

О. Є. Марков<sup>1</sup>, проф., д-р техн. наук, Є. С. Музикін<sup>2</sup>, П. С. Музикін<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна

<sup>2</sup>ТОВ «Дніпровський електро-механічний завод», м. Дніпро, Україна

e-mail: oleg.markov.omd@gmail.com, metalworkingplant@gmail.com

## Формозміна пустотілих поковок по типу гільз у процесі протяжки без оправки бійками зі скосами

У статті розроблено новий техпроцес деформування поковок по типу довгих гільз ромбічними бойками з ухилами. Вивчення процесу деформування дозволило з'ясувати закономірності формозмінення пустотілої заготовки для нового технологічного процесу. Досліджувалися кути вирізів та ухилів бойків (10°, 20° і 30°) і довжина подачі заготовки у бойки. При подачах, що дорівнюють 0,1D та кути вирізу ромбічних бойків в 115° проходить мінімальне закриття отвору пустотілої заготовки. Ефективною геометрією деформуючого інструменту для збільшення коефіцієнту витяжки при деформуванні пустотілих гільз слід використовувати ромбічні бойки з ухилом скосів 10...20° і довжиною подачі заготовки  $b/D=0,1$ . Кривизна торця отвору дорівнює припуску на мехобробку, що забезпечує отримання потрібних розмірів і форми поковки без використання оправки.

**деформування, внутрішній отвір, протяжка, МСЕ, деформації, оправка**

**Постановка проблеми.** Для підвищення обороноздатності України слід розробляти нові ресурсозберігаючі технологічні процеси штампування артилерійських снарядів. Але на сьогодні немає науково-обґрунтованої концепції серійного виробництва таких виробів, що дозволяло б виготовляти снаряди у великій кількості, високої якості та з низькою собівартістю. Проектування нових технологічних процесів одержання даних поковок без оправки потребує проведення комплексних досліджень та розробки рекомендацій для їх реалізації. Тому розробка науково-обґрунтованої методики проектування технологічних процесів деформування порожнистих циліндрів з метою інтенсифікації деформування при зниженні енергоємності та трудовитрат є актуальним завданням і становить великий науковий та практичний інтерес.

Мета роботи полягає у підвищенні ефективності процесів деформування порожнистих циліндричних заготовок без оправки за допомогою науково-обґрунтованого проектування режимів їх деформування на базі створених чисельних моделей, що дозволяють розробити та оцінити новий технологічний процес деформування таких поковок. Новий технологічний процес деформування підвищить конкурентоспроможність вітчизняної продукції, що дозволить збільшити обсяг експорту унікальної продукції на зовнішньому ринку.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Основним завданням розвитку спеціального машинобудування є виведення його на принципово нові ресурсозберігаючі технології, що забезпечують підвищення продуктивності праці, економію матеріальних та енергетичних ресурсів [1]. Значною мірою вирішенню цих завдань сприяє впровадження у промисловість прогресивних технологій деформування [1]. Серед таких поковок посідають пустотілі поковки з дном, по типу артилерійських гільз та снарядів. Даний тип поковок має низький коефіцієнт використання металу ( $K_{vm} = 0,15 \dots 0,3$ ) через відходи, які пов'язані з прошивкою отвору і додатковими припусками на механічну обробку [3]. Збільшений припуск викликаний застосуванням конусних оправок для виключення заковування отвору при протяжці. Обмеженням застосування оправок є неможливість отримання в поковках отворів діаметром менше

90 мм [4]. Насправді в таких поковках отвір закривають напуском і одержують його висвердлюванням суцільного циліндра, отриманого деформуванням в комбінованих бойках [5]. Зменшити витрату металу можна за рахунок формування отвору в поковці без застосування оправки [6].

Операція прошивки отвору вимагає значних зусиль, що іноді перевищують можливості чинних пресів. У таких випадках для одержання порожнистих заготовок потрібного діаметра доводиться вводити додаткову операцію - розкочування попередньо прошитих заготовок, що збільшує трудомісткість [2]. Для усунення зазначених недоліків у цій роботі розробили та випробували комплексну технологію виготовлення товстостінних порожнистих заготовок із спеціальної заготовки з глухою порожниною, що забезпечує поліпшення технологічності процесу, економію металу та зниження трудомісткості.

