

Марков О. Є.
Станков В. Ю.
Панов В. В.
Зінський В. М.

ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБУ ДЕФОРМУВАННЯ ПУСТОТІЛИХ ЗАГОТОВОК З ДНОМ БОЙКАМИ ЗІ СКОСАМИ

У роботі запропоновано та досліджено новий спосіб протягування заготовок інструментом зі скосами. Заготовки протягувалися вирізними бойками з кутами вирізу $\alpha = 90^\circ, 115^\circ, 140^\circ$, кутами скосу вирізів $\beta = 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$ і довжиною горизонтальної полиці деформуючої частини (яка визначає величину подачі) $a = 100, 200, 300$ мм. Ступінь деформації заготівлі становив 20 %, 40 % та 60%. Загальною закономірністю для досліджуваних схем кування є те, що при протяжці порожнистих заготовок з діаметром отвору $d_0/D = 0,3$ відбувається заковування отвору при обтисканні більше 40%. Отримані результати показують, що переважний вплив на заковування робить вихідний діаметр отвору заготовки. Однак інтенсивність заковування отвору зменшується зі збільшенням ступеня обтиснення заготовки. Загальною закономірністю для досліджуваних схем кування є те, що інтенсивність кування отвору однакова при різних обтисненнях для постійних співвідношеннях розмірів заготовки. При подачах більше $0,2D$ не відбувається якісної та кількісної зміни залежності зміни ступеня та інтенсивності заковування отвору. Подача, що рекомендується, повинна бути в діапазоні $(0,1 \dots 0,2)D$. Після проведення теоретичного дослідження, дослідження деформованого стану металу заготовки та механізму заковування отвору циліндра, була обрана найефективніша схема, в якій вирізні бойки мали виріз 115° і ширину деформуючої частини $0,1D$, геометричні параметри $d_0/D = 0,8$. У даній схемі при протяжці плин металу відбувалося вздовж осі, що сприяє подовженню поковки і не повному заковуванню отвору.

Ключові слова: деформування, заготовка, протяжка, циліндр, конічні виступи, оправка, закриття отвору

Пріоритетним напрямом розвитку важкого машинобудування на сьогоднішній день є підвищення якості деталей відповідального призначення для підвищення їх експлуатаційних характеристик та зниження витрат на їхнє виробництво.

Існуючі методи виробництва таких поковок передбачають приварювання дна до порожнистих циліндрів, ротаційне кування, а також кування з оправкою для отримання порожнистих циліндричних поковок з дном. Ці методи виготовлення порожнистих циліндрів з дном не забезпечують усунення дефектів металургійного походження. Більш того, ці методи не забезпечують повного заковування дна через окислену поверхню металу заготівлі та необхідності використовувати дорогі оправки, зварювальний шов так само не має достатньої надійності [1, 2]. Однак визначення основних технологічних параметрів процесу виготовлення пустотілих заготовок з дном є складним завданням. Тому у виробництві досить великий обсяг експериментальних і довідкових робіт, а режими обробки, що реалізуються, далекі від оптимальних.

Відомий спосіб виготовлення порожнистих поковок, запропонований В. О. Ростовщikovим [3], що включає нагрівання порожнистої заготовки до температури деформації, установку в її порожнину короткої оправки і наступне кування заготовки з подачами і кантівками одночасно чотирма бойками на радіально-обтискній машині. Недоліком даного способу є неможливість отримання труб з високою якістю поверхні, це обумовлено зміщенням оправки при куванні в зоні деформування щодо умовної осі кування, що є причиною розношеності поковки та збільшення припусків під подальшу механічну обробку.

Відомий також спосіб І. В. Голишева [4], для виготовлення порожнистих поковок на гідравлічному кувальному пресі із застосуванням оправки. У цьому способі нагріту порожнисту заготовку встановлюють довгу оправку з невеликим зазором і утримують при куванні з однієї або двох сторін на ланцюгах крана або маніпулятором. Деформування виробляють двома бойками, обтискуючи ділянки заготівлі у певній послідовності без переміщення заготівлі щодо оправки. Після закінчення деформування оправку видаляють з поковки гідравлічним екстрактором або шляхом переміщення столу преса.

Цей спосіб дозволяє отримувати різні порожнисті поковки, у тому числі значних поперечних перерізів, з порожнистих заготовок і злитків на гідравлічних кувальних пресах. Недоліком даного способу є те, що при його здійсненні потрібні великі зусилля для зняття заготівлі з оправки, а в деяких випадках, через заковування оправки і великі сили тертя між оправкою і заготівлею, що виникають при цьому, не вдається зняти останню з оправки без зміни форми заготівлі.

