

УДК 621.735.36

І. С. АЛІЄВ, М. О. МАРКОВА, В. М. ЗЛИГОРЕВ, Ю. О. ЯЧМІНЬ

## РОЗПОДІЛ ІНТЕНСИВНОСТІ ДЕФОРМАЦІЙ ПРИ КУВАННІ БОЙКАМИ З ВИПУКЛИМ ПРОФІЛЕМ

Запропоновано новий технологічний процес кування пустотілих поковок вирізними бойками зі скосами. Досліджувалися різні кути скосів бойків (10, 20 і 30 градусів) і довжини горизонтальних ділянок цих бойків. При кутах скоса бойків в  $10^\circ$  і вузьких деформуючих крайках відбувається рівномірний розподіл деформацій в об'ємі поковки. Рациональною геометрією інструменту є бойки з кутом скосів  $10...20^\circ$  і величиною подачі  $b/D = 0,1$ . Хвилястість поверхні отвору не перевищує величину припуску на механічну обробку.

**Ключові слова:** кування, протягування, оправка, вирізні бойки, кут вирізу, кут скоосу, ступінь деформації, величина подачі, ступінь обтиснення.

**Вступ.** В сучасних умовах необхідно підвищувати якість і знижувати витрати на виготовлення великих деталей особливо відповідального призначення, які застосовуються в енергетиці та важкому машинобудуванні. До таких деталей відносяться пустотілі циліндри і циліндри з дном.

**Аналіз літератури.** Пустотілі циліндри виготовляються куванням на оправці, а циліндри з дном передбачають приварювання або заковування дна [1]. Зварні деталі поступають за якістю цільнокованим і застосування їх в якості деталей особливо відповідального призначення має певні складнощі. Підвищення експлуатаційних характеристик, даних деталей, вимагає розробки нових схем деформування для забезпечення високої якості заготовок [2; 3].

Куванням-протягуванням пустотілих поковок займався Ю. М. Антощенков [4–6], чиї дослідження були спрямовані на вдосконалення технології кування-протягування за рахунок оптимізації конфігурації інструменту. Поширеним способом виготовлення поковок циліндрів з дном є спосіб кування циліндра на оправці з подальшим заварюванням дна [7].

Існуючі методи виготовлення пустотілих циліндрів з дном не забезпечують усунення дефектів металургійного походження. Недоліками даних способів є складність забезпечити повне заковування дна, необхідність використання дорогої оправки, недостатня надійність зварювального шва. Виготовлення деталей з високим комплексом експлуатаційних характеристик можливо за рахунок застосування нового способу отримання цількованих поковок без оправки [8].

**Метою роботи** є визначення напружено-деформованого стану в процесі протягування пустотілих заготовок без оправки при різних геометричних параметрах заготовки та інструменту. Деформований стан заготовки дозволить розробити рекомендації для проектування нових технологічних процесів кування пустотілих заготовок.

**Метод дослідження.** Дослідження процесів протягування здійснювалося методом скінчених елементів. При протягуванні завжди відбувається

зменшення площі поперечного перерізу і збільшення довжини заготовки. Ця умова має зберігатися і для протягування пустотілих заготовок. Отже, при збільшенні початкової площі поперечного перерізу заготовки (для малих співвідношень  $d_0/D$ ) і при однаковому ступені деформації заготовки довжина заготовки після протягування буде більше (виконання закону сталості обсягу в процесі пластичної деформації).

Протягування пустотілих заготовок класичними вирізними бойками не сприяє інтенсивному подовженню заготовки, а навпаки сприяє інтенсивному заковуванню отвору пустотілої заготовки. У цьому зв'язку необхідно удосконалювати схему кування пустотілих заготовок без оправки для збільшення інтенсивності подовження металу заготовки, а відповідно, зменшення величини заковування за рахунок зменшення інтенсивності збільшення товщини стінки пустотілої заготовки (рис. 1).

