

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

ИССЛЕДОВАНИЕ НДС ПРИ ОБРАЗОВАНИИ ГОФРА

Наведені результати теоретичних досліджень та отримані диференціальні рівняння, в яких за допомогою спрощуючих коефіцієнтів описано напружено-деформований стан при отриманні гофру на заготовці.

Осесимметричные детали, получаемые в процессе формоизменения листового материала, являются видами металлопродукции, которая применяется практически во всех отраслях промышленности.

Совершенствование процессов вытяжки направлено на сокращение количества переходов, увеличение относительной высоты заготовки, обеспечение геометрической точности и увеличение производительности без снижения характеристик прочности и жесткости. Для этого применяют различные способы вытяжки - реверсивную, комбинированную, с подогревом штамповой оснастки и др.

Одним из перспективных направлений является применение штампа с поворотными дисками [1]. Однако для разработки рациональной формы заготовки и технологического процесса требуется исследование напряженно-деформированного состояния заготовки, что является задачей данной работы.

Процесс формообразования в таком штампе происходит следующим образом (рис.1). Листовая заготовка, уложенная на матрицедержатель, прижимается к последнему наружным прижимом. Внутренний прижим, опускаясь, формирует на ней кольцеобразный гофр, расположенный на краю заготовки. 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.

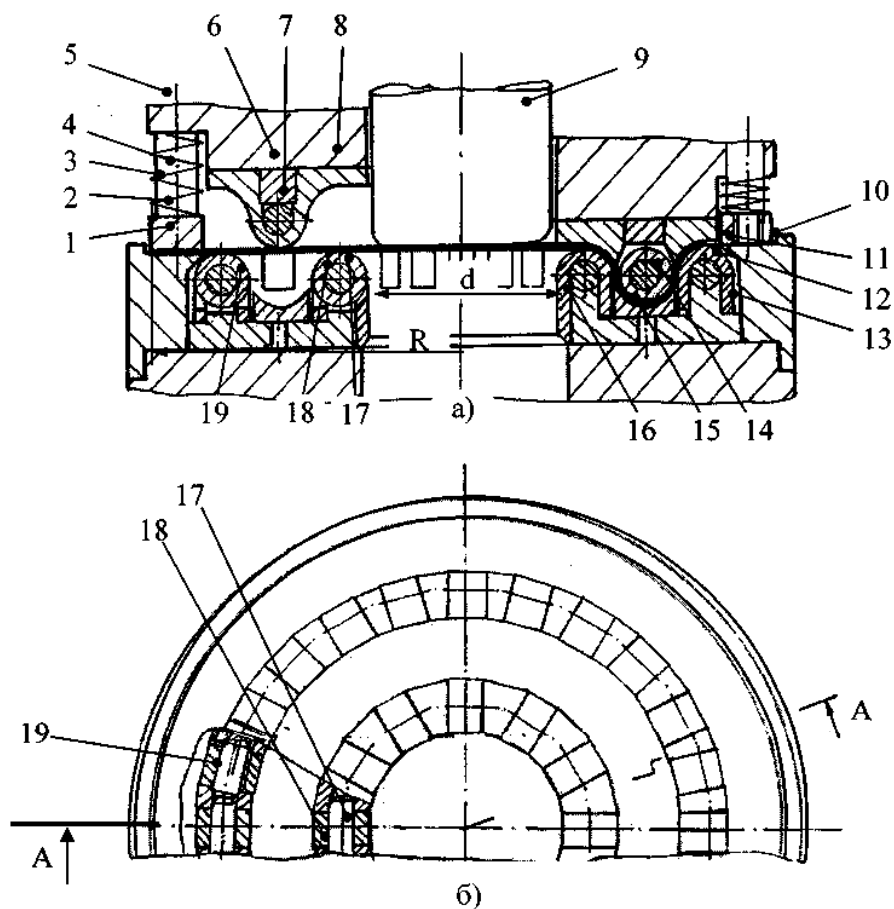


Рисунок 1 – Продольный разрез штампа для глубокой вытяжки:

а – в левой части исходное положение инструмента, в правой части – в конце образования кольцевого гофра; б – вид сверху на матрицу.

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 – волочильная вставка; 13 – основание; 14, 18, 19 – поворотный диск; 15 – волочильное кольцо; 16 – матрица

На рис. 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 [2].