Б. С. Каргінім та Є. С. Котовою вивчався вплив форми бойків на продуктивність протяжки на оправці [5]. Застосування вирізних бойків сприяє більш інтенсивному плину металу в подовження, що підвищує продуктивність процесу, порівняно з куванням комбінованими бойками, на 25...30 %. Це відбувається за рахунок контакту максимальної частини периметра поперечного перерізу заготовки з інструментом, а напружений стан при обтисненні вирізними бойками більшою мірою наближається до всебічного нерівномірного стиснення. При куванні порожнистих заготовок у комбінованих і вирізних бойках інтенсивність плину металу різна.

Мета роботи полягає у вивченні, аналізі деформованого стану, який дозволить розробити нові технологічні процеси кування порожнистих заготовок без оправки інструментом зі скосами. Тема актуальна та своєчасна, вирішує важливу науково-практичну проблему розробки та вдосконалення способів виготовлення ковкою циліндрів поковок з дном, які гарантують отримання продукції високої якості.

Поставлена мета реалізована на основі методу скінчених елементів програмного пакету DEFORM 3D. Достовірність отриманих теоретичних результатів перевірялася експериментом у лабораторних умовах, що ґрунтуються на законах подібності та моделювання. Численні експерименти проводилися з використанням ЕОМ. Під час обробки результатів чисельних експериментів застосовувалися методи математичної статистики.

Достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій забезпечена дотриманням відповідних сучасних методик під час проведення експериментів, перевіркою математичної моделі на адекватність та підтверджена відповідністю експериментальних результатів із теоретичним дослідженням.

При куванні пустотілих циліндрів з дном широкого поширення набув спосіб протягування поковок вирізними бойками. Тому дослідження та аналіз впливу геометричних параметрів ковальського інструменту, на напружено-деформований стан, доцільніше розпочати зі схеми кування вирізними бойками. Вихідні дані для розрахунку: сталь 34ХНМ4, $t = 1200^{\circ}\text{C}$; $v = 40$ мм/с; $D = 1000$ мм. Відношення зовнішнього та внутрішнього діаметрів $d_0/D = 0,3$.

Досліджувана схема протяжки представлена рисунку 1. У дослідженні використовувалися циліндричні сталеві порожнисті заготовки. Висота заготовок становила $H_1 = 238$ мм.

Інтенсифікувати витяжку при протяжці, а, відповідно, знизити ступінь заковування отвору в заготовці можна за рахунок застосування вирізних бойків зі скосами [6]. Кут скосів бойків (β) також є важливим чинником, він визначає величину подачі. З досвіду кування плит плоскими бойками зі скосами ефективний кут становить $10 \dots 30^{\circ}$ [7].

Заготовки протягувалися вирізними бойками з кутами вирізу $\alpha = 90^{\circ}, 115^{\circ}, 140^{\circ}$, кутами скосу вирізів $\beta = 10^{\circ}, 20^{\circ}, 30^{\circ}$ і довжиною горизонтальної полиці деформуючої частини (яка визначає величину подачі) $a = 100, 200, 300$ мм. Ступінь деформації заготівлі становив 20 %, 40 % та 60 %.

Досліджувався вплив трьох факторів, що варіювалися на трьох рівнях (кубічна модель), в результаті одержуємо 27 схем для дослідження. Результати розрахунку: інтенсивність та заковування внутрішнього отвору під час протягування. Особливість кування бойками, які мають скоси – зміна довжини робочої горизонтальної полиці бойків (рис. 2). Це, своєю чергою, призводить до зміни величини подачі. Перевищення величини подачі довжини горизонтальної полиці бойків призведе до утворення хвилястості та затисків на поверхні поковки. При кутах скосів бойків в інтервалі $10^{\circ}; 20^{\circ}; 30^{\circ}$ довжина горизонтальної полиці бойка (рис. 2) відповідатиме відносній подачі (a/D), що дорівнює 0,1; 0,2; 0,3 відповідно.