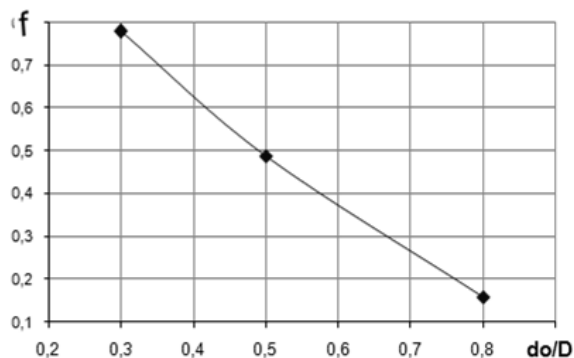


Рис. 1 – Вплив відносного діаметру отвору заготовки на інтенсивність заковування отвору поковки вирізними бойками

Вихідні дані для розрахунку: сталь 34ХНМ4; швидкість деформування  $v = 40$  мм / с. Температурний інтервал кування  $1200...800$  °С, щільність при кімнатній температурі  $7840$  кг / м<sup>3</sup>; модуль Юнга  $2 \cdot 10^5$  МПа; коефіцієнт Пуассона  $0,3$ .

Заготовки протягувалися вирізними бойками з кутами вирізу  $\alpha = 90^\circ, 115^\circ, \text{ та } 140^\circ$  (рис. 2) і різною довжиною горизонтальної полиці деформуючої частини, яка визначає величину подачі  $b = 100, 200, 300$  мм (відносна подача  $0,1D; 0,2D; 0,3D$ ,

відповідно). Ступінь деформації (обтиснення  $\epsilon$ ) – в діапазоні 20...60 %.

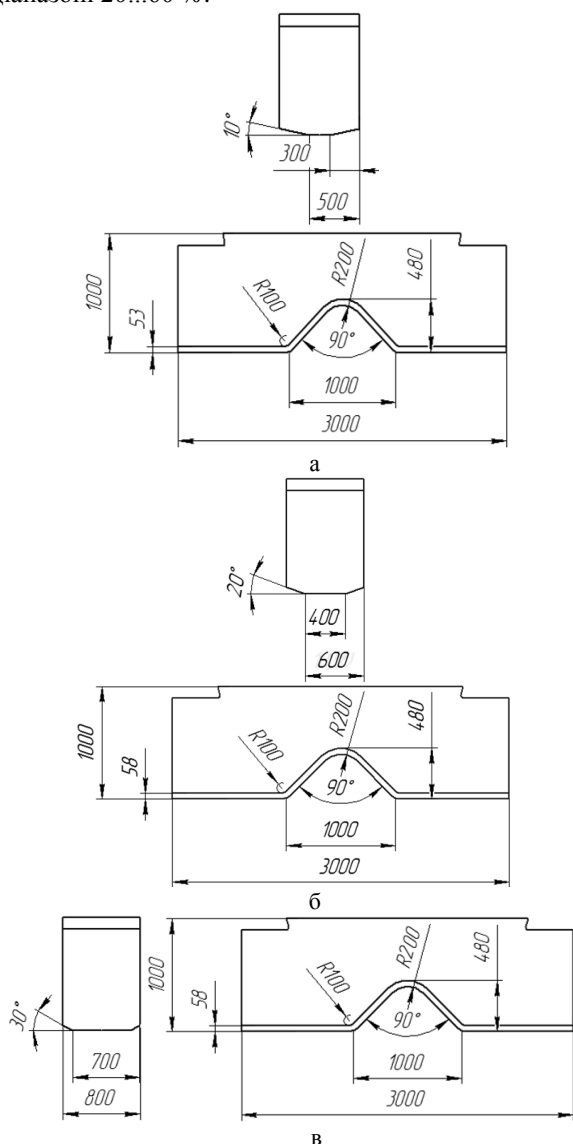


Рис. 2 – Інструмент для протягування з різними кутами скосів шириною та довжиною деформуючої частини: а – 0,1D; б – 0,2D; в – 0,3D

Зменшити ступінь заковування отвору в поковці можна за рахунок інтенсифікації подовження при протягуванні. Збільшити витяжку при протягуванні можна за рахунок застосування вирізних бойків зі скошеними кромками, зменшення подачі і обтиснення.

