

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-58>

## THE FORCE MODE OF TRANSVERSE EXTRUSION PROCESSES

### СИЛОВИЙ РЕЖИМ ПРОЦЕСІВ ПОПЕРЕЧНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ

**Levchenko V.M.,**

*PhD (Engineering), Junior Researcher,  
O.Ya. Usikov Institute for Radiophysics  
and Electronics of the National  
Academy of Sciences of Ukraine,  
Kharkiv, Ukraine*

**Левченко В.М.,**

*к.т.н., молод. наук. співробітник,  
Інститут радіофізики  
та електроніки імені О.Я. Усикова  
Національної академії наук України,  
м. Харків, Україна*

**Markov O.Ye.,**

*DSc (Engineering), Professor,  
Donbas State Engineering Academy,  
Kramatorsk, Ukraine*

**Марков О.Є.,**

*д.т.н., професор,  
Донбаська державна машинобудівна  
академія, м. Краматорськ, Україна*

**Abhari P.B.,**

*DSc (Engineering), Professor,  
Donbas State Engineering Academy,  
Kramatorsk, Ukraine*

**Абхари П.Б.,**

*д.т.н., професор,  
Донбаська державна машинобудівна  
академія, м. Краматорськ, Україна*

**Titov A.V.,**

*PhD (Engineering),  
Associate Professor, National Technical  
University of Ukraine "Igor Sikorsky  
Kyiv Polytechnic Institute",  
Kyiv, Ukraine*

**Тітов А.В.,**

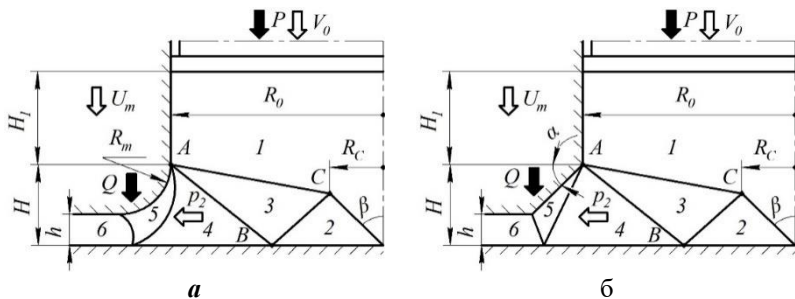
*к.т.н., доцент, Національний  
технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»,  
м. Київ, Україна*

Значним резервом підвищення конкурентоспроможності машинобудування є новітні ресурсозберігаючі технології заготівельного виробництва, до яких можна віднести процеси точного об'ємного штампування (ТОШ). Останнім часом спостерігається стійка тенденція до розширення можливостей процесів ТОШ [1, 2]. Все більше застосування знаходять способи поперечного (радіального та бокового) видавлювання, які спрямовані на виготовлення складних деталей з фланцем або з одним чи декількома бічними відростками [3, 4]. Розвиток технологій ТОШ пов'язано також з освоєнням способів деформування, які утворюються комбінуванням схем поздовжнього та поперечного видавлювання. Ці способи видавлювання дозволяють отримувати

штампуванням складно профільовані порожнисті деталі типу стаканів та гільз з фланцем за одну технологічну операцію у роз'ємних матрицях закритих штампів. Основне обмеження досліджень вказаних способів видавлювання полягає в тому, що аналіз силового режиму проводиться без вивчення сил розкриття роз'ємних матриць. Але цей фактор є важливим при проектуванні штампового оснащення, особливо враховуючи те, що геометрія інструменту та умови тертя відіграють значну роль в формуванні силового режиму саме в рівні зусиль розкриття роз'ємних матриць. Неправильна оцінка зусиль розкриття може призвести до втрати надійної роботоспроможності штампу і зниження точності деталей.

Мета роботи – аналіз силового режиму процесу видавлювання деталей складної конфігурації з відростками та фланцями за допомогою криволінійного кінематичного модуля трикутної форми.

Для отримання залежностей енергосилових параметрів використовували метод кінематичних модулів (МКМ). Відповідно до МКМ розрахункові схеми процесу плоского бокового видавлювання містять модулі для аналізу течії металу в характерних зонах деталі: в центральній зоні 1, де відбувається стиснення і видавлювання металу, та в перехідній зоні 2, де на кромці матриці, виконаній із закругленням (рис. 1, а) або у вигляді прямолінійної фаски (рис. 1, б), метал додатково піддається обтиску. Для аналізу процесів видавлювання деталей з криволінійними формоутворюючими поверхнями використовували криволінійний трикутний елемент.