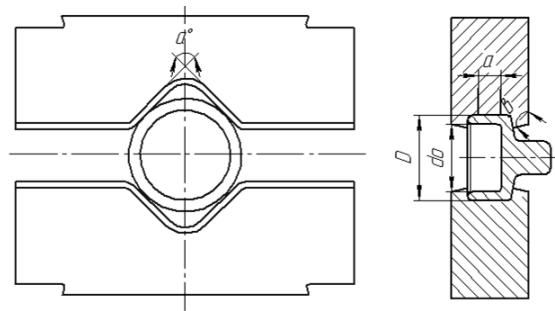


Рис. 1. Схема протягування вирізними бойками зі скосами

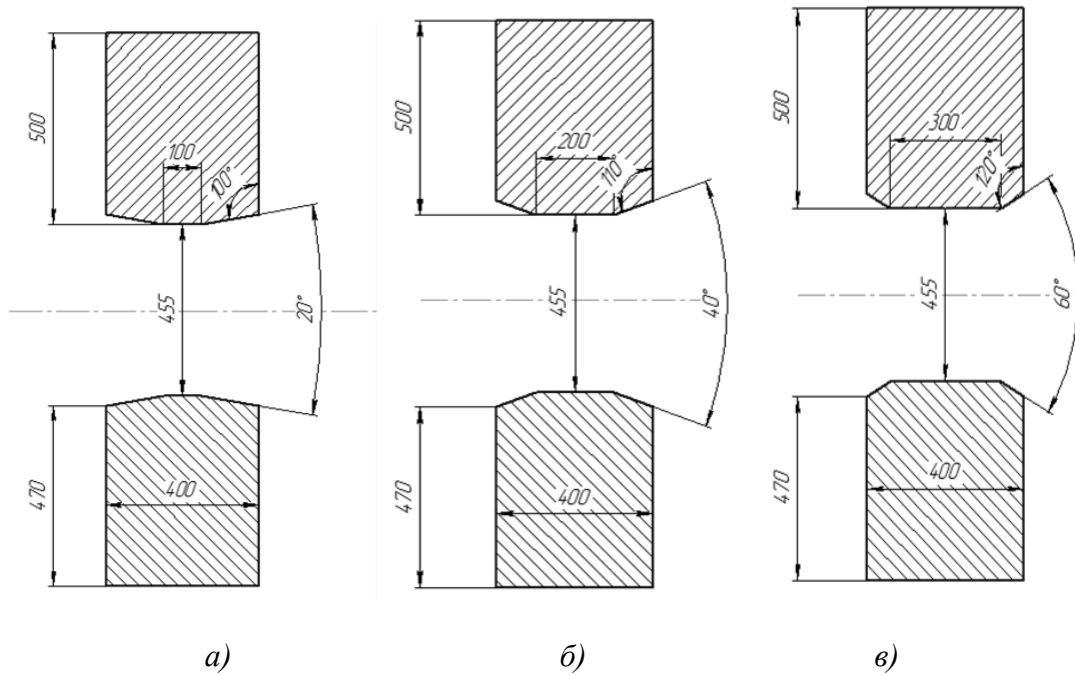


Рис. 2. Вирізни бойки зі скосами з різною шириною деформуючої частини та кутами скосів: а – 10° ; б – 20° ; в – 30°

Кількість скінченних елементів становила 40 000. Напруження течії для сталі 34ХНМ4 в гарячому стані показано на рис. 3. Для МСЕ моделювання використовували 3D модель.

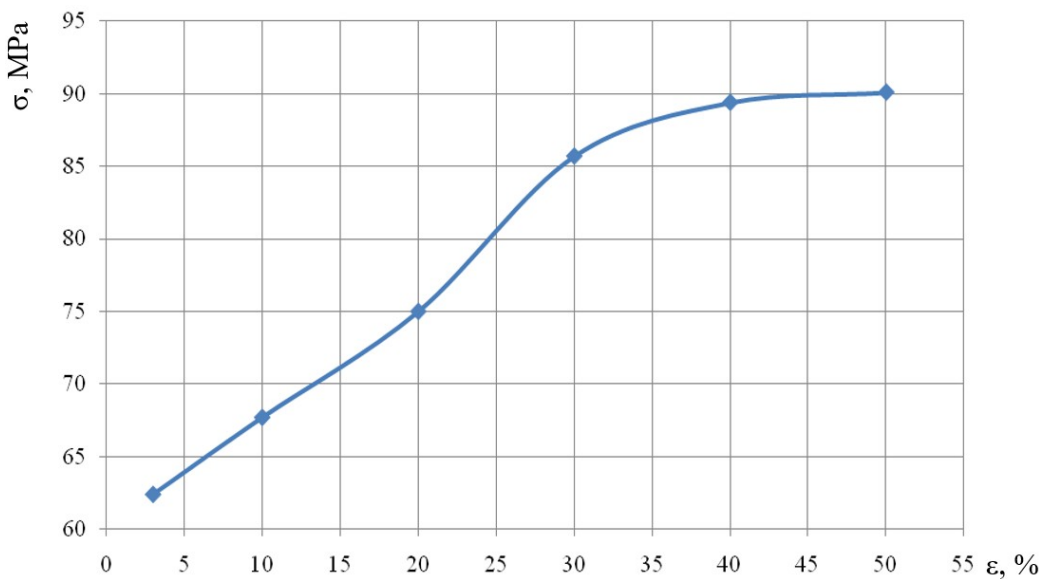


Рис. 3. Напруження течії сталі 34ХНМ4 при температурі 1180°C

Тому два фактори (кут скосу бойків та величина подачі) пов'язані між собою і не можуть виступати незалежними параметрами. Таким чином, ці два фактори можна об'єднати в один параметр і розділити дослідження на три схеми, при яких варіюватиметься кут скосу бойків (величина подачі).