Ідея застосування вирізних бойків зі скосами полягає в тому, що така геометрія деформуючого інструменту забезпечує опрацювання поверхневих шарів заготовки і завдяки невеликим подачам плин металу відбувається уздовж осі заготовки, що забезпечує її подовження і виключає повне заковування отвору.

Для забезпечення високої якості поверхні і виключення освіти затискачів при протягуванні вирізними бойками, обтиснення має становити не більше 10% від діаметра заготовки, подача 10%. Деформування здійснювалося поетапно, з обтисненням за прохід 10 % від діаметра зразка.

Протягування здійснювалося наступним чином: прохід → кантування на  $90^\circ$  → прохід → кантування на  $90^\circ$  → прохід → кантування на  $45^\circ$  → прохід. При такій схемі кування на кінцевому етапі отримали заготовку, що має в поперечному перерізі форму багатокутника за формою близькою до кола. Для даної геометрії інструменту в процесі протягування на поверхні поковки не утворюються затискачі і метал плине інтенсивно уздовж осі заготовки. По закінченні процесу деформування поковка має поверхню близьку до циліндричної.

У дослідженні використовувалися циліндричні сталеві порожнисті заготовки. Діаметр заготовок  $D = 1000$  мм, а діаметр отвору –  $d_0 = 800$  мм, висота заготовок  $H_1 = 480$  мм. Досліджувався вплив трьох факторів, які варіювалися на трьох рівнях.

У результаті моделювання було встановлено розподіл деформацій в об'ємі заготовки та формозміна отвору при протягуванні без застосування оправки. Ступінь деформації заготовки – 20 %, 40 % і 60 %.

Процес кування пустотілих поковок без оправки характеризується тривимірним плином металу. Протягування заготовки вирізними бойками призводить до її подовження і збільшення товщини стінки. Інтенсифікувати подовження при протягуванні, а відповідно знизити ступінь заковування отвору в заготовці можна за рахунок застосування вирізних бойків зі скосами, а також застосування малих подач. Тому варіювалася додатково величина подачі. З досвіду кування плит плоскими бойками зі скосами ефективний кут складає  $10...30^\circ$  [9]. На подовження і розширення при протягуванні значний вплив робить величина відносної подачі заготовки в бойки ( $\epsilon/D$ ). Для інтенсифікації подовження при протягуванні слід застосовувати малі подачі. Перевищення величини подачі довжини горизонтальної полиці бойків призведе до утворення хвилястості і зажимів на поверхні поковки. Відносна подача становила 0,1; 0,2; 0,3 від діаметра заготовки, відповідно. Тому дослідження можна розділити на три схеми, при яких буде варіюватися величина подачі. Формозміна заготовки та заковування отвору залежить від напружено-деформованого стану (НДС). НДС, в свою чергу, залежить від схеми деформування, геометрії інструменту та режимів кування.

**Аналіз результатів** моделювання процесу кування тонкостінних заготовок ( $d_0/D = 0,8$ ) вирізними бойками з кутом  $\alpha = 90^\circ$  дозволив зробити висновок, що деформації при обтисненні 40 % розподіляються в тілі заготовки рівномірно.