Метод прошивки заготовки в контейнері, розроблений у роботі [8], має ряд істотних недоліків, пов'язаних з нерівномірним розподілом в тілі поковки накопиченими деформаціями та наявністю неметалевих включень. Автори роботи [9] запропонували новий спосіб отримання поволок труб, який полягає у осадженні заготовки у контейнері, з витісненням металу дефектної зони у вільну порожнину контейнера. Цей спосіб дозволяє, порівняно з існуючим, знизити різнововчинність поковки, розташувати дефектну зону в місці технологічного відходу поковки (в донній частині) і виключити дефекти на внутрішній поверхні гільзи, зменшити технологічні припуски та збільшити коефіцієнт використання металу.

У роботі [10] запропоновано спосіб виготовлення порожнистих поволок, близьких до профілю готових деталей, який дозволяє підвищити використання металу на сучасних радіально-обтискних машинах бойками зі скосами. А у роботі [11] була запропонована нова технологія деформування порожнистих циліндрів. Принциповою відмінністю запропонованої технології від загальноприйнятої є: зміна послідовності операцій деформування; застосування підігріву до температури 1000°C, яка є температурою подальшої термічної обробки і не призводить до значного зростання зерна; відмова від проміжних термічних обробок. Тривалість термічного циклу деформування при такому процесі скоротилася. Новий процес отримання безшовних товстостінних пустотілих заготовок великого діаметру був розроблений у роботі [12]. Метод принципово відрізняється тим, що виготовлення поволок відбувається із заготовок прошивкою в матриці на вертикальному гідравлічному пресі та протяжкою отриманої гільзи на горизонтальному гідравлічному пресі. Якість поволок, одержаних новим методом, характеризується високим рівнем механічних властивостей та однорідністю складу.

**Постановка завдання.** Для потреб спеціального машинобудування часто потрібні поковки порожнистих циліндрів із «глухим» дном. З таких поволок виготовляються гільзи, циліндри, плунжери гідравлічних пресів та інші деталі. Недолік існуючої технології із заковуванням дна полягає в тому, що на внутрішній поверхні неминуче утворюються складки та тріщини. Автори роботи [13] запропонували нову технологію виготовлення порожнистих циліндричних заготовок з «глухим» дном, що дозволяє виключити ці недоліки. Спосіб деформування порожнистих циліндрів без оправки є новим і невивченим. У процесі деформування без оправки відбувається заковування отвору та збільшення стінки вихідної заготовки. Це становить велику складність при проектуванні технологічного процесу згідно цього способу. Слід встановити механізм зміни діаметра отвору прошитої заготовки залежно від відомих розмірів поковки режимів деформування та геометрії інструменту [14]. Тому необхідно визначити, як

впливає протяжка вирізними бойками зі скосами на заковування отвору в залежності від вихідних розмірів заготовок, кута вирізу бойків, величини обтискання та подачі.

**Виклад основного матеріалу.** Дослідження процесів протяжки здійснювалося методом скінчених елементів. Вихідні дані для розрахунку: сталь 50X,  $t=1200^{\circ}\text{C}$ ;  $v = 40$  мм / с. Температурний інтервал деформування  $1200\text{...}800^{\circ}\text{C}$ , щільність при кімнатній температурі  $7840\text{кг/м}^3$ ; модуль Юнга  $2 \cdot 10^5$  МПа. Заготовки протягувалися вирізними бойками з кутами вирізу  $90^{\circ}$ ,  $115^{\circ}$ ,  $140^{\circ}$  і різної довжини горизонтальної полиці деформуючої частини, яка визначає величину подачі  $b = 0,1D$ ;  $0,2D$ ;  $0,3D$ . Досліджувана схема протяжки представлена на рисунку 1. У дослідженні використовувалися циліндричні сталеві порожнисті моделі. Діаметр заготовок  $D = 500$  мм, а відносний діаметр внутрішнього отвору ( $d_0 / D$ ) варіювався в діапазоні  $0,3$ ;  $0,5$ ;  $0,8$ ; висоти заготовок становили  $H_1 = 480$ ;  $286$ ;  $238$  мм для забезпечення однакового об'єму заготовки при різних діаметрах отворів. Досліджувався вплив трьох факторів, що варіювалися на трьох рівнях. Результати розрахунку – ступінь та інтенсивність заковування отвору при протяжці без оправки бойками зі скосами. Ступінь деформації заготовки становила  $20\%$ ,  $40\%$  та  $60\%$ .