**Рис. 1. Розрахункові схеми процесу бокового видавлювання з криволінійним (а) та трикутним (б) кінематичними модулями**

Уточнено характер залежності приведенного тиску криволінійного трикутного кінематичного модуля для деформування металу на перехідній кромці матриці, який використовується для аналізу процесів видавлювання деталей з криволінійними формоутворюючими поверхнями, в тому числі процесу бокового видавлювання. Визначення приведенного тиску розкриття матриць для криволінійного модуля на перехідній кромці матриці виконано введенням віртуального переміщення напівматриць і на основі використання рівняння енергетичного балансу потужностей. Як параметр, що характеризує ступінь деформації в процесі поперечного видавлювання, застосовується величина відносного радіуса закруглення перехідної кромки напівматриці  $\varepsilon = h/R_m$ . Отримана залежність для приведенного тиску розкриття напівматриць в параметричному запису має наступний вигляд:

$$\bar{q} = \frac{I}{2 \cdot \bar{F}_2} \cdot [\bar{R}_2^2 \cdot \theta + \bar{R}_3^2 \cdot \varphi + \pi \cdot \mu].$$

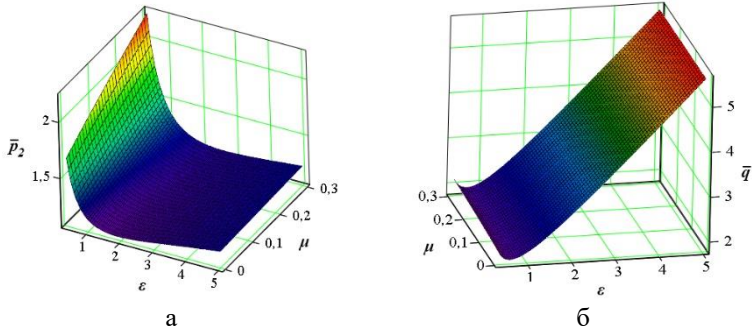
де  $\theta = 2 \cdot \arctg\left(\frac{\bar{R}_m - \varepsilon \cdot \text{ctg}(\beta)}{\bar{R}_m + \varepsilon}\right)$ ;  $\bar{R}_2 = \frac{\bar{R}_m + \varepsilon}{\sin(\theta)}$ ;  $\bar{F}_2 = \bar{R}_2 - \bar{R}_m$ ;

$$\bar{\Delta} = \bar{F}_2 \cdot \text{ctg}(\beta) + \frac{\varepsilon}{2} \cdot (\text{ctg}^2(\beta) - 1); \quad \bar{R}_3 = \sqrt{\bar{F}_2^2 + [\varepsilon + \bar{\Delta}]^2};$$

$$\varphi = 2 \cdot \arcsin\left(\frac{\varepsilon}{\bar{R}_3 \cdot 2 \cdot \sin(\beta)}\right).$$

Параметром оптимізації була величина кута  $\beta$ . Аналіз залежності приведенного тиску деформування  $\bar{p}_2$  на кромці матриці показав, що зусилля  $\bar{p}_2$  суттєво зростає при  $\varepsilon < 2$ , а при більших значеннях  $\varepsilon$  його величина не перевищує 1,25 (рис. 2, а). Вплив коефіцієнта тертя  $\mu$  на зростання тиску  $\bar{p}_2$  збільшується зі зменшенням параметру  $\varepsilon$ . Аналіз залежності зусилля розкриття напівматриць  $\bar{q}$  від параметру  $\varepsilon$  показує, що для  $\varepsilon$  також існують оптимальні значення на інтервалі 0,6...0,7 (рис. 2, б), для яких величина  $\bar{q}$  не перевищує 2.

Для приведених тисків запропоновано інженерні розрахункові формули. Отримані результати дозволяють використовувати криволінійний трикутний кінематичний модуль для аналізу силового режиму процесів бокового видавлювання деталей та видавлювання порожнистих виробів у матрицях з закругленими формоутворюючими поверхнями.



**Рис. 2.** Графіки залежностей для приведених тисків деформування  $\bar{p}_2$  (а) та розкриття напівматриць  $\bar{q}$  (б)

#### Перелік використаних джерел

1. Lee H.Y., Hwang B.B., Lee S.H. Forming load and deformation energy in combined radial backward extrusion process. Proceedings of the Int. Conf. “Metal Forming 2012” 16-19.09.2012, AGH, Krakow. pp. 487–490.
2. Wälder J., Liewald M. Hollow lateral extrusion of tubular billets – further development of the cold forging process. Applied Mechanics and Materials. 2015. 794, pp. 160–165.
3. Forging Solutions. Design Engineering Information FIA. Cold Forging. 28 p.
4. Balendra R. Injection forging: Engineering and research. *Journal of Materials Processing*. 2004. 145, pp. 189–206.