

УДК 621. 735. 32. 001.8

Денищенко П. Н.
Коваленко В. М.**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО НАГРУЖЕНИЯ ПРИ ВЫТЯЖКЕ
НА ВЕЛИЧИНУ УСИЛИЯ ПРИЖИМА**

Снижение силы деформирования, а, следовательно, и удельных нагрузок на рабочие части штампов с целью повышения их стойкости, особенно при холодной штамповке – одно из приоритетных направлений в области теории обработки металлов давлением.

Перспективным способом уменьшения силы деформирования в ресурсосберегающих технологических процессах ОМД является комбинированное нагружение деформируемой заготовки, заключающееся в сочетании возвратно-поступательного движения деформирующего инструмента и вращения его вокруг своей оси и соответственно в сочетании линейной и сдвиговой деформации заготовки [1–3].

Однако в данных работах не был проведен анализ силового режима процесса вытяжки цилиндрической заготовки при комбинированном нагружении и не были рассмотрены факторы, приводящие к снижению усилия деформирования при вытяжке с кручением.

Целью данной работы является оценка степени влияния кручения при вытяжке на величину усилия.

Эффект снижения силы деформирования P_k при вытяжке с кручением по сравнению с силой P при вытяжке без кручения, который может быть оценен безразмерным параметром $n_p = P_k/P$, обусловлен двумя факторами:

- 1) изменением кинематики трения на контактной поверхности «металл-инструмент»;
- 2) наличием в тензоре напряжений дополнительных (по сравнению с вытяжкой без кручения) сдвиговых компонентов $\tau_{\varphi z}$ $\tau_{\varphi r}$, действующих на торцовой и цилиндрической поверхности на текущем расстоянии r от оси z (рис. 1).

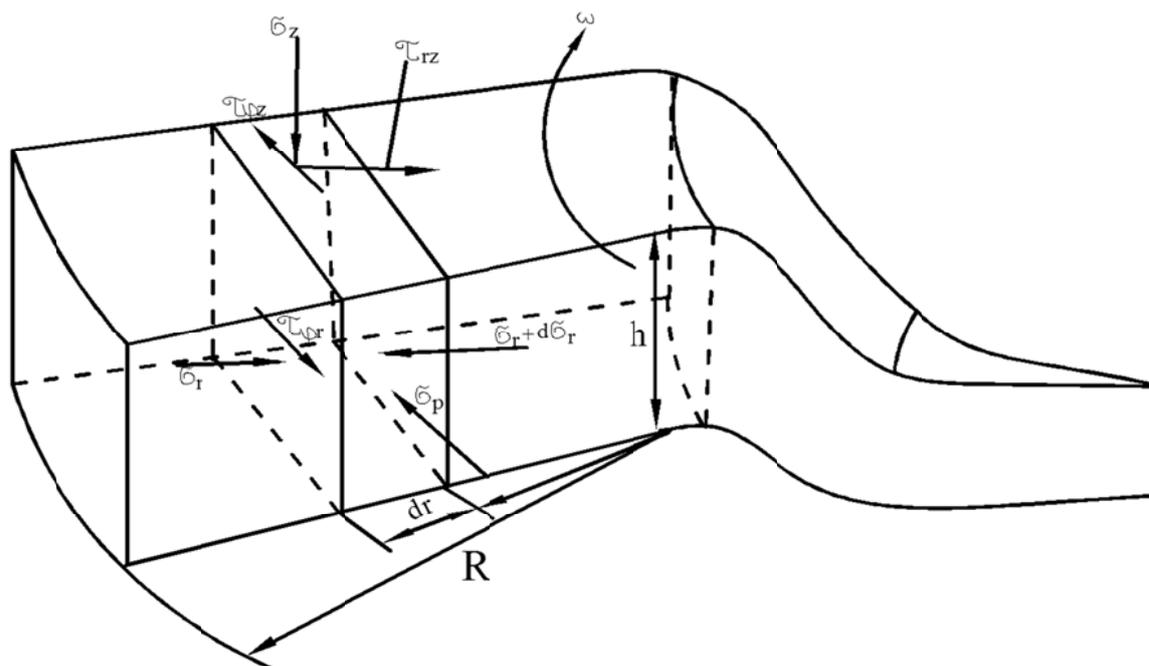


Рис. 1. Напряженное состояние элементарного объема при вытяжке с кручением

В результате углового проскальзывания инструмента по поверхности металла или проскальзывания тонкого слоя металла, схватываемого инструментом (или срезаемого инструментом, если он имеет достаточно шероховатую или оребренную в радиальном направлении поверхность), по нижележащему слою металла образца происходит поворот вектора касательного напряжения τ на поверхности контакта.

