

УДК 621.7.044

Р. Г. АРГАТ, ст. преподаватель, КрНУ;

Р. Г. ПУЗЫРЬ, канд. техн. наук, доц., КрНУ;

О. Н. ДОЛГИХ, студент, КрНУ, Кркменчуг

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ НА ВЫТЯЖНОМ РЕБРЕ МАТРИЦЫ ПРИ ВЫТЯЖКЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК

В статье приведены результаты теоретического анализа процесса вытяжки цилиндрических деталей из листового металла, учитывающие влияние технологических и геометрических параметров процесса на распределение опасных растягивающих напряжений на вытяжном ребре матрицы. Рассмотрено равновесие тороидальной оболочки без учета влияния касательных напряжений. Получена зависимость для расчета величины растягивающих напряжений на вытяжной кромке матрицы, которая позволяет учитывать влияние коэффициента вытяжки, угла охвата вытяжной кромки матрицы материалом заготовки, толщины последней и радиуса закругления матрицы.

Ключевые слова: вытяжка, листовая заготовка, деформация, пластичность, диаметр, радиус, равновесие.

Введение. Вытяжка цилиндрических заготовок из листового металла является достаточно распространенным процессом в практике листовой штамповки, т.к. большая часть изделий до 60–70% изготавливаются именно им. Распространенность процесса вытяжки еще обуславливается достаточной степенью изученности явлений, происходящих в очаге деформации, большим количеством экспериментальной информации, а также множеством справочных рекомендаций, позволяющих учитывать все особенности способа и проектирования переходов, основываясь на них.

Анализ последних исследований и литературы. Теоретическому анализу процесса вытяжки цилиндрических деталей посвящены ряд работ [1, 2, 3, 4], в которых для определения напряженно-деформированного состояния решаются упрощенные уравнения равновесия совместно с условием пластичности по гипотезе максимальных касательных напряжений, что дает возможность авторам определить распределение напряжений на любом из участков заготовки аналитически, выявить технологические факторы данного способа, которые влияют на получение качественного полуфабриката. Развиваются методы конечно-элементного моделирования [5, 6] для определения компонента тензора напряжений и деформаций, что позволяет визуализировать результаты расчетов, и, основываясь на них вести построения рациональных вытяжных переходов.

Цель исследований, постановка проблемы. Целью работы является установление поля напряжений на вытяжном ребре матрицы при вытяжке цилиндрических деталей из листового металла без прижима фланца заготовки.

Материал и результаты исследований. Как показывают результаты ранее проведенных теоретических исследований [3, 4], вопросам распределения напряжений в материале заготовки на вытяжном ребре матрицы уделялось достаточно внимания. Однако приращение меридиональных напряжений учитывалось в основном за счет изгиба заготовки при переходе закругленной кромки полуфабриката в вытягиваемый стаканчик [4]:

$$\Delta\sigma_{\rho} = \frac{1}{4}\sigma_s \frac{s}{r_m + \frac{s}{2}}, \quad (1)$$

где σ_s – предел текучести металла;

s – толщина заготовки;

r_m – радиус закругления кромки матрицы.

Как видно из приведенной зависимости приращение меридиональных напряжений зависит от механических и геометрических параметров заготовки, геометрии матрицы и будет уменьшаться с увеличением радиуса закругления входной кромки последней.

Достаточно точный анализ поля напряжений был выполнен по моментной теории оболочек [3], однако формальные зависимости оказались достаточно схожими и в силу этого не позволяют однозначно выявить характеристики процесса вытяжки, которые влияют на распределение меридиональных напряжений на вытяжной кромке матрицы.

Для определения поля напряжений в материале заготовки на вытяжном ребре матрицы исходили из безмоментной теории оболочек и гипотез Кирхгофа-Лява. Схематизацию очага деформации проводили путем отделения прямолинейных участков фланца и стенок от закругленной поверхности полуфабриката. Рассматривали уравнения равновесия для тора с осевой симметрией (см. рис. 1, 2).

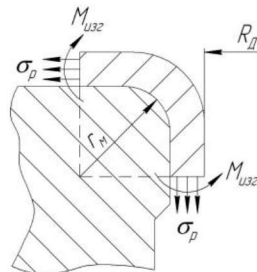


Рис. 1 – Участок заготовки на радиусе закругления матрицы

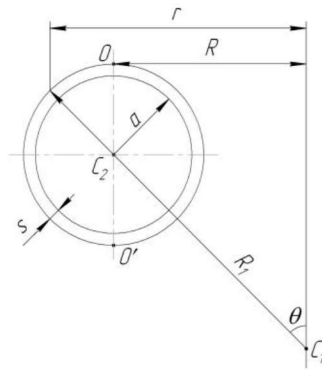


Рис. 2 – Поперечное сечение круговой тороидальной оболочки

Вводим криволинейные координаты θ и φ ; под подразумевается полярный угол в плоскости меридиана; под φ – в плоскости параллельного круга; $a = r_m$; R – радиус вытягиваемого изделия. Все расчеты сводим к серединной поверхности заготовки. Уравнение равновесия в усилиях будет иметь вид [7]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial R_2 N_1}{\partial \varphi} + \partial((R_1 \sin \theta)T) - N_2 \frac{\partial R_2}{\partial \varphi} + T \frac{\partial R_1 \sin \theta}{\partial \theta} &= 0 \\ \frac{\partial((R_1 \sin \theta)N_2)}{\partial \theta} + R_2 \frac{\partial T}{\partial \varphi} - N_1 \frac{\partial(R_1 \sin \theta)}{\partial \theta} + T \frac{\partial R_2}{\partial \varphi} &= 0 \\ \frac{N_1}{R_1} + \frac{N_2}{R_2} &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где N_1 , N_2 , T – внутренние меридиальные, тангенциальные и сдвигающие напряжения.

