

Марков О. Є.  
Молодецький В. В.  
Зінській В. М.  
Абхари П. Б.

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ НОВОГО ПРОЦЕСУ ДЕФОРМУВАННЯ ПОКОВОК ТИПУ ГІЛЬЗ

*Проведено дослідження нового способу виготовлення пустотілих гільз. Запропонований метод полягає в деформуванні порожнистої заготовки з дном без оправки. Запропоновано методику проведення експериментальних досліджень на основі закону подібності. Методика призначена для визначення подовження, заковування внутрішнього діаметра та збільшення товщини стінки порожнистої заготовки при деформуванні пустотілих поковок з дном без використання оправки. Варіювали таким параметром – діаметр отвору пустотілої заготовки, який змінювався в діапазоні 0,3 ... 0,8. Було встановлено діаметр отвору пустотілої заготовки, який зменшується при деформуванні розробленим методом. Були встановлені закономірності інтенсивності витяжки та збільшення товщини стінки пустотілої заготовки. Було запропоновано параметр для визначення ступеня витяжки порожнистої заготовки. Було зазначено, що при збільшенні діаметра отвору інтенсивність подовження порожнистої заготовки підвищується та зменшується ступінь закриття внутрішнього діаметра. Визначальною закономірністю досліджених схем деформування є те, що значення витяжки порожнистої заготовки мало змінюється залежно від ступеня деформації при однакових вихідних геометричних параметрах порожнистої заготовки. В результаті було визначено ефективну подачу, яка підвищує ступінь витяжки порожнистої заготовки та зменшує ступінь заковування внутрішньої порожнини. Ефективна подача повинна бути в діапазоні 10...15% від вихідного діаметру заготовки. Ці результати були встановлені на зразках із свинцю з додаванням сурми. Також встановлено, що при діаметрі отвору пустотілої заготовки приблизно 0,55 від діаметра заготовки відбувається інтенсивне збільшення товщини стінки заготовки. Похибка отриманих експериментальних результатів становить 7...11%. Встановлені залежності дозволяють визначати кінцевий діаметр отвору пустотілої заготовки. Результати дослідження дозволили встановити, що деформування порожнистих заготовок без оправки є можливим. Розроблений спосіб розширює технологічні можливості процесів виготовлення поковок типу гільз.*

**Ключові слова:** *пустотіла заготовка, деформування без оправки, протяжка, заковування отвору, подовження заготовки*

Основним напрямком удосконалення машинобудування є зниження витрат на виробництво пустотілих деталей з дном (гільзи, гідро- та пневмоциліндри, балони) та підвищення їх якості [1–2]. Ці поковки необхідно виготовляти протяжкою на оправці. Однак, на практиці часті за все виготовляються пустотілі циліндри з суцільних валів до яких приварюється дно. В результаті знижується продуктивність процесу, збільшуються витрати металу у відхід. Таким чином задача виробництва пустотілих заготовок з дном на сьогодні є затребуваною та вимагає розробки та дослідження нових процесів виготовлення зазначених деталей.

У роботі [3] встановлювався вплив геометрії деформуючого інструменту на деформований та напружений стан у процесі деформування труб на оправці. Встановлено, що для виготовлення пустотілої поковки із максимальною рівномірністю розподілу інтенсивностей деформацій та механічних характеристик уздовж стінки пустотілої заготовки доцільно використовувати деформуючий інструмент з випуклою поверхнею. За результатами експериментального моделювання способу деформування пустотілих поковок на радіально-кувальних машинах встановлено, що досліджуваний процес дає можливість збільшити міцність і в'язкість металу [4]. Автором роботи встановлена залежність для визначення осьової, радіальної та окружної деформації заготовки. Визначено вплив обтискання на технологічні режими протягування з використанням оправки. Однак у роботах [3, 4] не встановлено вплив способу деформування на утворення текстури, що збільшує анізотропію механічних характеристик матеріалу.

У роботі [5] моделювались способи радіального деформування пустотілих заготовок з використанням оправки. За результатами експериментального моделювання були

виготовлені пустотілі заготовки з різними діаметрами та стінками. Автори здійснювали деформування чотирма бойками, це сприяло направленню течії металу заготовки уздовж осі, що дозволило знизити розширення у процесі деформування.