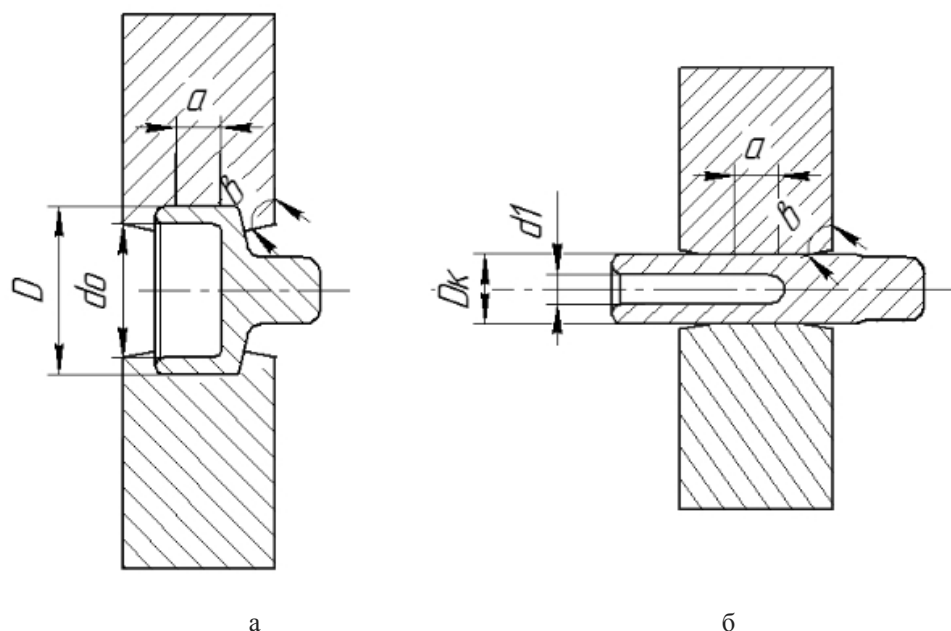


Рисунок 1 – Схема процесу протяжки на початковому (а) та завершальному (б) етапі

*Джерело розроблено авторами*

В результаті дослідження повинні бути надані рекомендації для проектування нового технологічного процесу деформування пустотілих циліндрів без оправки. Процес деформування порожнистих поволок без оправки характеризується тривимірним плином металу при протяжці. Протяжка заготовки вирізними бойками призводить до її подовження та збільшення товщини стінки. На формозміну порожнистої заготовки в процесі деформування впливають форма вихідної заготовки, режими деформування (подача, кантування, обтиснення) та геометрія інструменту.

Вихідні дані для проектування технологічного процесу – зовнішній та внутрішній діаметри поволоки. Розрахунок процесу протяжки пустотілих глухотілих поволок без оправки є складним дослідницьким завданням. Це викликано впливом

великої кількості факторів на цей процес. Задля реалізації процесу моделювання необхідно вибрати значні чинники. Аналіз технологічних процесів деформування пустотілих циліндрів показав, що основними факторами, що впливають на формозміну заготовки в процесі деформації є: відносний діаметр отвору в заготовці ( $d_0/D$ ), кут вирізу бойків ( $\alpha$ ) та відносна подача ( $a/D$ ). На формозміну у процесі протяжки вирізними бойками також впливає величина сумарного обтиснення заготовки ( $\epsilon$ ). Інтервал варіювання для першого фактору вибрано з умови максимального та мінімального значення товщини стінки заготовки. Застосування для деформування порожнистих заготовок з тонкою стінкою ( $d_0/D > 0,8$ ) призведе до сплющування заготовки, при якому не відбуватиметься деформування стінки. При значних товщинах стінки порожнистих заготовок ( $d_0/D < 0,25$ ) відбуватиметься інтенсивне заковування отвору при протяжці вирізними бойками. Тому інтервали варіювання першого фактору обрані в цьому діапазоні (табл. 1).

