}{15} = 1,3573.$$

Проведенные расчеты, аналогичные вышеизложенной методике, устанавливают следующее изменение толщины:

$$S'_1 = 4,75 \text{ мм и } S'_1/S = 0,95; \quad S'_2 = 4,24 \text{ мм и } S'_2/S = 0,848;$$

$$S'_3 = 3,45 \text{ мм и } S'_3/S = 0,69.$$

На рис. 3 представлены графики изменения толщины донной части стакана, в зависимости от толщины материала и радиуса скругления пуансона.

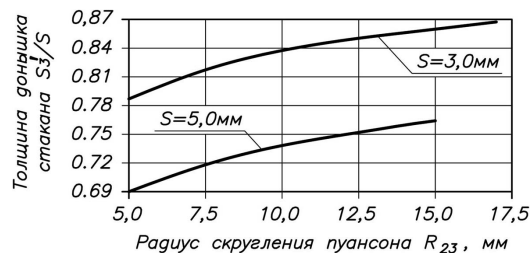


Рис. 3. Изменение толщины доньшка стакана

Анализ графиков подтверждает, что с увеличением толщины материала происходит более интенсивное утонение стенок стакана.

Л и т е р а т у р а

1. *Кохан Л.С., Лебедев Н.Н., Морозов Ю.А., Мочалов Н.А.* Проектирование калибров сортовых станов и операций листовой штамповки. – М.: МГВМИ, 2007. – 340 с.
2. *I.G. Roberov, L.S. Kokhan, Yu.A. Morozov and A.V. Borisov.* Model of wall thinning in shaping relief surfaces // *Steel in Translation*, 2009, Volume 39, Number 5, Pages 379-381.
3. *Зубцов М.Е.* Листовая штамповка. – М.: Машиностроение, 1980. – 432 с.

R e f e r e n c e s

1. *Kohun LS, Lebedev NN, Morozov YuA, Mochalov NA* (2007). *Proektirovanie kalibrov sortovykh stanov i operatsiy listovoy shtampovki*. M.: MGVMI, 340 p.
2. *Roberov IG, Kokhan LS, Morozov YuA and Borisov AV* (2009). Model of wall thinning in shaping relief surfaces. *Steel in Translation*, Vol. 39, Nu 5, p. 379-381.
3. *Zsubzov VE* (1980). *Listovaya Shtampovka*. M.: Mashinostroenie, 432 p.

**CHANGE OF THICKNESS OF WALLS OF CYLINDRICAL GLASSES
AT AN EXTRACT WITHOUT CLIP**

L.S. Kohun, Yu.A. Morozov and A.V. Shul'gin

Moskovskiy gosudarstvenniy mashinostroitelniy universitet (MAMI), Moscow

The deformation model of thinning of sheet metal is considered at its turning in a spatial product. According to equality of the bending moments in the stretched and squeezed layers of preparation the size of neutral radius and the deformed values of external and internal radiuses is established are flexible, thickness of a material caused by change.

KEY WORDS: bend, radius, deformation, neutral surface.