У процесі деформування пустотілих заготовок досліджувався вплив форми бойків для визначення проковування осьової частини злитка [6]. За результатами дослідження встановлено, що отримати рівномірні механічні характеристики у поперечному та поздовжньому напрямках можливо при удосконаленні форми бойків.

Підвищення точності розмірів зовнішньої та внутрішньої частин металевих пустотілих поковок після деформування з використанням оправки представлено у роботі [7]. Авторами роботи встановлено, що при збільшенні кута вирізних бойків відбувається підвищення рівномірності розподілу деформацій. Збільшення обтискання сприяє збільшенню точності отвору пустотілі заготовки, але це збільшення може призвести до тріщиноутворення.

У роботі [8] досліджували вплив розподілу лікваци заготовки при куванні, що дозволило уточнити режими термічної обробки. Автори розробили програму для дослідження процесу деформування пустотілих поковок.

У дослідженнях [9, 10] порівнюються процеси деформування пустотілих поковок трьома та двома бойками без використання оправки. В результаті досліджень встановлено, що у процесі протягування двома ковальськими бойками більш інтенсивно утворюються дефекти на поверхні, ніж при протягуванні трьома бойками [11–13]. Встановлено, що зусилля деформування двома бойками більше, ніж трьома. Деформації в тілі заготовок при куванні пустотілих поковок трьома бойками розподіляються рівномірно. Однак такий спосіб деформування пустотілих поковок не можна використовувати для виготовлення довгомірних пустотілих поковок.

Аналіз літератури дозволив визначити, що проблема виготовлення пустотілих поковок на сьогодні остаточно не вирішена. Найпрогресивнішими методами визначені способи протягування без використання оправки. Але напружено-деформований стан (НДС) та формозмінення отвору пустотілої заготовки у процесі протягування без використання оправки не встановлені. Тому потрібно удосконалити та дослідити процеси протягування пустотілих поковок без використання оправки. Розробка нових техпроцесів деформування пустотілих поковок без використання ковальської оправки потребує проведення комплексного моделювання і розробки рекомендацій для їх реалізації.

Мета роботи – розробка та експериментальна перевірка нового процесу виготовлення пустотілих заготовок з дном для підвищення продуктивності та зниження витрат металу у стружку.

Експериментальне дослідження процесу деформування пустотілих поковок проводилося на свинцевих зразках. Внутрішній діаметру у відносному співвідношенні ( $d_0/D$ ) дорівнював 0.30, 0.55, 0.80. Схема процесу деформування наведена на рис. 1.

У свинець додавався 1,0 % сурми, що наблизило реологічні властивості матеріалу до сталі 40X при температурі гарячої обробки тиском. Зовнішній діаметр заготовок склав 50 мм, висота 24 мм, внутрішній діаметр пустотілої заготовки варіювався у діапазоні 12,25; 22,5; 35 мм, подача становила 10 % від діаметру ( $D$ ), масштабний коефіцієнт складав 1:20. Пустотілі свинцеві зразки виготовлялися литтям у форму (рис. 2). Паралельність деформуючого інструменту забезпечувалась штамповим пакетом (рис. 3). Деформування проводилось до зовнішнього діаметру 26 мм. У процесі експериментальних досліджень вимірювалися розміри отвору пустотілі заготовки.

Деформування проводилося на гідропресі силою 0,5 МН. Швидкість руху інструменту складала 1,5 мм/с, що відповідало кінематичним умовам подібності. При деформуванні вимірювалися розміри моделей та зусилля деформування при протягуванні з обтисканням 5 %. Проводилися заміри об'єму порожнини поковки з використанням мірного волюметра. За глибиною та об'ємом порожнини визначався діаметр отвору пустотілі заготовки після протягування без використання ковальської оправки.

