

*к.т.н., доц. Коробко Т.Б.,
к.т.н., доц. Майоров Г.И.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

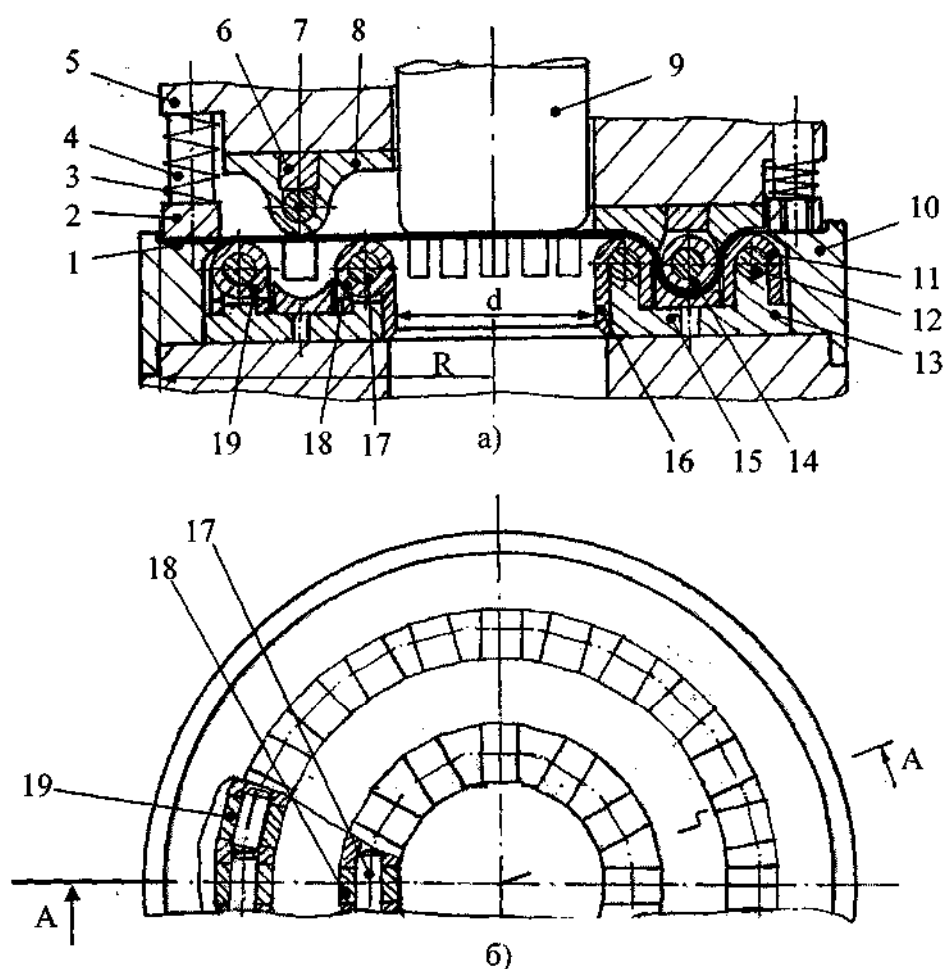
ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБА ВЫТЯЖКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГОФРИРОВАНИЯ В ШТАМПАХ С МНОГОСЕКЦИОННЫМИ ПОВОРОТНЫМИ ДИСКАМИ

Наведені результати теоретичних досліджень, отримані залежності, які описують радіальні та тангенціальні напруження на різних ділянках заготовки та досліджено спосіб витягування з використанням гофрування у штампі із обертовими дисками.

Вытяжка представляет собой процесс превращения плоской заготовки в полую деталь любой формы. Следовательно, вытяжка происходит за счет пластической деформации, сопровождаемой смещением значительного объема металла в высоту [1]. При вытяжке деталей из тонколистовых заготовок существуют определенные соотношения по ширине фланцевой части втягиваемой в матрицу. Так, процесс вытяжки «малой» и «средней» заготовки сопровождается ее полным перетягиванием в стенку изделия, а использование «большой» заготовки со сверхшироким фланцем идет без деформации последнего. Дальнейшее увеличение ширины фланца приводит к тому, что его втягивание в матрицу полностью исключается – деформация сопровождается утонением заготовки и отрывом доньшка. В то же время процесс одновременного получения кольцеобразного гофра на осесимметричной заготовке сопровождается значительным утонением внутреннего борта при его одновременном оформлении [2]. Для того, чтобы избежать большого утонения применяют двухпереходную вытяжку с кантовкой заготовки на 180° , что увеличивает количество переходов, а, следовательно, повышает энергозатраты и снижает производительность. Поэтому встал вопрос о необходимости создания способа штамповки, позволяющего получать детали глубокой вытяжкой за один переход при уменьшении их разнотолщинности и коэффициента вытяжки и был предложен штамп, представленный на рисунке 1.