Протяжка бойками з кутом вирізу 90° з подачами, рівними $0,1D$ забезпечує заковування отвору зі збільшенням ступеня обтискання заготовки (рис. 4). Однак величина заковування зменшується із збільшенням діаметра отвору заготовки (d_0). Оцінити інтенсивність («швидкість») заковування можна після аналізу результатів, що представлені рис. 5.

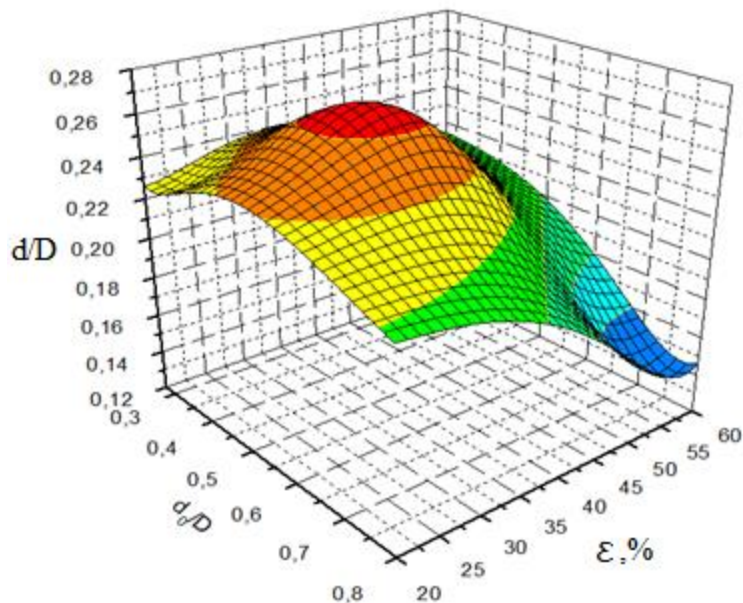


Рис. 4. Ступінь заковування отвору при протяжці пустотілих циліндрів бойками з кутом вирізу $\alpha = 90^\circ$ та кутами скосів $\beta = 10^\circ$

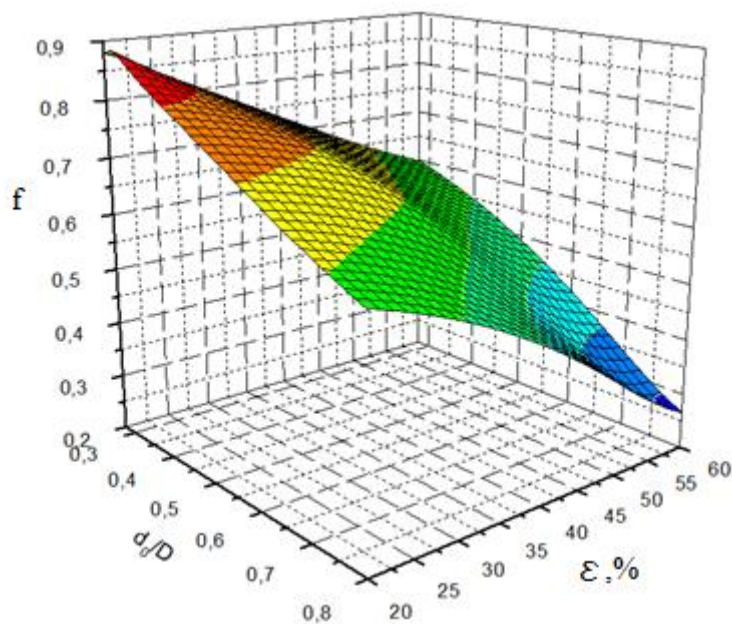


Рис. 5. Інтенсивність заковування отвору при протягуванні пустотілих циліндрів бойками з кутом вирізу $\alpha = 90^\circ$ та кутами скосів $\beta = 10^\circ$

Збільшення кута вирізу бойків до $\alpha = 115^\circ$ призводить до схожих результатів зі зменшення діаметра отвору поковку при збільшенні ступеня обтискання й зменшення товщини стінки (рис. 6).

При цьому величина кінцевого відносного діаметра (d/D) менша, ніж для кута вирізу $\alpha = 90^\circ$ (див. рис. 4), за однакових умов деформування, і має форму параболоїда обертання.