Учитываем, что деформация осесимметричная, а значит, исчезают члены системы (2), содержащие $\partial \varphi$, а также сдвиговое усилие T , и что $R_1 = \frac{N}{\sin \theta} = \frac{a(1 + h \sin \theta)}{k \sin \theta}$, $R_2 = a$, $k = \frac{a}{R}$, тогда будем иметь:

$$N_2 a \cos \theta + \frac{\partial N_2}{\partial \theta} \frac{a}{k} (1 + k \sin \theta) - N_1 a \cos \theta = 0 \quad (3)$$

Для решения полученного уравнения используем уравнение пластичности по гипотезе максимальных касательных напряжений:

$$\sigma_\rho - \sigma_\theta = \sigma_s \quad (4)$$

где σ_ρ – максимальное растягивающее меридиальное напряжение;

σ_θ – минимальное главное нормальное тангенциальное напряжение;

σ_s – предел текучести материала.

Совместное решение уравнений с учетом того, что $\sigma = \frac{N}{s}$ дает дифференциальное уравнение:

$$d\sigma_\rho = \sigma_s \frac{k \cos \theta}{1 + k \sin \theta} d\theta, \quad (5)$$

где $N_1 = s\sigma_\rho$, $N_2 = s\sigma_\theta$.

Интегрирование уравнения (5) с использованием граничного условия $\theta = 0$ $\sigma_\rho = \sigma_s \ln \frac{R_3}{R_d + s + r_m}$ (на границе зон фланца и начала образования тороидального участка) позволяет получить формулу для определения величины σ_ρ в функции угла θ охвата металлом кромки матрицы

$$\sigma_\rho = \sigma_s \left(\ln \frac{R_3}{R_d + s + r_m} + \frac{\frac{r_m}{R_d + s + r_m} \sin \theta}{1 + \frac{r_m}{R_d + s + r_m} \sin \theta} \right), \quad (6)$$

где R_3 – радиус заготовки;

R_d – радиус вытягиваемой детали;

s – толщина заготовки;

r_m – радиус входной кромки матрицы (рис. 1).

Так как заготовка деформируется осесимметрично, то слагаемое, содержащее $\sin \theta$ можно опустить, тогда формула (6) упрощается:

$$\sigma_\rho = \sigma_s \left(\ln \frac{R_3}{R_d + s + r_m} + \frac{r_m}{R_d + s + r_m} \sin \theta \right). \quad (7)$$

Из уравнения пластичности находим формулу для определения величины тангенциальных напряжений σ_θ в функции угла охвата θ

$$\sigma_\theta = -\sigma_s \left(1 - \ln \frac{R_3}{R_d + s + r_m} - \frac{r_m}{R_d + s + r_m} \sin \theta \right). \quad (8)$$

В том случае, когда угол охвата заготовкой скругленной кромки матрицы

достигает значения $\theta = \frac{\pi}{2}$, $\sin \theta = 1$, меридиональные напряжения будут иметь максимальное значение

$$\sigma_{\rho} = \sigma_s \left(\ln \frac{R_3}{R_{\text{д}} + s + r_m} + \frac{r_m}{R_{\text{д}} + s + r_m} \right) \quad (9)$$

Сравним результаты полученного решения с результатами исследований Попова Е.А. [4].

При переходе фланцевой части заготовки на скругленную кромку матрицы меридиальные напряжения увеличиваются скачкообразно на величину $\Delta\sigma_{\rho}$, которая учитывает приращение напряжений в зависимости от изгиба и спрямления на входе в отверстие матрицы [4] и их максимальная величина будет выражаться зависимостью

$$\Delta\sigma_{\rho} = \frac{s}{2r_m + s} \sigma_s, \quad (10)$$

Для заготовки с $R = 50$ мм, $s = 2$ мм, $R_{\text{д}} = 25$ мм и $r_m = 10$ мм по зависимости (10) $\Delta\sigma_{\rho} = 0,09\sigma_s$, а по формуле (9) $\Delta\sigma_{\rho} = 0,27\sigma_s$, т.е. в три раза больше.