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

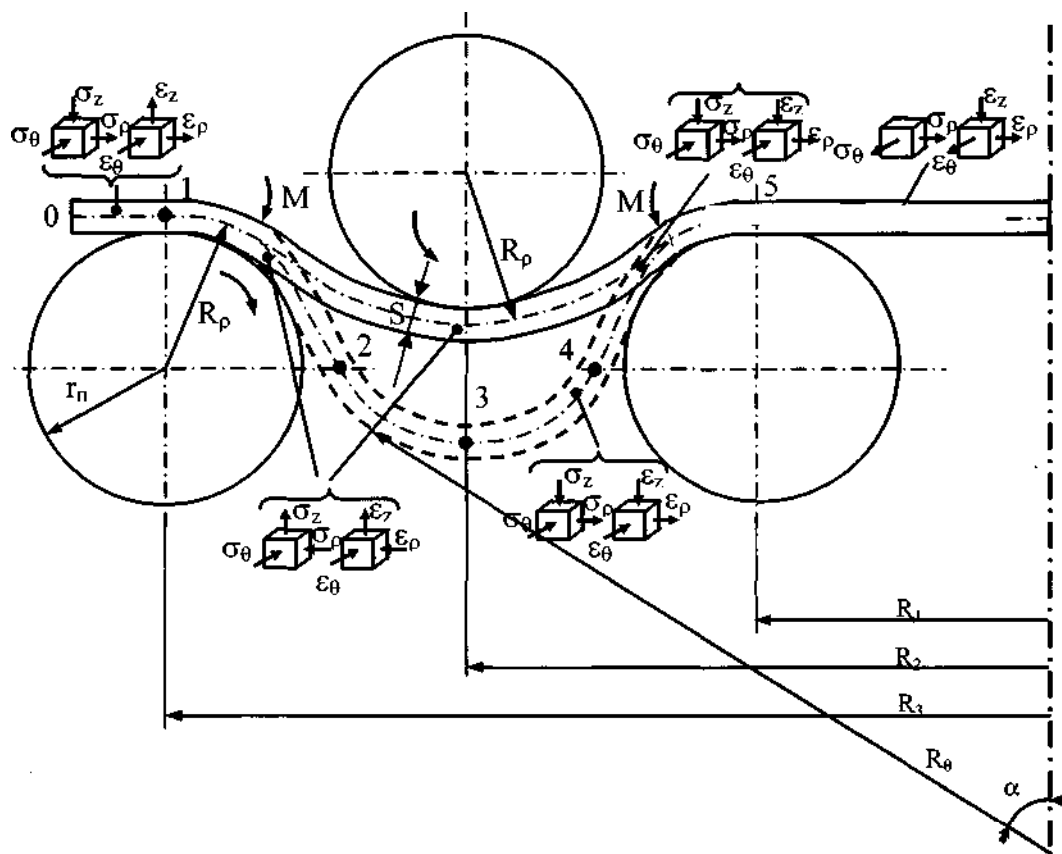


Рисунок 2 – Схема напряженно-деформированного состояния отдельных участков гофрирования заготовки и изгибающие моменты

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), $\sigma_r = \sigma_{тр}$ (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 .

Ввиду специфичности формы получаемой заготовки уравнение равновесия принимает вид [4]

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

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 радиальном и тангенциальном сечениях;

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

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

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 табл.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.

Его решение нам дает

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

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	$-\frac{\mu}{R_\rho \sin \alpha} + \frac{\mu}{R_\theta \sin \alpha}$	$-\frac{\mu\beta\sigma_s}{R_\theta \sin \alpha}$	

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

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

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

Ввиду того, что для вытяжки рассматривается осесимметричная заготовка, определим усредненную тангенциальную деформацию, действующую на нее в процессе деформирования

$$e_{\theta} = \ln \frac{R_3}{R}. \quad (7)$$

Радиальная деформация определится из выражения

$$e_{\rho} = \ln \frac{l_0}{l}, \quad (8)$$

где l_0 – длина дуги контакта заготовки и перетяжного ребра по средней линии;

l – горизонтальная проекция длины дуги контакта.

Пренебрегая упругими деформациями, условие постоянства объема может быть записано в виде

$$e_{\rho} + e_{\theta} + e_s = 0,$$

где e_s – логарифмическая деформация по толщине.

Тогда деформация по толщине составит

$$e_s = -(e_{\rho} + e_{\theta}). \quad (9)$$

Таким образом, получены распределения напряжений и деформаций в гофрируемом фланце, учитывающие изменение кривизны, дифференцированные условия трения и упрочнение, а также позволяющие определить рациональную форму кольцеобразных гофров для увеличения вытяжной способности.

Приведены результаты теоретических исследований и получены дифференциальные уравнения, в которых с помощью упрощающих коэффициентов описано напряженно-деформированное состояние при получении гофра на заготовке.

The results of theoretical researches are presented and there were equations in which using the simplifying it was described the tensely-deformed state during corrugation of billet.

Библиографический список

1. Патент України: 47765А, В21D 22/02. Штамп для глибокого витягування / Т.Б. Коробко, В.О. Луценко, Г.І. Майоров, Д.Г. Майоров 2001096195; Заяв.13.03.2001; Опубл. 15.07.2002 Бюл. № 7– 4 с.

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

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

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