Інтенсивність заковування (f) для даної геометрії інструменту переважно залежить від вихідного відносного діаметра (d_0/D), ніж від ступеня обтиснення (рис. 7). Отримані результати дозволяють зробити висновок, що ступінь заковування збільшується, а швидкість заковування однакова при різних значеннях обтискання, тобто діаметр заковується практично з постійною швидкістю (рис. 6 та 7).

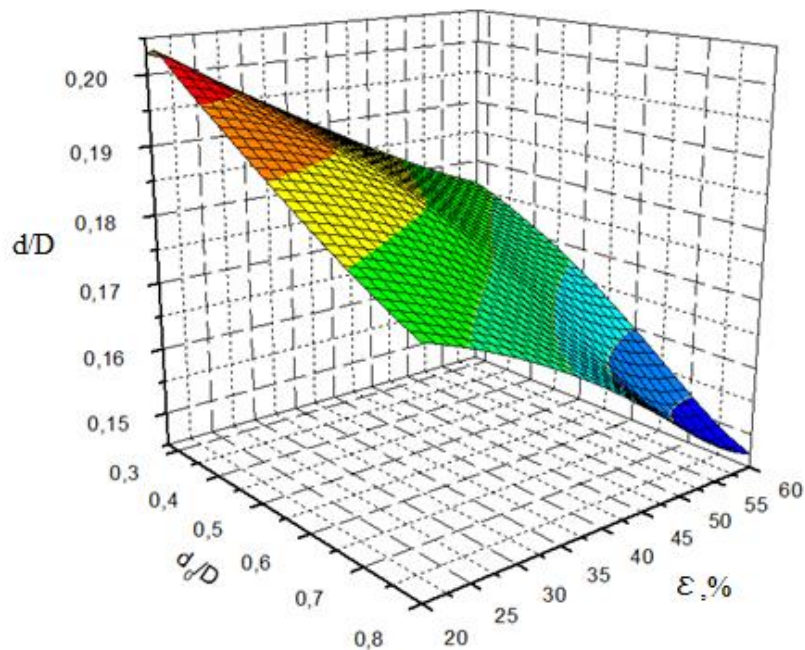


Рис. 6. Ступінь заковування отвору при протяжці пустотілих циліндрів бойками з кутом вирізу $\alpha = 115^\circ$ та кутами скосів $\beta = 10^\circ$

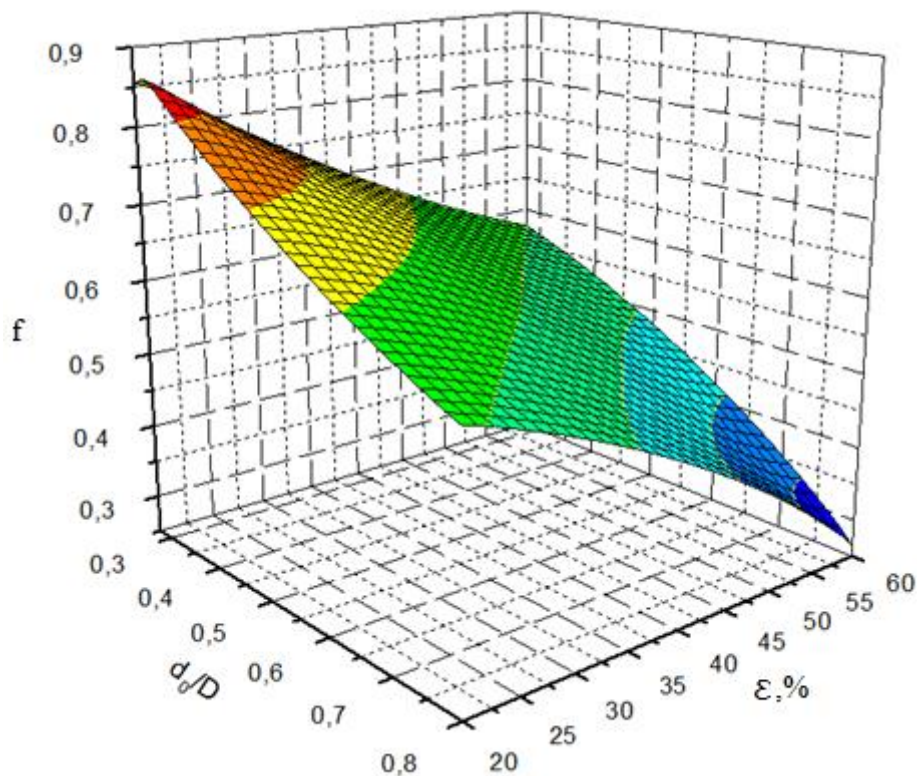


Рис. 7. Інтенсивність заковування отвору при протяжці пустотілих циліндрів бойками з кутом вирізу $\alpha = 115^\circ$ та кутами скосів $\beta = 10^\circ$

При куті вирізу $\alpha = 140^\circ$ ступінь заковування отвору зменшується (рис. 8), особливо при початковому відносному діаметрі $d_0/D > 0,4$. Ці результати відповідають інтенсивності заковування, яке зменшується із зменшенням товщини стінки заготовки (рис. 9). Отримана закономірність пояснюється тим, що великі кути вирізу сприяють збільшенню розширення, а відповідно зменшення набору товщини стінки при однакових обтисканнях.