Процесс формообразования в данном штампе происходит следующим образом. Листовая заготовка, уложенная на матрицедержатель, прижимается к последнему наружным прижимом. Внутренний прижим,

опускаясь, формирует на ней кольцеобразный гофр, расположенный на краю заготовки.



- 1 – заготовка; 2 – наружный прижим; 3 – пружина;
 4 – винт специальный; 5 – верхняя плита; 6 – кольцо; 7, 12, 17 – ось;
 8 – внутренний прижим; 9 – пуансон; 10 – матрицедержатель;
 11 – волоочильная вставка; 13 – основание; 14, 18, 19 – поворотный диск;
 15 – волоочильное кольцо; 16 – матрица

Рисунок 1 – Продольный разрез штампа для глубокой вытяжки: а – в левой части исходное положение инструмента, в правой части – в конце образования кольцевого гофра; б – вид сверху на матрицу.

Затем, зажатую гофрированную заготовку перетягивают в цилиндрическое изделие любой формы с отсутствием или наличием фланца заготовки. Отличительной особенностью штампа данной конструкции является то, что в нем часть трущихся поверхностей в процессе формоизменения заготовки имеет возможность вращаться вокруг своей оси в

виде поворотных дисков и тем самым уменьшать трение между отдельными частями штампа и заготовкой.

На рисунке 2 приведена схема напряженно-деформированного состояния отдельных участков гофрированной заготовки. В виду того, что наружная поверхность формируемого гофра на 2/3 состоит из подвижных поворотных дисков, то на ней значительно будет уменьшено трение между заготовкой и подвижными и неподвижными частями штампа при гофрировании. Получение кольцеобразного гофра можно представить в виде двух операций: прямую вытяжку и реверсивную вытяжку.