Однак при обтисненні 60 % градієнт деформацій в стінці і дні поковки відрізняється – максимальні деформації локалізуються з боку дна циліндра (рис. 3). При цьому деформації зосереджуються в периферійних шарах заготовки. Це пояснюється тим, що бойки зі скосами не сприяють глибокому проникненню зони пластичної деформації до осі заготовки. Максимальний градієнт деформацій виникає при куванні бойками з

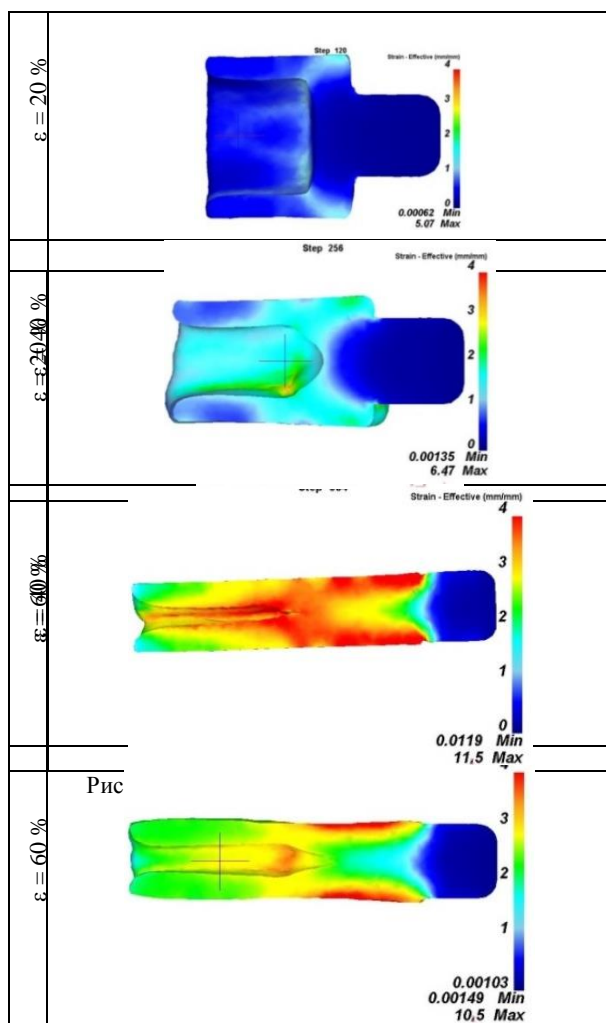


Рис. 3 – Розподіл інтенсивності деформацій при величині подачі 0,1D

кутом скосів  $\beta = 20^\circ$  і досягає значення 11,5 одиниць (рис. 4). Високий рівень накопичення пластичних деформацій у тілі заготовки з високою рівномірністю їх розподілу спостерігається при використанні бойків з кутами скосів  $\beta = 10^\circ$  (рис. 3), тому надалі можна розглядати цю схему для розробки технологічного процесу кування пустотілих циліндрів з дном.

При протягуванні відбувається збільшення товщини стінки заготовки, проте повного заковування отвору при уковах, рівних 2,5 не спостерігається.

Особливо ця закономірність характерна для схем протягування з малими подачами (рис. 3), які складають 0,1D. Для схеми кування з малими подачами відсутність оправки не призводить до утворення різновтовщинності стінки заготовки, що перевищує вимоги креслення поковки. Однак, слід зазначити зміни форми дна заготовки в процесі протягування, що потребує збільшення напуску на механічну обробку отвору.