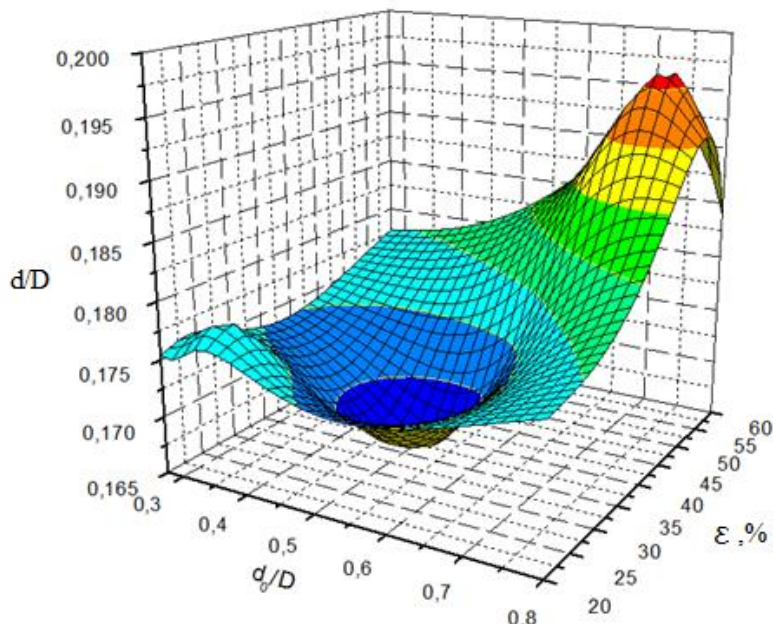


Рис. 8. Ступінь заковування отвору при протяжці пустотілих циліндрів бойками з кутом вирізу $\alpha = 140^\circ$ та кутами скосів $\beta = 10^\circ$

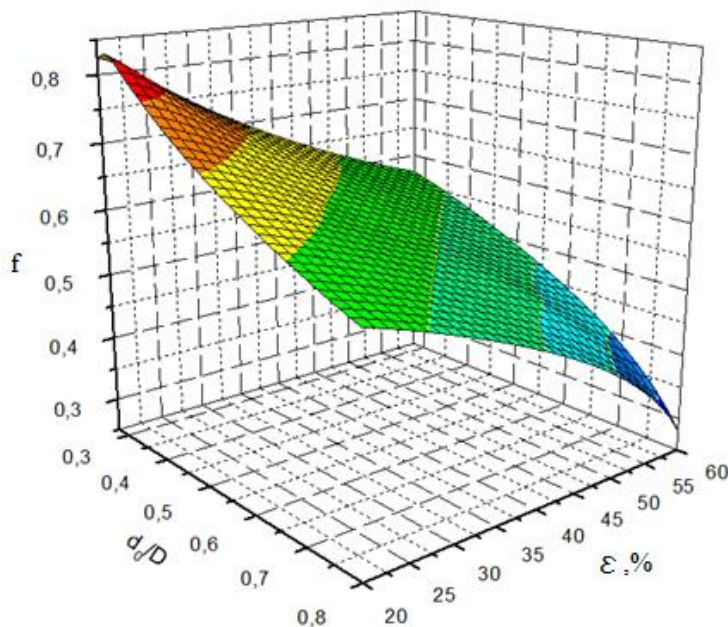


Рис. 9. Інтенсивність заковування отвору при протяжці пустотілих циліндрів бойками з кутом вирізу $\alpha = 140^\circ$ та кутами скосів $\beta = 10^\circ$

ВИСНОВКИ

1. Загальною закономірністю для досліджуваних схем кування є те, що при протяжці порожнистих заготовок з діаметром отвору $d_0/D = 0,3$ відбувається заковування отвору при обтисканні більше 40%. Інтенсивність заковування отвору однакова при різних обтисканнях для постійних співвідношеннях розмірів заготовки.