Ефективність протягування заготовок залежить від кута вирізу бойків. Інтенсивна витяжка відбуватиметься при куті вирізу бойків, проте ці бойки менш універсальні і потребують частішої зміни бойків при куванні при заданих обтисканнях заготовки. Забезпечити універсальність вирізними бойками можна за рахунок збільшення кута вирізу. При збільшенні кута вирізу бойків схема деформування наближається до деформування плоскими бойками, що супроводжується інтенсивним розширенням і, відповідно, сплющуванням пустотілої заготовки, а не її витяжкою. Виходячи з даних обмежень, було обрано відповідний інтервал для цього фактору (табл. 1).

Зміна діаметра отвору в заготовці залежить від ступеня деформації (обтискання). На практиці при деформуванні пустотілих поковок змінення відношення площ поперечного перерізу становить 2,0...3,5. Цій величині деформації відповідає обтискання в діапазоні 20...60%. Інтенсифікувати витяжку при протяжці, а, відповідно, знизити ступінь заковування отвору в заготовці можна за рахунок застосування вирізними бойків зі скосами. При цьому буде зменшуватися величина подачі заготовки у бойки. З досвіду деформування плит плоскими бойками зі скосами ефективний кут становить 10...30° [15]. Відносна подача становить 0,1; 0,2; 0,3 від діаметра заготовки, відповідно. Тому дослідження можна розділити на три схеми, при яких варіюватиметься величина подачі. Таким чином, виділено три основні фактори, що впливають на процес деформування порожнистих поковок без оправки (табл. 1). При плануванні математичного експерименту отримали математичну модель відносного діаметра внутрішнього отвору ( $d_1/D$ ).

Таблиця 1 – Фактори та рівні їх варіювання при проведенні дослідження

Фактори та рівні їх варіювання	$X_1$	$X_2$	$X_3$
	$d_0/D$	$\alpha, ^\circ$	$\epsilon, \%$
Інтервал варіювання $\Delta X_i$	0,25	25	20
Нижній рівень $X_i = -1$	0,3	90	20
Середній рівень $X_i = 0$	0,55	115	40
Верхній рівень $X_i = +1$	0,8	140	60

*Джерело розроблено авторами*

Застосування нового способу деформування порожнистих циліндрів з дном виключає застосування оправки, що призводитиме до заковування отвору пустотілої заготовки і збільшення стінки поковки. Це ускладнює проектування технологічного процесу, тому необхідно встановити вплив розмірів заготовки та геометрії інструменту на заковування отвору циліндра.

Раціональними, з точки зору напружено-деформованого стану та заковування отвору заготовки, обрані бойки з кутом вирізу бойків до  $\alpha = 115^\circ$  та величиною подачі  $0,1D$  [14] (рис. 2). При цьому величина кінцевого відносного діаметра ( $d_1 / D$ ) менша, ніж для кута вирізу  $\alpha = 90^\circ$ , за однакових умов деформування, і має вигляд параболи.