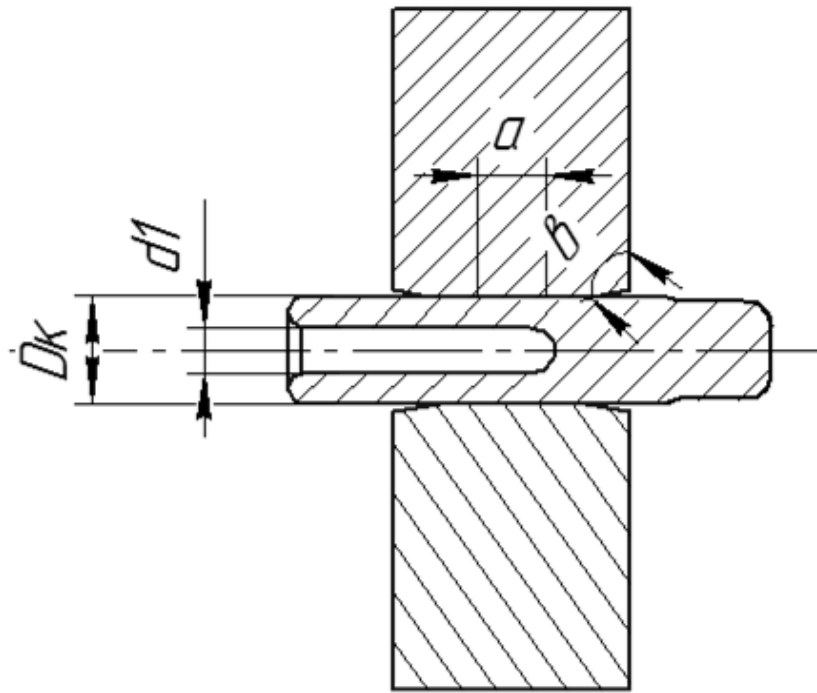


Рис. 1. Розрахункова схема деформування без оправки



Рис. 2. Свинцеві заготовки до деформування

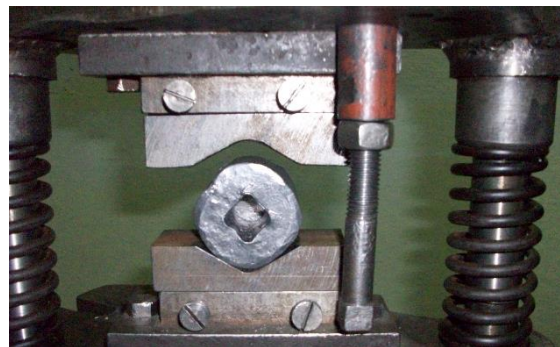


Рис. 3. Оснащення для експериментального моделювання

Свинцеві моделі деформувалися бойками з вирізом  $115^\circ$  та подачею 10 %. Ці параметри були встановлені на основі результатів моделювання МСЕ як раціональні для інтенсивного подовження при куванні. Протягування реалізовувалось проходками з деформацією по 5 % за кожний прохід. Деформування проводилося в такий послідовності: прохід по довжині  $\rightarrow$  обертання заготовки на  $90^\circ$   $\rightarrow$  прохід по довжині  $\rightarrow$  обертання заготовки на  $90^\circ$   $\rightarrow$  прохід по

довжині → обертання заготовки на  $45^\circ$  → прохід по довжині. Така послідовність деформування забезпечує заготовці форму багатогранника, яка наближена до циліндричної. Для заданих режимів деформування у процесі деформування на поверхні не утворюються складки та відбувається максимальна течія металу здовж осі поковки.

Результати теоретичного дослідження порівнювалися з експериментальними даними. На рис. 4 представлено данні експериментального моделювання при деформуванні вирізними бойками заготовок з внутрішніми діаметрами ( $d_0/D$ ) 0.80, 0.55, 0.30. Побудовані графічні залежності подовження пустотілі заготовки ( $f$ ) (рис. 5), потовщення її стінки (рис. 6) та змінення внутрішнього діаметру пустотілі заготовки ( $d_{1cp}/D$ ) (рис. 7).

Визначено, що при збільшенні внутрішнього діаметру подовження пустотілої заготовки підвищується та знижується закриття отвору (рис. 7). Встановлені результати можна пояснити тонкою стінкою, яка забезпечує малий об'єм металу, тому менше металу тече в бік потовщення стінки.