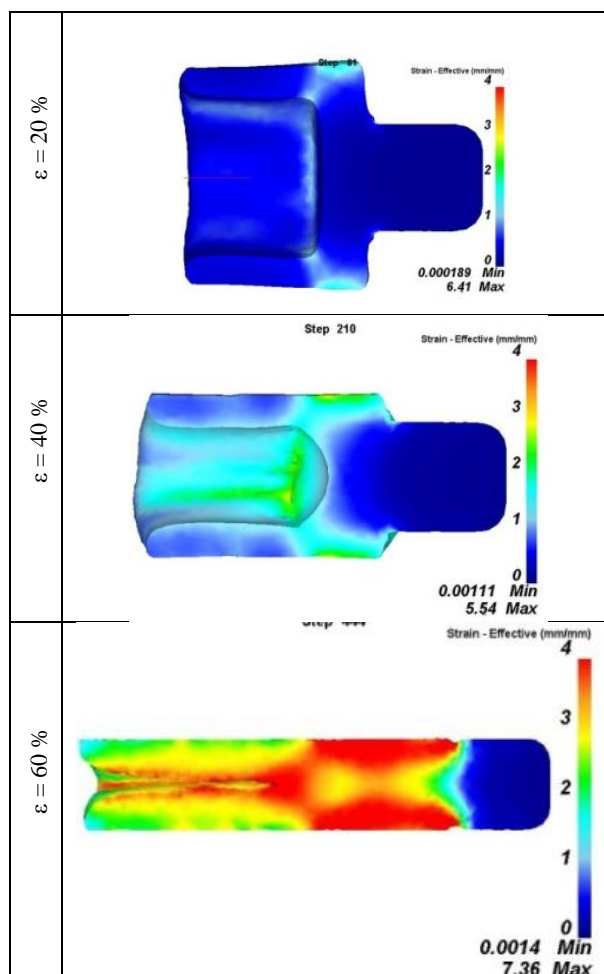


Рис. 5 – Розподіл інтенсивності деформацій при величині подачі 0,3D

Збільшення подачі призводить до більшого заковування отвору і спотворення його форми (рис. 4, 5). Це пояснюється глибоким проникненням зони пластичної деформації при збільшенні подачі. Ковка пустотілих глухоніжних заготовок призводить до збільшення товщини дна в процесі кування, що також слід враховувати при розробці технологічного процесу одержання таких поковок.

#### Висновки

1. Вибрані геометричні параметри заготовки та інструменту (відносний діаметр отвору заготовки, вирізи бойків з кутом  $90^\circ$  і величиною відносної подачі 0,1D) забезпечують рівномірний розподіл деформацій і не призводять до повного заковування отвору.

2. Для схем кування з малими подачами відсутність оправки не призводить до утворення різновтовщинності стінки заготовки, яка б перевищувала вимоги креслення поковки. Хвилястість поверхні отвору не перевищує величину припуску на механічну обробку, що буде гарантувати отримання заданих розмірів поковки без оправки. Збільшення подачі призводить до більшого заковування отвору і спотворення його форми.

3. Слід зазначити зміни форми дна заготовки в процесі протягування, що потребує збільшення

напуску на механічну обробку отвору. Ковка пустотілих глухдонних заготовок призводить до збільшення товщини дна в процесі кування.

4. Аналіз результатів теоретичних і експериментальних досліджень дозволив встановити закономірності напружено-деформованого стану порожнистих заготовок в процесі протягання вирізними бойками зі скосами, та розробити рекомендації для проектування технологічного процесу кування порожнистих заготовок з дном.

**Список літератури:** 1. Новые технологические процессыковки крупных прессовых поковок : монография / П. П. Кальченко, О. Е. Марков. – Краматорск : ДГМА, 2014. – 100 с. – ISBN 978-966-379-692-5. 2. Марков О. Е. Ресурсосберегающие технологические процессыковки крупных валов и плит : монография / О. Е. Марков, И. С. Алиев. – Краматорск : ДГМА, 2012. – 324 с. – ISBN 978-966-379-583-6. 3. Кобелев О. А. Изготовление толстостенных трубных поковок и заготовок для производства плит / О. А. Кобелев, В. А. Тюрин // Кузнечно-штамповочное производство. – 2008. – № 1. – С. 27–30. 4. Антощенко Ю. М. Влияние внешних зон на формоизменение заготовки при ковке / Ю. М. Антощенко // Кузнечно-штамповочное производство. – 2001. – № 6. – С. 19–21. 5. Сидоров А. Н. Распределение напряжений в очаге деформации при ковке плоскими бойками сплошных и полых цилиндрических заготовок / А. Н. Сидоров, Ю. М. Антощенко // Кузнечно-штамповочное производство. – 1996. – № 9. – С. 32–34. 6. Антощенко Ю. М. Результаты промышленнойковки полых заготовок бойками с непрямолинейным фронтом подачи / Ю. М. Антощенко // Кузнечно-штамповочное производство. – 2001. – № 7. – С. 26–27. 7. Каргин Б. С. Сравнение производительности при протяжке пустотелых поковок на оправке комбинированными и вырезными бойками. / Б. С. Каргин, Е. С. Котова / Вісник приазовського державного технічного університету, 2013 р. – № 27. – С. 9–13. 8. Пат. 86881 Україна, МПК (2013.01) В 21 J 5/00. Спосіб кування порожнистих циліндрів з дном / Марков О. Є., Маркова М. О.; заявник та власник Марков О. Є., Маркова М. О., Краматорськ. –