Выводы. Как показали теоретические исследования процесса вытяжки цилиндрических деталей, меридиональные растягивающие напряжения при подходе к кромке матрицы не увеличиваются скачкообразно, а плавно возрастают от значения $\sigma_s \ln \frac{R_3}{R_{\text{д}} + s + r_m}$ до значения $\sigma_s \left(\ln \frac{R_3}{R_{\text{д}} + s + r_m} + \frac{r_m}{R_{\text{д}} + s + r_m} \right)$ и изменяются на вытяжном ребре по закону синуса. Причем их максимальное значение уменьшается с увеличением диаметра вытягиваемого стаканчика, что соответствует увеличению коэффициента вытяжки $m = R_{\text{д}}/R_3$ – уменьшению степени деформации. С ростом величины радиуса закругления входной кромки матрицы, максимальные растягивающие напряжения увеличиваются, но с меньшей интенсивностью, чем при уменьшении диаметра изделия. Полученная зависимость более точно раскрывает сущность влияния параметров вытяжки на величину опасных напряжений и может использоваться в технологических расчетах.

Список литературы: 1. Шофман Л. А. Теория и расчеты процессов холодной штамповки. – М.: Машиностроение, 1964. – 375 с. 2. Аверкиев Ю. А., Аверкиев А. Ю. Технология холодной штамповки. – Москва: Машиностроение, 1989. 3. Казакевич И. И. Расчет процессов осесимметричного деформирования осесимметричных оболочек / И.И. Казакевич // В. кн.: Машины и технология обработки металлов давлением. М.: Машгиз, 1960. – № 98 с. – С. 174–202. 4. Попов Е. А. Основы теории листовой штамповки / Е. А. Попов. – М.: Машиностроение, 1977. – 278 с. 5. Калюжний О. В. Визначення максимального зусилля деформування та потовщення фланця при витягуванні з диференційованим радіальним підпором фланця / О. В. Калюжний // Обработка материалов давлением: сборник научных трудов. – Краматорск: ДГМА, 2012. – № 1 (30). – С. 38–44. 6. Калюжний В. Л. Інтенсифікація технології виготовлення виробу «Балон 180x184» /

В. Л. Калюжний, А. С. Запорожченко, В. В. Піманов // Обработка материалов давлением: сборник научных трудов. – Краматорск: ДГМА, 2012. – № 2 (31). – С. 136–140. 7. Вольмир А. С. Устойчивость деформируемых систем / А. С. Вольмир. – М.: Наука, 1967. – 984 с.

Bibliography (transliterated): 1. *Shofman L. A.* Theory and calculations of processes of the cold stamping. – Moscow: Engineer, 1964. – 375 p. 2. *Averkiev Y.A., Averkiev A. Y.* Technology of the cold stamping. – Moscow: Engineer, 1989. 3. *Kazakevich I. I.* Calculation of processes of axisymmetrical deformation of axisymmetrical shells / of I. I. Kazakevich // Higher book: Machines and technology of treatment of metals of pressure. – Moscow: Mashgiz, 1960. – No 98 p. – P. 174–202. 4. *Popov E. A.* Bases of theory of the sheet stamping / of E. A. Popov. – Moscow: Engineer, 1977. – 278 p. 5. *Kalyughniyi V. L.* Determination of maximal effort of deformation and bulge of flange at drawing out with differentiated radial skid of flange / V. L. Kalyughniyi // Treatment of materials pressure: collection of scientific labour. – Kramatorsk: DGMA, 2012. – No 1 (30). – P. 38–44. 6. *Kalyughniyi V. L.* Intensification of technologies of making of good is «Bulb 180x184» / V. L. Kalyughniyi, A. P. Zaporozhenko, V. V. Pimanov // Treatment of materials pressure: collection of scientific labour P. – Kramatorsk: DSMA,, 2012. – No 2 (31). – P. 136–140. 7. *Volmir A. P.* Stability of the deformed systems / A. P. Volmir. – Moscow: Science, 1967. – 984 p.

Поступила (received) 25.10.2014

УДК 621.923

Т. М. БРИЖАН, ГВУЗ ”ПГТУ”, Мариуполь;
С. А. ДИТИНЕНКО, канд. техн. наук, ХНЭУ, Харьков³

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ

Аналитически определены параметры срезов при обработке отверстий развертками с наклонными зубьями и условия безвибрационной обработки. Доказана возможность существенного увеличения фактического переднего угла зуба развертки за счет увеличения его угла наклона, что способствует снижению силовой напряженности процесса резания, в особенности радиальной составляющей силы резания, которая при съеме неравномерного припуска определяет интенсивность колебаний в технологической системе, а соответственно точность обработки отверстия.

Ключевые слова: развертывание отверстия, безвибрационная обработка, интенсивность колебаний, технологическая система, обрабатываемый материал, толщина среза.

Введение. При съеме неравномерных припусков на операциях развертывания отверстий в технологической системе возникают интенсивные колебания, которые не позволяют обеспечить высокие показатели точности обработки отверстий. Как известно, одним из эффективных методов снижения интенсивности колебаний при обработке отверстия является расположение зубьев развертки под наклоном. В этом случае обеспечивается переход от ударного к более плавному характеру взаимодействия зубьев развертки с обрабатываемым материалом, что повышает точность обработки. Поэтому определение условий эффективного применения данного метода обработки является актуальной задачей технологии машиностроения.