Данні подовження пустотілої заготовки, які встановлені теоретичним моделюванням, на 8...14 % вище ніж данні експерименту (рис. 5). Крім того, збільшення товщини стінки інтенсивніше проходить для свинцевих зразків (рис. 6).

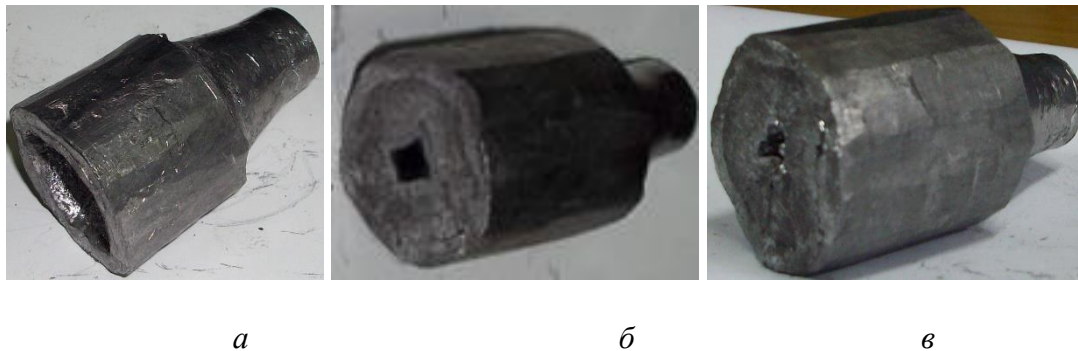
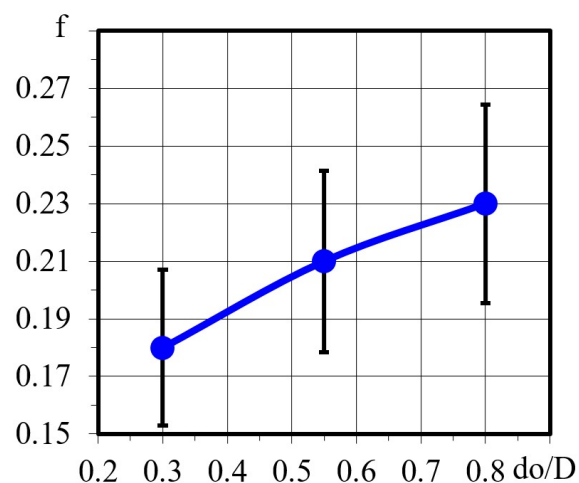


Рис. 4. Експериментальні пустотілі заготовки з різним внутрішнім діаметром ( $d_0/D$ ) після деформування на 20%: а – 0.80; б – 0.55; в – 0.30



Рису. 5. Залежність подовження пустотілої заготовки від внутрішнього діаметра заготовки

Експериментальні дослідження дозволили визначити (рис. 6), що при збільшенні внутрішнього діаметра пустотілої заготовки до 0.6 відбувається екстремальне потовщення її стінки. Внутрішній діаметр більш за 0.6 призводить до зменшення товщини стінки.

Експериментальні данні дозволили визначити екстремальне потовщення стінки, яке відбувається при відносному діаметрі 0.55...0.60 (рис. 5). Встановлено, що такі

співвідношення розмірів пустотілої заготовки є неефективними при протягуванні без використання оправки, через інтенсивне потовщення стінки пустотілої заготовки. Відхилення між теоретичними даними й експериментальними складає 5...7 %.

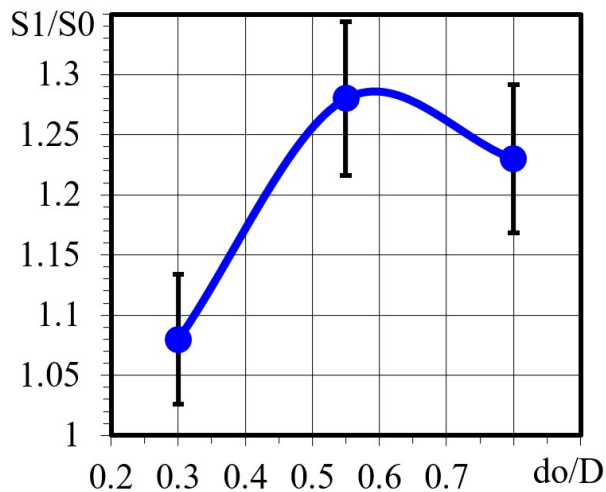


Рис. 6. Змінення товщини стінки пустотілої заготовки в залежності від внутрішнього діаметру вихідної заготовки