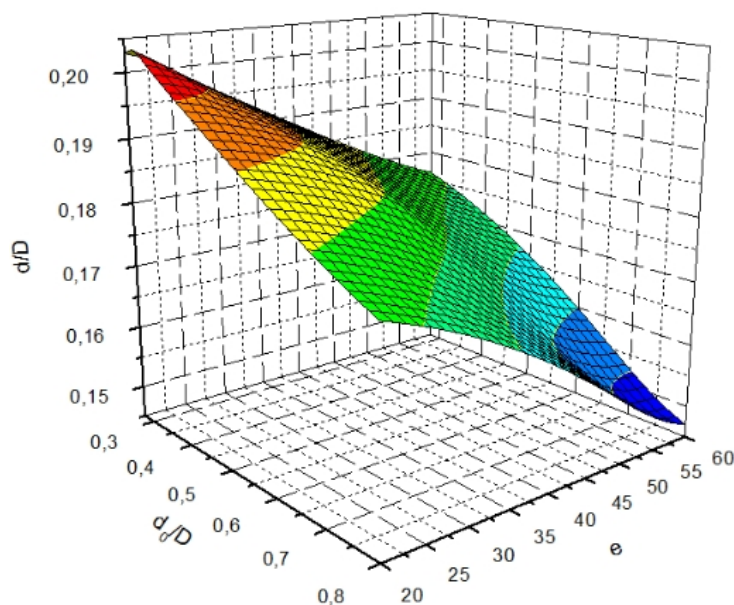


Рисунок 2 – Ступінь заковування отвору при протяжці порожнистих циліндрів бойками з кутом вирізу  $\alpha = 115^\circ$  та подачею  $0,1D$

*Джерело розроблено авторами*

Оцінку швидкості заковування отвору заготовки, для різних діаметрів отворів, необхідно проводити на підставі універсального показника, який враховуватиме інтенсивність зменшення діаметра отвору. Цей показник можна назвати – коефіцієнт інтенсивності заковування, який визначається відношенням змін площин кінцевої поковки та початкової заготовки до площі обтисненої заготовки

$$f = \frac{F_0 - F_1}{F_{обж}} = \frac{(D^2 - d_0^2) - (D_1^2 - d_1^2)}{D^2 - D_1^2}, \quad (1)$$

де  $D, D_1$  – зовнішні діаметри вихідної та протягнутої заготовок, відповідно;  
 $d_0, d_1$  – діаметри отворів заготовки та поковки, відповідно.

Формула (1) показує інтенсивність збільшення товщини стінки залежно від обтиснення зовнішнього діаметра заготовки, тобто відображає частку обтиснутої площі, яка йде на збільшення стінки поковки. Так при  $f=0$ , коли площа перерізу не змінюється, збільшення товщини стінки не відбувається і метал плине у подовження. При  $f=1$ , коли зміна площі заготовки в процесі деформування дорівнює площі обтискання заготовки

( $F_0 - F_1 = F_{обт}$ ), все обтискання призводить до збільшення стінки заготовки, отже, подовження заготовки буде відсутнє.

Цей показник враховує «швидкість» заковування отвору в залежності від різної площі перерізу вихідної заготовки (товщини стінки). Для різних товщин стінок вихідної заготовки буде різним об'єм металу, що бере участь у деформації, що істотно впливатиме на заковування отвору. Оцінити інтенсивність заковування можна після аналізу тих результатів, що представлені на рисунку 3.

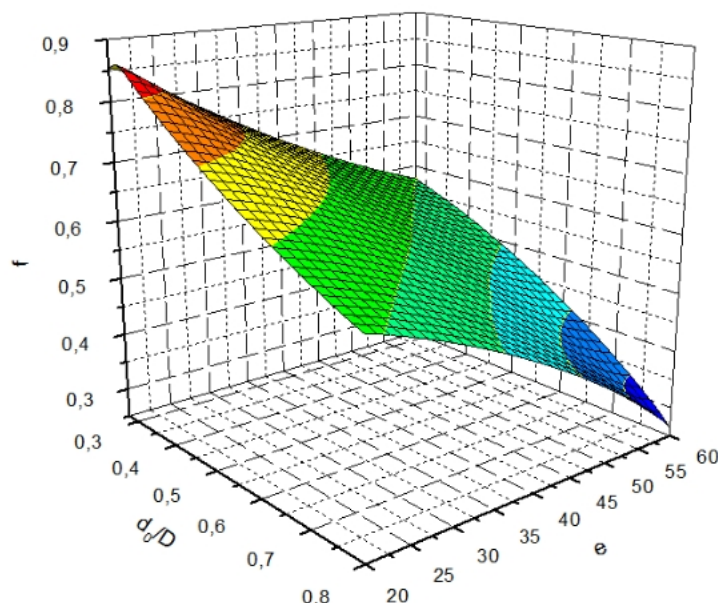


Рисунок 3 – Інтенсивність заковування отвору при протяжці порожнистих циліндрів бойками з кутом вирізу  $\alpha = 115^\circ$  та подачею  $0,1D$