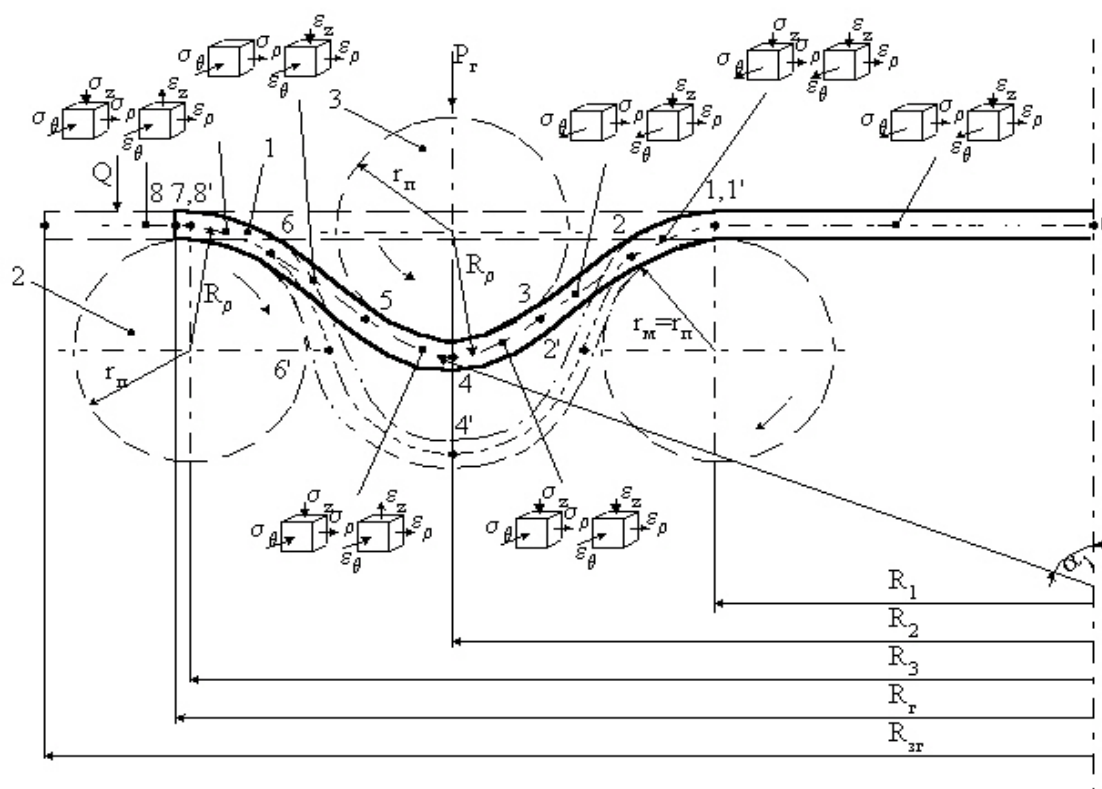


Рисунок 2 – Напряженно-деформированное состояние заготовки при гофрировании: 1 – листовая заготовка, 2 – матрица, 3 – пуансон

Вследствие сплошности заготовки перемещение внутреннего прижима вызывает во фланце растягивающие напряжения σ_ρ , действующие в радиальных направлениях. Действие меридиональных растягивающих напряжений приводит к тому, что во фланце в тангенциальном направлении возникают сжимающие напряжения σ_θ . Их совместное действие обеспечивает втягивание фланца заготовки в полость для гофрирования.

Вследствие сплошности заготовки перемещение внутреннего

прижима вызывает во фланце растягивающие напряжения σ_ρ , действующие в радиальных направлениях. Действие меридиональных растягивающих напряжений приводит к тому, что во фланце в тангенциальном направлении возникают сжимающие напряжения σ_θ . Их совместное действие обеспечивает втягивание фланца заготовки в полость для гофрирования.

При проведении анализа принимаются следующие допущения: напряженное состояние во фланце заготовки плоское; напряжение σ_ρ и σ_θ являются главными нормальными напряжениями; металл изотропен и упрочняется в процессе деформирования; все силы отнесены к срединной поверхности заготовки.

Так как вытяжке подвергается плоская круглая заготовка, пластическую деформацию получает фланец, условно разделяемый на плоскую часть, находящуюся под внешним прижимом и часть над гофрообразующей полостью матрицы. Совместное решение уравнений равновесия и условия пластичности при использовании граничного условия, что при $\rho = R$ (где ρ - расстояние элемента от оси симметрии), $\sigma_\rho = \sigma_{тр}$ (где $\sigma_{тр}$ - напряжение от сил трения) [3] дает нам распределение напряжений во фланце под внешним прижимом, как при обычной вытяжке. Тогда для участка 0-1:

$$\sigma_\rho = \beta\sigma_s \ln\left(\frac{R}{\rho}\right) + \frac{\mu_1 Q_1}{\pi RS}; \quad (1)$$

$$\sigma_\theta = \beta\sigma_s \left(\ln\frac{R}{\rho} - 1\right) + \frac{\mu_1 Q_1}{\pi RS}, \quad (2)$$

где μ_1 - коэффициент трения между заготовкой и неподвижной частью инструмента;

Q_1 - усилие наружного прижима;

S - текущее значение толщины заготовки.

Для отыскания поля деформаций на этом участке воспользуемся уравнением связи напряжений и деформаций, принимая, что напряжения по толщине $\sigma_z = 0$. Тогда получим известную формулу [3]:

$$S_1 = S_0 \left(\frac{R_3}{R}\right)^{\left(\frac{\sigma_\rho + \sigma_\theta}{\sigma_\rho - 2\sigma_\theta}\right)}, \quad (3)$$

где S_1 - значение толщины элемента в процессе вытяжки;

S_0 - начальная толщина материала.

Под действием внутреннего прижима заготовка прогибается. Причем, усилия, действующие со стороны прижима и гофрирующей части матрицы, смещены в радиальном направлении и образуют моменты M .

Во время оформления гофра кольцевая часть заготовки, находящаяся под внешним прижимом движется в гофрообразующую полость и при окончательном оформлении полностью выходит из-под него. Ввиду специфичности формы получаемой заготовки уравнение равновесия принимает вид [3]:

$$\rho \frac{d\sigma_\rho}{d\rho} + \sigma_\rho - \sigma_\theta - \frac{\mu\rho}{\sin\alpha} \left(\frac{\sigma_\rho}{R_\rho} + \frac{\sigma_\theta}{R_\theta} \right) = 0, \quad (4)$$

где $\mu = \frac{\mu_1 + 2\mu_2}{3},$

μ_2 – коэффициент трения между заготовкой и подвижной частью инструмента;