Угол поворота вектора τ определяется соотношением:

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{v_\varphi}{v_r} = \operatorname{arctg} \frac{\tau_{\varphi r}}{\tau_{rz}}, \quad (1)$$

где v_φ и v_r – угловая и радиальная составляющие скорости проскальзывания частиц металла относительно инструмента:

$$v_\varphi = wr(1 - K_\varphi), \quad (2)$$

$$v_r = \frac{v_{oc}r}{2h}(1 - K_r), \quad (3)$$

где w – угловая скорость инструмента: $w = 2\pi n$;

n – число оборотов в минуту подвижной части штампа относительно неподвижной части;

r – расстояние от осевой линии до любой исходной точки на поверхности;

K_φ и K_r – коэффициенты схватывания в направлении φ и r соответственно:

$$K_\varphi = \frac{\varphi_{мет}}{\varphi_{ин}}; \quad K_r = 1 - \frac{R'}{R_{\mu=0}};$$

$\varphi_{мет}$ – угол поворота точек на торцевой поверхности образца;

$\varphi_{ин}$ – угол поворота инструмента;

R' – радиус круга контакта торца образца с инструментом;

$R_{\mu=0}$ – текущий радиус заготовки при вытяжке с коэффициентом трения $\mu = 0$;

v_{oc} – скорость осевого перемещения инструмента, мм/мин;

h – текущая толщина фланца образца;

$\tau_{\varphi z}$, τ_{rz} – соответственно угловая и радиальная составляющие касательного напряжения, действующего со стороны инструмента на частицы металла.

При вытяжке с кручением, когда отношение v_{oc}/w имеет небольшое значение, $K_r \cong 0$.

Оценка коэффициента K_φ связана с определенными трудностями, поскольку $\varphi_{мет}$ зависит от r . Так, при достаточно больших степенях деформации наибольший поворот кромок радиальных линий на торцах образца наблюдается на расстоянии $r \leq 0,5R$ (где R – текущий радиус фланца заготовки), а проекции нижней и верхней кромок на плоскость, перпендикулярную оси инструмента, имеют вид восьмерки.

Отсюда следует, что наибольшее схватывание происходит приблизительно на расстоянии от $r = 0$ до $r = 0,5R$ в зоне заторможенного проскальзывания, или, точнее, в зоне заторможенного срезания металла при вытяжке с кручением прижимом с рифленой поверхностью. С учетом этого среднее значение коэффициента K_φ можно определить по формуле:

$$K_\varphi = \frac{S}{\varphi_{ин}R^2} = \frac{S}{2\pi R^2 N},$$

где S – площадь «восьмерки»;

N – число оборотов инструмента за период вытяжки.

Полагая, что $K_r = 0$, после подстановки зависимостей (2) и (3) в уравнение (1) получим:

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{4\pi h(1 - K_\varphi)}{v_{oc}}.$$

С учетом того, что условия трения одинаковы для обеих поверхностей контакта и, следовательно, скорость v_φ равномерно распределена между ними, а также с учетом кинематического параметра $i = v_{oc} / n$ окончательно получим:

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{2\pi h(1 - K_\varphi)}{i}.$$

Коэффициент схватывания K_φ зависит от шероховатости поверхности инструмента и коэффициента трения пары «инструмент – заготовка» или «металл – металл» и его лучше определять экспериментально.

В результате поворота результирующего вектора контактного трения τ его радиальная и тангенциальная составляющие будут соответственно равны:

$$\tau_{rz} = \tau \cos \alpha; \quad \tau_{\varphi z} = \tau \sin \alpha, \quad (4)$$

где $\tau = \sigma_z \mu < \sigma / 2$;

σ – напряжение течения материала образца.