*Джерело розроблено авторами*

**Висновок.** На підставі результатів теоретичного дослідження механізму заковування отвору циліндра була обрана ефективна схема для забезпечення мінімального заковування отвору, в якій вирізні бойки мали виріз з кутом  $115^\circ$  і ширину деформуючої частини  $0,1D$ . Загальною закономірністю для досліджуваних схем деформування є те, що інтенсивність деформування отвору однакова при різних обтисканнях при постійних співвідношеннях розмірів заготовки. При подачах більше  $0,2D$  не відбувається якісної та кількісної зміни залежності ступеня та інтенсивності заковування отвору. Це дозволяє визначити рекомендовану подачу для інтенсивної витяжки заготовки та зменшення ступеня заковування отвору. Подача, що рекомендується, повинна бути в діапазоні  $(0,1 \dots 0,2)D$ . Таким чином, для одержання поковок з великим діаметром отвору необхідно застосовувати заготовки з великим діаметром отвору.

Наукова новизна роботи полягає у: 1) вперше був запропонований показник ( $f$ ), який враховує швидкість зміни площі поперечного перерізу пустотілої заготовки при її обтисканні (формула 1); 2) отримали подальший розвиток результати, які показують, що для інструменту з кутом вирізу боків  $\alpha = 115^\circ$  інтенсивність заковування отвору ( $f$ ) переважно залежить від вихідного відносного діаметра заготовки ( $d_0/D$ ) ніж від ступеня обтиснення; 3) вперше встановлено, що ступінь заковування збільшується, а швидкість заковування є сталою при різних значеннях обтискання, тобто діаметр заковується

практично з постійною швидкістю, що є важливим науковим спостереженням і не було відомо раніше.