2. Отримані результати показують, що переважний вплив на заковування робить вихідний діаметр отвору заготовки. Однак інтенсивність заковування отвору зменшується зі збільшенням ступеня обтиснення заготовки, що є важливим науковим спостереженням і не було відомо раніше.

3. Загальною закономірністю для досліджуваних схем кування є те, що інтенсивність кування отвору однакова при різних обтисненнях для постійних співвідношеннях розмірів заготовки.

4. При подачах більше $0,2D$ не відбувається якісної та кількісної зміни залежності зміни ступеня та інтенсивності заковування отвору. Це дозволяє визначити рекомендовану подачу для інтенсивної витяжки заготівлі та зменшення ступеня заковування отвору. Подача, що рекомендується, повинна бути в діапазоні $(0,1...0,2)D$.

5. Після проведення теоретичного дослідження, дослідження деформованого стану металу заготовки та механізму заковування отвору циліндра, була обрана найефективніша схема, в якій вирізні бойки мали виріз 115° і ширину деформуючої частини $0,1D$, геометричні параметри $d_0/D = 0,8$. У даній схемі при протяжці протягом металу відбувалося вздовж осі, що сприяє подовженню поковки і не повному заковування отвору, а так само рівномірному розподілу деформацій і високої якості поверхні поковки в порівнянні з іншими способами.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кальченко П.П., Марков О.Е. Новые технологические процессыковки крупных прессовых поковок : монография. Краматорск : ДГМА. 2014. 100 с. ISBN 978-966-379-692-5.
2. Марков О.Е., Алиев И.С. Ресурсосберегающие технологические процессыковки крупных валов и плит : монография. Краматорск : ДГМА. 2012. 324 с. ISBN 978-966-379-583-6.
3. Ростовщиков В.А. Технология и оборудование для формообразования полых длинномерных поковок горячим радиальным обжатием. *Кузнечно-штамповочное производство*. 1987. 6. С. 10–13.
4. Ротационнаяковка полых цилиндрических заготовок : дис. ...канд. техн. наук :05.03.05. Голышев Игорь Владимирович. Тула, ТГУ. 2008. 139 с.
5. Каргин Б.С., Котова Е.С. Сравнение производительности при протяжкепустотелых поковок на оправке комбинированными и вырезными бойками. *Вісник Приазовського державного технічного університету. Сер. :Технічні науки*. 2013. 27. С. 49–52.
6. Пат. 86881 Україна, В 21 J 5/00. Спосіб кування порожнистих циліндрів з дном. Марков О.Є., Маркова М.О., № u201309697; заявл. 05.08.13; опубл. 10.01.14. Бюл. № 1.
7. Марков О.Е. Деформированное состояние при протяжке укороченных слитков бойками со скосами. *Научный вестник ДГМА : сб. науч. трудов*. Краматорск. 2013. 2 (12E). С. 70–78. URL : [http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/science_vesnik/№2\(12E\)_2013/article/12.pdf](http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/science_vesnik/№2(12E)_2013/article/12.pdf)
8. Маркова М.А., Недодай Р.С., Шарун А.О., Чуева К.Л. Схемыковки крупных поковок с интенсивными пластическими деформациями. *Матеріали XII Міжнародної науково-технічної конференції «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку»*. 23–24 вересня 2014 року. Краматорськ: ДДМА. 2014. С. 61. ISBN 978-966-379-640-6.
9. Маркова М.А. Исследование деформированного состояния заготовки при протяжке полых поковок без оправки бойками со скосами. *Научный Вестник ДГМА : сб. науч. трудов*. Краматорск. 2014. 3 (15E). С. 75–82.
10. Маркова М.А., Ризак П.И. Формоизменение полых поковок в процессе протяжки без оправки бойками со скосами. *Обработка материалов давлением*. Краматорск: ДГМА. 2014. 3 (36). С. 35–40.

REFERENCES

1. Kalchenko P.P., Markov O.E. New technological processes for forging large press forgings: monograph. Kratomorsk: DSEA. 2014. 100 p. ISBN 978-966-379-692-5. (*in Russian*).
2. Markov O.E., Aliiev I.S. Resource-saving technological processes for forging large shafts and plates: monograph. Kratomorsk: DSEA. 2012. 324 p. ISBN 978-966-379-583-6. (*in Russian*).
3. Rostovshchikov V.A. Technology and equipment for forming long hollow forgings by hot radial compression. *Forging and stamping production*. 1987. 6, pp. 10–13. (*in Russian*).
4. Rotational forging of hollow cylindrical blanks: dis. ...cand. tech. Sciences:05.03.05. Golyshev Igor Vladimirovich. Tula, TSU. 2008. 139 p. (*in Russian*).
5. Kargin B.S., Kotova E.S. Comparison of productivity when drawing hollow forgings on a mandrel using combined and cut-out dies. *Bulletin of the Azov State Technical University. Ser. :Technical sciences*. 2013. 27, pp. 49–52. (*in Russian*).
6. Pat. 86881 Ukraine, B 21 J 5/00. Method of soaking empty cylinders from the bottom. Markov O.E., Markova M.O. No. u201309697; application 05.08.13; publ. 01.10.14. Bull. No. 1. (*in Ukrainian*).