Уменьшение величины τ_{rz} , очевидно, равносильно уменьшению коэффициента трения μ в радиальном направлении на ту же величину $\cos \alpha$ при вытяжке без кручения. Поэтому формула Зибеля – Губкина для определения удельной силы деформирования фланцевой части заготовки имеет вид:

$$p = \sigma \left(1 + \frac{1}{3} \mu \frac{d}{h} \right). \quad (5)$$

Поскольку $\sin \alpha \cong 1$, то для двух зон образца (скольжения и прилипания) справедливо выражение:

$$\tau_{\varphi z}^2 + \tau_{\varphi r}^2 = 0.25 \sigma_z^2 \text{ при } \sigma_z < \sigma. \quad (6)$$

В случае, когда на всей площади контакта имеет место затрудненное проскальзывание при $\mu = 0,5$, то есть когда зона прилипания распространяется на всю площадь контакта, уравнение равновесия при проектировании действующих напряжений на ось r , соответствующее вытяжке без кручения (рис. 1):

$$(\sigma_r + d\sigma_r)rh - \sigma_r(r + dr)h + \sigma_\varphi hr - 2\tau_{rz}rdr = 0.$$

Для вытяжки с кручением с учетом уравнения (4) принимает вид:

$$d\sigma_r = \frac{2\tau \cos \alpha}{h} = -\frac{\sigma \cos \alpha}{h} dr,$$

откуда:

$$\sigma_r = \frac{\sigma(R - r)}{h} \cos \alpha. \quad (7)$$

Уравнение пластичности [4] с учетом выражения (6) и при допущении, что $\tau_{rz} \rightarrow 0$ (ввиду его малости) и $\sin \alpha \approx 1$, будет иметь вид:

$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{2\sigma_z^2 + 2\sigma_r^2 - 4\sigma_z\sigma_r + 1,5\sigma^2}. \quad (8)$$

Из совместного решения уравнений (7) и (8) получим:

$$\sigma_z = \frac{\sigma(R-r)}{h} \cos \alpha + 0,5\sigma.$$

Осевая сила деформирования при вытяжке с кручением:

$$P_k = 2\pi r \int_0^R \sigma_z dr = \pi R^2 \sigma \left(\frac{1}{3} \frac{R \cos \alpha}{h} + \frac{1}{2} \right). \quad (9)$$

Подставив в отношение n_p силу P , определяемую с использованием уравнения (5), и силу P_k , определяемую по формуле (9), без учета зависимости $\sigma(\varepsilon)$ (где ε – степень деформации, обуславливающая упрочнение) получим:

$$n_p = \frac{\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{3} \frac{R \cos \alpha}{h} \right)}{\left(1 + \frac{R}{3h} \right)} = \frac{1,5h + R \cos \alpha}{3h + R}. \quad (10)$$

ВЫВОДЫ

Приведены результаты теоретических исследований, получена зависимость, позволяющая оценить степень влияния кручения при вытяжке на величину усилия. Так, при текущей толщине фланца образца равной 4 мм и радиусе контакта 27 мм, усилие снижается примерно в 1,5 раза.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронцов А. Л. Теория осадки с кручением заготовки / А. Л. Воронцов // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2007. – № 6. – С. 3–9.
2. Арчаков А. Т. Экспериментальные исследования процесса осадки с кручением / А. Т. Арчаков, В. А. Некрасов // Кузнечно-штамповочное производство. – 2003. – № 3. – С. 21–26.
3. Воронцов А. Л. Теория малоотходной штамповки / А. Л. Воронцов. – М.: Машиностроение, 2005. – 859 с.
4. Сторожев М. В. Теория обработки металлов давлением / М. В. Сторожев, Е. А. Попов. – М.: Машиностроение, 1977. – 423 с.

Денищенко П. Н. – канд. техн. наук, доц. ДонГТУ;

Коваленко В. М. – ст. преп. ДонГТУ.

ДонГТУ – Донбасский государственный технический университет, г. Алчевск.

E-mail: kovalenko.vick@yandex.ua

Статья поступила в редакцию 16.01.2012 г.