α - угол между касательной к срединной поверхности заготовки в меридиональном сечении в данной точке очага деформации и осью симметрии;

R_ρ и R_θ - радиус кривизны элемента в меридиональном и широтном сечениях;

$$R_\rho = R_{II} + 0,5S;$$

$$R_\theta = \frac{R_3}{\sin\alpha} - (r_n + 0,55) \operatorname{ctg}\alpha.$$

Уравнение пластичности по гипотезе максимальных касательных напряжений имеет вид:

$$\sigma_\rho - \sigma_\theta = \beta\sigma_s. \quad (5)$$

На формуемом с растяжением кольцевом гофре можно выделить четыре участка (рис. 2). Для облегчения интегрирования в таблице 1 приведены упрощающие коэффициенты, позволяющие решать уравнения (4) и (5) со своими знаками радиусов кривизны R_ρ и R_θ .

Получили дифференциальное уравнение типа:

$$\frac{d\sigma_\rho}{d\rho} + a_{j-k}\sigma_\rho + b_{j-k} + \frac{c_{j-k}}{\rho} = 0, \quad (6)$$

где j, k – номера участков согласно рис. 2.

Таблица 1 – Упрощающие коэффициенты

Участок	a	b	c
1-2	$-\frac{\mu}{R_\rho \sin \alpha} - \frac{\mu}{R_\theta \sin \alpha}$	$\frac{\mu\beta\sigma_s}{R_\theta \sin \alpha}$	$\beta\sigma_s$
2-3	$\frac{\mu}{R_\rho \sin \alpha} - \frac{\mu}{R_\theta \sin \alpha}$	$\frac{\mu\beta\sigma_s}{R_\theta \sin \alpha}$	
3-4	$\frac{\mu}{R_\rho \sin \alpha} + \frac{\mu}{R_\theta \sin \alpha}$	$-\frac{\mu\beta\sigma_s}{R_\theta \sin \alpha}$	
4-5	$-\frac{\mu}{R_\rho \sin \alpha} + \frac{\mu}{R_\theta \sin \alpha}$	$-\frac{\mu\beta\sigma_s}{R_\theta \sin \alpha}$	

Его решение нам дает:

$$\sigma_{\rho_{j-k}} = -\frac{b_{j-k}}{a_{j-k}} - c_{j-k}e^{-a_{j-k}\rho} \ln \rho - c_{j-k}e^{-a_{j-k}\rho} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{(a_{j-k}\rho)^i}{i \cdot i!} + c_1 e^{-a_{j-k}\rho}.$$

Постоянную интегрирования найдем из условия, что при $\rho = R_3$,

$$\sigma_\rho = \beta\sigma_s \left(\ln \frac{R}{\rho} \right) + \frac{\mu_1 Q_1}{\pi R S} = \sigma_{\rho_{0-1}};$$

$$c_1 = \frac{b_{j-k}}{a_{j-k}} e^{-a_{j-k}R_3} + c_{j-k} \ln R_3 + c_{j-k} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{(a_{j-k}R_3)^i}{i \cdot i!} + \sigma_{\rho_{0-1}} e^{a_{j-k}(R_3-\rho)}.$$

Трение между волоочильной вставкой и поворотным диском учтем множителем $e^{\mu\alpha}$. Тогда:

$$\sigma_{\rho_{1-2}} = \left\{ \frac{b_{1-2}}{a_{1-2}} \left(e^{a_{1-2}(R_3-\rho)} - 1 \right) + \sigma_{\rho_{0-1}} e^{a_{j-k}(R_3-\rho)} + \right. \\ \left. + c_{1-2} e^{-a_{1-2}\rho} \left(\ln \frac{R_3}{\rho} + \sum_{i=1}^{\infty} \frac{a_{1-2}^i}{i \cdot i!} \left(R_3^i - \rho^i \right) \right) + c_{1-2} \frac{S}{2(2r_n + S)} \right\} e^{\mu\alpha}. \quad (7)$$

Значение функции σ_ρ определено в первом приближении без учета изменения толщины заготовки (S) в процессе деформирования.