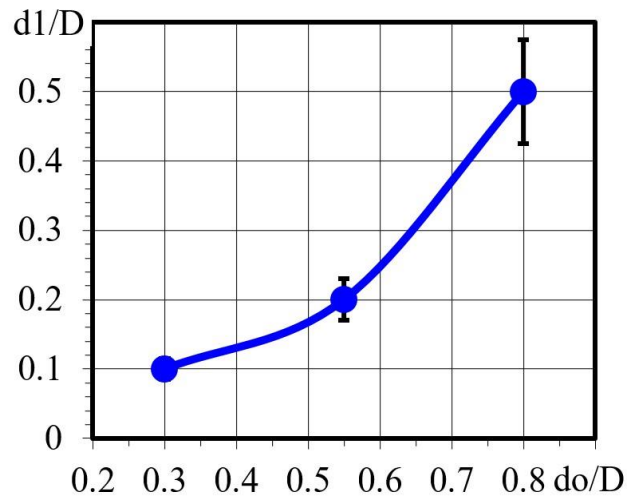


Рис. 7. Залежність зменшення внутрішнього діаметру від внутрішнього діаметру заготовки при деформуванні без використання оправки

Точність результатів моделювання зі зменшення внутрішнього діаметру в залежності від внутрішнього діаметру заготовки (рис. 7) підтверджується експериментом. Різниця теоретичних результатів й експериментальних складає 9...12 %.

Встановлені закономірності дають можливість визначити внутрішній поковочний діаметр пустотілої заготовки. Збільшення внутрішнього діаметру вихідної заготовки призводить до збільшення внутрішнього діаметру поковки.

Розроблено новий спосіб протягування пустотілих поковок без використання оправки. Встановлено залежності зміни розмірів внутрішнього діаметру та потовщення стінки пустотілої заготовки при протягуванні без використання оправки. Одержані результати дозволили визначити раціональні геометричні параметри пустотілої заготовки до деформування без використання оправки, а також переваги перед існуючими способами протягування пустотілих виробів:

- удосконалено спосіб виготовлення пустотілих поковок з внутрішнім діаметром менш 300 мм. Раніше такі вироби виготовлялись з суцільних заготовок свердлінням. Це потребувало значного часу на механобробку та збільшення витрат металу;

- деформування пустотілих поковок без використання оправки дозволило зменшити кількість підігрівань заготовок за рахунок виключення охолодження, яке притаманне способу протягування на охолоджувальній оправці, що установлюється в отвір пустотілої заготовки. В результаті зменшується час деформування та витрати енергії на підігрівання заготовки;

- розроблений спосіб деформування без використання ковальської оправки дозволяє не використовувати спеціальних оправок з жароміцної сталі.

До обмежень розробленого способу деформування пустотілих поковок слід віднести:

- відсутність внутрішньої оправки потребує до збільшення припуску на внутрішній діаметр пустотілої заготовки;

- запропонований спосіб протягування доцільно застосовувати тільки для виготовлення пустотілих поковок.

Практичним аспектом використання результатів моделювання є вдосконалення техпроцесу протягування пустотілих поковок з внутрішнім діаметром < 300 мм, коли застосування оправки неможливе.

Раніше досліджувалися процеси деформування пустотілих заготовок з використанням оправок. Протягування без використання оправок – це складний процес, але розширює технічні можливості деформування пустотілих поковок.

У роботі не представлені результати можливостей розробленого процесу виготовлення заготовок пустотілих поковок бойками спеціальної форми, які збільшать інтенсивність течії металу в осьовому напрямку для можливості виготовлення пустотілих поковок. Тому не вирішеними питаннями залишаються визначення впливу форми та розмірів заготовки та форми деформуючого інструменту на підвищення подовження пустотілої заготовки при деформуванні без використання оправки.