## Список літератури

1. Research on Charging Combination Based on Batch Weight Fit Rule for Energy Saving in Forging / [Zhu Baiqing](#), [Lu Haixing](#), [Tong Yifei](#), [Li Dongbo](#), [Xia Yong](#). *Mathematical Problems in Engineering*. 2015. Article ID 531756. 9 pages. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/531756>.
2. Askelianets, A. Analysis of theoretic research of the ring tapered tool penetration with subsequent upsetting in the lining ring while manufacturing a disc with shoulder. *Metallurgical and Mining Industry*. 2014. № 4. С. 70–75.
3. Wu, Y. Upper bound analysis of axial metal flow inhomogeneity in radial forging process / Yunjian Wu, Xianghuai Dong, Qiong Yu. *International Journal of Mechanical Sciences*. 2015. N 93. P. 102–110.
4. Sizek, H. W. Radial Forging. *Metalworking : Bulk Forming*. 2005. P. 172–178.
5. Ghaei, A. Finite element modelling simulation of radial forging of tubes without mandrel / A. Ghaei, M. R. Movahhedy, A. Karimi Taheri. *Materials & Design*. 2008. № 29. P. 867–872.
6. Fan, L. 3D finite element modeling and analysis of radial forging processes / Lixia Fan, Zhigang Wang, He Wang. *Journal of Manufacturing Processes*. 2014. N 16. P. 329–334.
7. A vertical automated forging center for the plastic deformation of continuouslycast ingots / S. P. Burkin, E. A. Korshunov , V. L. Kolmogorov, N. A. Babailov, V. M. Nalesnik. *Journal of Materials Processing Technology*. 1996. № 58. P. 170–173.
8. Rotary swaging forming process of tube workpieces / Qi Zhang, Kaiqiang Jin, Dong mu, Pengju Ma, Jie Tian. *11th International Conference on Technology of Plasticity, ICTP 2014. October 2014. Nagoya Congress Center, Nagoya, Japan. Procedia Engineering*. 2014. N 81. P. 2336–2341.
9. Determination of strain field and heterogeneity in radial forging of tube using finite element method and microhardness test / M. Sanjari, P. Saidi, A. Karimi Taheri, M. HosseinZadeh. *Materials and Design*. 2012. N 38. P. 147–153.
10. Wang, Z. G. The theory analysis and numerical simulation for the radial forging process of gun barrel / Z. G. Wang. *Nanjing University of Science and Technology*. 2011. P. 28–30.
11. Latest Development in Railway Axle and ThickWalled Tube forging on a Hydraulic Radial Forging Machine Type SMX / Frederik Knauf, PaulJosef Nieschwitz, Albrecht Holl, Hans Pelster, Rolf Vest. *18th International Forgemasters Meeting. Market and Technical Proceedings. Pittsburgh, PA, USA. September 12–15*. 2011. P. 215–220.
12. Koppensteiner, R. Optimizing Tooling And Pass Design For Effectiveness On Forged Product / Robert Koppensteiner, Zack Tang. *18th International Forgemasters Meeting. Market and Technical Proceedings. Pittsburgh, PA, USA. September 12–15*. 2011. P. 225–229.
13. Sheu, J.J. Optimum die design for single pass steel tube drawing with large strain deformation / JinnJong Sheu, SuYi Lin, ChengHsien Yu. *11th International Conference on Technology of Plasticity. ICTP 2014. 1924 October 2014. Nagoya Congress Center, Nagoya, Japan. Procedia Engineering*. 2014. N 81. P. 688–693.
14. Jaouen, O. From Hollow Ingot to Shell with a Powerful Numerical Simulation Software Tool / O. Jaouen, F. Costes, P. Lasne, M. Barbelet. *18th International Forgemasters Meeting. Market and Technical Proceedings. Pittsburgh. PA. USA. September 12–15*. 2011. P. 513–518.
15. Li ,Y. Numerical simulation and experimental study on the tube sinking of a thinwalled copper tube with axially inner micro grooves by radial forging / Yong Li, Ting He, Zhixin Zeng. *Journal of Materials Processing Technology*. 2013. N 213. P. 987–996.

## References

1. Zhu Baiqing, Lu Haixing, Tong Yifei, Li Dongbo, Xia Yong. (2015). Research on Charging Combination Based on Batch Weight Fit Rule for Energy Saving in Forging. *Mathematical Problems in Engineering*, Article ID 531756. 9 pages. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/531756>.
2. Askelianets, A. (2014). Analysis of theoretic research of the ring tapered tool penetration with subsequent upsetting in the lining ring while manufacturing a disc with shoulder. *Metallurgical and Mining Industry*, 4, 70–75.
3. Yunjian Wu, Xianghuai Dong, Qiong Yu. (2015). Upper bound analysis of axial metal flow inhomogeneity in radial forging process. *International Journal of Mechanical Sciences*, 93, 102–110.
4. Sizek, H. W. (1995). Radial Forging. *Metalworking: Bulk Forming*, 178.
5. Ghaei, A. Movahhedy, M. R., Karimi Taheri A. (2008). Finite element modelling simulation of radial forging of tubes without mandrel. *Materials & Design*, 29, 867–872.