7. Markov O.E. Deformed state when pulling shortened ingots with beveled strikers. *Scientific bulletin of the DSEA: collection. scientific works.* Kramatorsk 2013. 2 (12E), pp. 70–78. URL: [http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/science_vesnik/№2\(12E\)_2013/article/12.pdf](http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/science_vesnik/№2(12E)_2013/article/12.pdf) (in Russian).

8. Markova M.A., Nedodai R.S., Sharun A.O., Chueva K.L. Forging schemes for large forgings with intense plastic deformations. *Proceedings of the XII International Scientific and Technical Conference "Importance of Mechanical Engineering. Problems and prospects for development."* 23–24 June 2014. Kramatorsk: DSEA. 2014, pp. 61. ISBN 978-966-379-640-6. (in Russian).

9. Markova M.A. Study of the deformed state of the workpiece when drawing hollow forgings without a mandrel using beveled strikers. *Scientific Bulletin of the DSEA: collection. scientific works.* Kramatorsk: DSEA. 2014. 3 (15E), pp. 75–82. (in Russian).

10. Markova M.A., Rizak P.I. Shaping of hollow forgings in the process of broaching without mandrels with beveled strikers. *Materials Working by Pressure.* Kramatorsk: DSEA. 2014. 3 (36), pp. 35-40. (in Russian).

Markov O., Stankov V., Panov V., Zinskyi V. Study of deformation method of hollow workpieces with bottom by dies with chamfer.

The paper proposes and investigates a new method for pulling blanks with a tool with bevels. The blanks were pulled by cut-out heads with cut-out angles $\alpha = 90^\circ, 115^\circ, 140^\circ$, cut-out bevel angles $\beta = 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$, and the length of the horizontal flange of the deforming part (determining the feed rate) $a = 100.0$ mm. The degree of blank deformation was 20%, 40% and 60%. The general regularity for the investigated forging schemes is that when broached hollow billets with a decoction diameter $d_0/D = 0.3$, the aversion is forged with a reduction of more than 40%. The results obtained show that the initial diameter of the workpiece hole has a predominant effect on the forging. However, the intensity of forging the decoction decreases with an increase in the degree of reduction of the workpiece. The general pattern for the studied forging schemes is that the intensity of prevention forging is the same at different reductions for constant ratios of the workpiece dimensions. When feeds are more than $0.2D$, there is no qualitative and quantitative change in the dependence of the change in the degree and intensity of forging prevention. The recommended feed should be in the range $(0.1...0.2)D$. After carrying out a theoretical study, studying the deformed state of the workpiece metal and the cylinder hole forging mechanism, the most effective scheme was chosen, in which the cut-out heads had a cut-out of 115° and a width of the deforming part of $0.1D$, geometric parameters $d_0/D = 0.8$. In this scheme, during broaching, the metal flow occurred along the axis, which contributes to the continuation of forging and not complete forging of repulsion.

Keywords: deformation, workpiece, drawing, cylinder, conical projections, mandrel, hole closing

Марков Олег Євгенійович – д-р техн. наук, зав. каф. АВП ДДМА

Markov Oleg – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Head of Department DSEA

E-mail: oleg.markov.ond@gmail.com

ORCID: [0000-0002-2467-9607](https://orcid.org/0000-0002-2467-9607)

Станков Віталій Юрійович – аспірант ДДМА

Stankov Vitaliy – post graduate, DSEA

E-mail: v.stankov@emss.dn.ua

ORCID: [0000-0002-2690-8354](https://orcid.org/0000-0002-2690-8354)

Панов Володимир Володимирович – аспірант ДДМА

Panov Volodymir – post graduate, DSEA

E-mail: v.panov@emss.dn.ua

ORCID: [0000-0002-4145-9665](https://orcid.org/0000-0002-4145-9665)

Зінський Володимир Миколайович – аспірант ДДМА

Zinskyi Volodymyr – post graduate, DSEA

E-mail: dolomit.prodam@gmail.com

ORCID: [0000-0002-4145-9665](https://orcid.org/0000-0002-4145-9665)

Донбаська державна машинобудівна академія (ДДМА), м. Краматорськ

Donbas State Engineering Academy (DSEA), Kramatorsk

Стаття поступила в редакцію 10.08.23 з.