## ВИСНОВКИ

Раціональна відносна подача для інтенсивної витяжки пустотілої заготовки складає 5...15 % від діаметру заготовки. При відносному внутрішньому діаметрі 0,55...0,60 відбувається максимальне потовщення стінки поковки. Похибка результатів подовження заготовки, які отримані експериментальним моделюванням становить 7...11 %. Достовірність запропонованої ідеї отримання гільз за новим способом підтверджується експериментом, який показав, що зменшення внутрішнього діаметру залежить від внутрішнього отвору вихідної заготовки. Різниця даних теоретичного моделювання і експериментального в цьому випадку становить 9...12 %. Встановлені закономірності дають можливість встановити остаточний діаметр отвору пустотілої заготовки.

## REFERENCES

1. Markov, O., Zlygoriev, V., Gerasimenko, O., Hrudkina, N., Shevtsov, S. (2018). Improving the quality of forgings based on upsetting the workpieces with concave facets. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(1-95), 16-24. <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.142674>
2. Markov, O., Gerasimenko, O., Aliieva, L., Shapoval, A., Kosilov, M. (2019). Development of a new process for expanding stepped tapered rings. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2, 16-24. <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.160395>
3. Sanjari, M., Saidi, P., Taheri, A.K., Zadeh, M.H. (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.
4. Wang, Z. G. (2011). The theory analysis and numerical simulation for the radial forging process of gun barrel. *Nanjing University of Science and Technology*, 28–30.
5. Knauf, F., Nieschwitz, P.J., Holl, A., Pelster, H., Vest, R. (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, USA. September 12–15, 215–220.
6. Koppensteiner, R., Tang, Z. (2011). Optimizing Tooling And Pass Design For Effectiveness On Forged Product. 18th International Forgemasters Meeting. Market and Technical Proceedings. Pittsburgh, USA. September 12–15, 225–229.
7. Sheu, J.J., Lin, S.Y., Hsien, C.Y. (2014). Optimum die design for single pass steel tube drawing with large strain deformation. 11th International Conference on Technology of Plasticity, 19-24 October. Nagoya, Japan. *Procedia Engineering*, 81, 688–693.
8. Jaouen, O., Costes, F., Lasne, P., Barbelet, M. (2011). From Hollow Ingot to Shell with a Powerful Numerical Simulation Software Tool. 18th International Forgemasters Meeting. Market and Technical Proceedings. Pittsburgh, USA. – September 12–15, 513–518.
9. Li, Y., He, T., Zeng, Z. (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.
10. Li, Y., Huang, J., Huang, G., Wang, W., Chen, J., Zeng, Z. (2014). Comparison of radial forging between the two and threesplit dies of a thinwalled copper tube during tube sinking. *Materials and Design*, 56, 822–832.
11. Markov, O.E., Oleshko, M.V., Mishina, V.I. (2011). Development of Energy-saving Technological Process of Shafts Forging Weighting More Than 100 Tons without Ingot Upsetting. *Metalurgical and Mining Industry*, 3(7), 87–90. <http://www.metaljournal.com.ua/assets/Uploads/attachments/87Markov.pdf>
12. Markov, O.E., Perig, A.V., Markova, M.A., Zlygoriev, V.N. (2016). Development of a new process for forging plates using intensive plastic deformation. *Int J Adv Manuf Technol.*, 83(9-12), 2159–2174. <http://doi.org/10.1007/s00170-015-8217-5>
13. Kukhar, V., Burko, V., Prysiaznyi, A., Balalayeva, E., Nahnibeda M. (2016). Development of alternative technology of dual forming of profiled workpiece obtained by buckling. *East-European Journal of Enterprise Technology*, 3/7(81), 53–61. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.72063>
14. Markov, O.E. (2012). Forging of Large Pieces by Tapered Faces. *Steel in Translation*, 42 (12), 808 – 810. <https://doi.org/10.3103/S0967091212120054>