В формуле (7) учтено, что на участке 1-2, аналогично с участком 4-5, действуют изгибающие моменты. В общем виде эта прибавка на изгиб составит:

$$\Delta\sigma_\rho = c_{j-k} \frac{S}{2(2r_n + S)}. \quad (8)$$

С учетом изложенного можем записать, чему будут равны радиальные напряжения на других участках заготовки:

$$\sigma_{\rho_{2-3}} = \left\{ \frac{b_{2-3}}{a_{2-3}} \left(e^{a_{2-3}(R_2+r_n+0.5S-\rho)} - 1 \right) + \sigma_{\rho_{1-2}} e^{a_{2-3}(R_2+r_n+0.5S-\rho)} + \right. \\ \left. + c_{2-3} e^{-a_{2-3}\rho} \left(\ln \frac{R_2+r_n+0.5S}{\rho} + \sum_{i=1}^{\infty} \frac{a_{2-3}^i}{i \cdot i!} \left((R_2+r_n+0.5S)^i - \rho^i \right) \right) \right\} e^{\mu\alpha}; \quad (9)$$

$$\sigma_{\rho_{3-4}} = \left\{ \frac{b_{3-4}}{a_{3-4}} \left(e^{a_{3-4}(R_2-\rho)} - 1 \right) + \sigma_{\rho_{2-3}} e^{a_{3-4}(R_2-\rho)} + \right. \\ \left. + c_{3-4} e^{-a_{3-4}\rho} \left(\ln \frac{R_2}{\rho} + \sum_{i=1}^{\infty} \frac{a_{3-4}^i}{i \cdot i!} \left(R_2^i - \rho^i \right) \right) \right\} e^{\mu\alpha} \quad (10)$$

$$\sigma_{\rho_{4-5}} = \left\{ \frac{b_{4-5}}{a_{4-5}} \left(e^{a_{4-5}(R_1-r_n+0.5S-\rho)} - 1 \right) + \sigma_{\rho_{3-4}} e^{a_{4-5}(R_1+r_n+0.5S-\rho)} + \right. \\ \left. + c_{4-5} e^{-a_{4-5}\rho} \left(\ln \frac{R_1+r_n+0.5S}{\rho} + \sum_{i=1}^{\infty} \frac{a_{4-5}^i}{i \cdot i!} \left((R_1+r_n+0.5S)^i - \rho^i \right) \right) + \right. \\ \left. + c_{4-5} \frac{S}{2(2r_n + S)} \right\} e^{\mu\alpha} \quad (11)$$

Принимаем, что деформации по толщине постоянны, так как толщина заготовки прямо пропорциональна радиусу ρ на участке гофрирования. Таким образом, приращения деформаций могут быть найдены из выражений [3]:

$$d\varepsilon_{\theta} = \frac{d\rho}{\rho}, \quad d\varepsilon_z = \frac{dS}{S}.$$

Тогда, с целью упрощения, произведя замену показателя степени через

$$\frac{\sigma_{\rho} + \sigma_{\theta}}{\sigma_{\rho} - 2\sigma_{\theta}} = \chi,$$

толщина заготовки на каждом из участков ее гофрирования будет определяться по формуле:

$$S_{j-k} = S_0 \left(\frac{R^*}{\rho} \right)^{\chi}, \quad (12)$$

где R^* , ρ - начальный и текущий радиус каждого участка.

Анализ показал, что при получении кольцеобразного гофра на заготовке под вытяжку снижает контактные силы трения на перетяжных радиусах инструмента. Получены распределения напряжений и деформаций в гофрируемом фланце и разработан способ глубокой вытяжки с использованием гофрирования в штампе с поворотными дисками.

Приведены результаты теоретических исследований, получены зависимости, описывающие радиальные и тангенциальные напряжения на разных участках заготовки и исследован способ вытяжки с использованием гофрирования в штампе с поворотными дисками.

The results of theoretical investigations are presented. There were received the dependencies, describing the radial and tangential stress on different sectors of billets and draw-forming method with using channeling in the stamp with rotary discs was studied.

Библиографический список.

1. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке: Л.: Машиностроение, 1979. – 520 с.

2. Євстратов В.А., Левченко В.М., Кутецький Я.В. Експериментальне дослідження особливостей формозмінення та силового режиму витягування осесиметричних деталей// Вестник Обработка металлов давлением – Харьков: изд-во Харьковск. гос. политех. ун-та. – 2000.- № 76. – С. 40-43.

3. Мошин Е.Н. Технология штамповки крупногабаритных деталей. – М.: Машиностроение. - 1973.- 240 с.

4. Попов Е.А. Основы теории листовой штамповки. – М.: Машиностроение. - 1977. – 278 с.

Рекомендовано к печати д.т.н., проф. Луценко В.А.