6. Fan, L., Wang Z., Wang H. (2014). 3D finite element modeling and analysis of radial forging processes. *Journal of Manufacturing Processes*, 16, 329–334.
7. Burkin, S. P. et al. (1996). A vertical automated forging center for the plastic deformation of continuouslycast ingots. *Journal of Materials Processing Technology*, 58, 170–173.
8. Zhang, Q., et al. (2014). Rotary swaging forming process of tube workpieces. *11th International Conference on Technology of Plasticity, ICTP 2014. October 2014. Nagoya Congress Center, Nagoya, Japan. Procedia Engineering, N 81*, pp. 2336–2341.
9. Sanjari, M., et al. (2012). Determination of strain field and heterogeneity in radial forging of tube using finite element method and microhardness test. *Materials and Design*, 38, 147–153.
10. Wang, Z. G. (2011). The theory analysis and numerical simulation for the radial forging process of gun barrel. *Nanjing University of Science and Technology*, 14, 28–30.
11. Knauf, F., et al. (2011). Latest Development in Railway Axle and ThickWalled Tube forging on a Hydraulic Radial Forging Machine Type SMX. *18th International Forgemasters Meeting. Market and Technical Proceedings. Pittsburgh, PA, USA. September 12–15*, 215–220.
12. Koppensteiner, R. Tang, Z. (2011). Optimizing Tooling And Pass Design For Effectiveness On Forged Product. *18th International Forgemasters Meeting. Market and Technical Proceedings. Pittsburgh, PA, USA. September 12–15*, 225–229.
13. Sheu, J.J., Lin, SuYi., Yu, C. H. (2014). Optimum die design for single pass steel tube drawing with large strain deformation. *11th International Conference on Technology of Plasticity. ICTP 2014. 1924 October 2014. Nagoya Congress Center, Nagoya, Japan. Procedia Engineering*, 81, 688–693.
14. Jaouen, O., et al. (2011). From Hollow Ingot to Shell with a Powerful Numerical Simulation Software Tool. *18th International Forgemasters Meeting. Market and Technical Proceedings. Pittsburgh. PA. USA. September 12–15*, pp. 513–518.
15. Li, Y., et al. (2013). Numerical simulation and experimental study on the tube sinking of a thinwalled copper tube with axially inner micro grooves by radial forging. *Journal of Materials Processing Technology*, 213, 987–996.

Oleh Markov<sup>1</sup>, Prof., DSc., Yevhen Muzykin<sup>2</sup>, Pavlo Muzykin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk-Ternopil, Ukraine

<sup>2</sup>Dnipro electrical and mechanical plant LLC, Dnipro, Ukraine

### **Deformation of Hollow Forgings of The Sleeve Type in the Process Of Drawing Without a Mandrel by Beveled Punches**

The purpose of the work is to increase the efficiency of the processes of deformation of hollow cylindrical blanks without a mandrel by means of scientifically substantiated design of their deformation modes based on the created numerical models, which allow developing and evaluating a new technological process for the deformation of such forgings. The new technological process of deformation will increase the competitiveness of domestic products, which will allow increasing the volume of exports of unique products on the foreign market. The article develops a new technological process for the deformation of forgings of the type of long sleeves with rhombic strikers with slopes. The study of the deformation process made it possible to clarify the regularities of the shape change of the hollow blank for the new technological process. The angles of the cutouts and slopes of the strikers (10°, 20° and 30°) and the length of the workpiece feed into the strikers were studied. At feeds equal to 0.1D and a cut angle of rhombic punches of 115°, the minimum closing of the hole of the hollow workpiece takes place. The effective geometry of the deforming tool to increase the extraction coefficient when deforming hollow sleeves should be rhombic punches with a bevel slope of 10...20° and a feed length of the workpiece  $b/D=0.1$ . The curvature of the end face of the hole is equal to the allowance for machining, which ensures obtaining the required dimensions and shape of the forging without using a mandrel. Based on the results of a theoretical study of the mechanism of forging the cylinder hole, an effective scheme was selected to ensure minimum forging of the hole, in which the cutout punches had a cut with an angle of 115° and a width of the deforming part of 0.1D. The general pattern for the studied deformation schemes is that the intensity of hole deformation is the same for different crimps with constant ratios of the workpiece sizes. At feeds greater than 0.2D, there is no qualitative or quantitative change in the degree and intensity of hole forging. This allows us to determine the recommended feed for intensive drawing of the workpiece and reducing the degree of hole forging. The recommended feed should be in the range (0.1...0.2)D.

**deformation, internal hole, broaching, FEM, deformations, mandrel**

Одержано (Received) 13.03.2025

Прорецензовано (Reviewed) 14.03.2025

Прийнято до друку (Approved) 21.03.2025