15. Zhbakov, I.G., Markov, O.E., Perig, A.V. (2014). Rational Parameters of Profiled Workpieces for an Upsetting Process. *International Journal Advanced Manufacturing Technology*, 72, 865–872. <https://doi.org/10.1007/s00170-014-5727-5>

16. Markov, O.E., Perig, A.V., Zlygoriev, V.N., Markova, M.A., Grin, A.G. (2017). A new process for forging shafts with convex dies. Research into the stressed state. *International Journal Advanced Manufacturing Technology*, 90, 801 – 818. <http://doi.org/10.1007/s00170-016-9378-6>

**Markov. E., Molodetskyi V., Zinskyi V., Payman A. Experimental study of a new process of deformation of forgings such as sleeves.**

*A study of a new method for the manufacture of hollow sleeves has been carried out. The proposed method consists in the deformation of a hollow billet with a bottom without a mandrel. A technique for conducting experimental studies based on the law of similarity is proposed. The technique is designed to determine the elongation, forging of the inner diameter and increase in the wall thickness of a hollow billet when deforming hollow forgings with a bottom without using a mandrel. The variable parameters were the hole diameter of the hollow billet, which varied in the range of 0.3 ... 0.8. The hole diameter of the hollow billet was established, which decreases when deformed by the developed method. Regularities were established for the intensity of drawing and the increase in the wall thickness of the hollow billet. A parameter has been proposed to determine the draw ratio of the hollow billet. It was noted that with an increase in the diameter of the hole, the intensity of elongation of the hollow billet increases and the degree of closing of the inner diameter decreases. The defining regularity of the studied deformation schemes is that the value of hollow billet drawing practically does not change depending on the degree of deformation for the same initial geometric parameters of the hollow billet. As a result, an efficient feed was determined which increases the draw ratio of the hollow billet and reduces the forging ratio of the inner cavity. The effective feed should be in the range of 10...15% of the original workpiece diameter. These results were established on samples of lead with the addition of antimony. It has also been found that when the hole diameter of the hollow billet is approximately 0.55 of the billet diameter, there is an intensive increase in the wall thickness of the billet. The error of the obtained experimental results is 7...11%. The established dependences make it possible to determine the final diameter of the hollow blank hole. The results of the study made it possible to establish that the deformation of hollow blanks without a mandrel is possible. The developed new method expands the technological capabilities of the processes for manufacturing sleeve-type forgings.*

**Keywords:** hollow billet, deformation without a mandrel, broach, forging a hole, elongation of a billet.

**Марков Олег Євгенійович** – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрою АВП ДДМА  
**Markov Oleg** – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Head of Department DSEA  
E-mail: [oleg.markov.ond@gmail.com](mailto:oleg.markov.ond@gmail.com)  
ORCID: [0000-0002-2467-9607](https://orcid.org/0000-0002-2467-9607)

**Молодецький Віталій Васильович** – начальник відділу ПрАТ «НКМЗ»  
**Molodetskyi Vitalii** – Head of Department NKMZ  
E-mail: [Molv2876@gmail.com](mailto:Molv2876@gmail.com)  
ORCID: [0000-0001-5766-1684](https://orcid.org/0000-0001-5766-1684)

**Зінський Володимир Миколайович** – аспірант ДДМА  
**Zinskyi Volodymyr M.** – post graduate  
E-mail: [dolomit.prodam@gmail.com](mailto:dolomit.prodam@gmail.com)  
ORCID: [0000-0002-4145-9665](https://orcid.org/0000-0002-4145-9665)

**Абхарі Пейман** – д-р техн. наук, професор ДДМА  
**Abhari Payman** – Doctor of Technical Sciences, Full Professor of DSEA  
E-mail: [payharies@gmail.com](mailto:payharies@gmail.com)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0827-8149>

Донбаська державна машинобудівна академія (ДДМА), м. Краматорськ  
Donbas State Engineering Academy (DSEA), Kramatorsk

Приватне акціонерне товариство «Новокраматорський машинобудівний завод» (ПрАТ «НКМЗ»),  
м. Краматорськ  
Novokramatorsky Mashinostroitelnyy Zavod (NKMZ), Kramatorsk