№ u201309697; заявл. 05.08.13; опубл. 10.01.14, Бюл. № 1. – 5 с. : іл. 9. Марков О. Е. Деформированное состояние при протяжке укороченных слитков бойками со скосами [Электронный ресурс] / О. Е. Марков // Научный вестник ДГМА : сб. науч. трудов. – Краматорск, 2013. – № 2 (12Е). – С. 70–78. – Режим доступа: [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).

**Bibliography (transliterated):** 1. Novye tekhnologicheskie processy kovki krupnyh pressovyh pokovok: monografiya. P. P. Kal'chenko, O. E. Markov. Kramatorsk : DGMA, 2014. 100 p. 2. Markov O. E. Resursosberegayushchie tekhnologicheskie processy kovki krupnyh valov i плит : monografiya. O. E. Markov, I. S. Aliev. Kramatorsk : DGMA, 2012. 324 p. 3. Kobelev O. A. Izgotovlenie tolstostennyh trubnyh pokovok i zagotovok dlya proizvodstva плит. O. A. Kobelev, V. A. Tyurin. Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. 2008. No 1. P. 27–30. 4. Antoshchenkov Yu. M. Vliyaniye vneshnih zon na formoizmeneniye zagotovki pri kovke. Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. 2001. No 6. P. 19–21. 5. Sidorov A. N. Raspredeleniye napryazheniy v ochage deformatsii pri kovke ploskimi bojkami sploshnyh i polyh cilindricheskikh zagotovok. A. N. Sidorov, Yu. M. Antoshchenkov. Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. 1996. No 9. P. 32–34. 6. Antoshchenkov Yu. M. Rezul'taty promyshlennoy kovki polyh zagotovok bojkami s nepravomolinyym frontom podachi. Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. 2001. N 7. P. 26–27. 7. Kargin B. S. Sravneniye proizvoditel'nosti pri protyazhke pustotelyh pokovok na opravke kombinirovannymi i vyreznymi bojkami. B. S. Kargin, E. S. Kotova. Visnik priazov'skogo derzhavnogo tekhnichnogo universiteta, 2013. No 27. P. 9–13. 8. Markov O. E., Markova M. O. Sposib kuvannya porozhnistih cilindriv z dnom. Pat. 86881 Ukraina, MPK (2013.01) B 21 J 5/00. 10.01.14. 9. Markov O. E. Deformirovannoye sostoyaniye pri protyazhke ukorochennyh slitkov bojkami so skosami [Elektronnyy resurs] / O. E. Markov. Nauchnyy vestnik DGMA: sb. nauch. trudov. Kramatorsk, 2013. No 2 (12E). P. 70–78. Rezhim dostupa: [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).

Надійшла (received) 01.11.2015

#### Відомості про авторів / About the Authors

**Алієв Іграмотдін Серажутдінович**, доктор технічних наук, професор, професор кафедри «Обробка металів тиском» Донбаської державної машинобудівної академії, м. Краматорськ, тел.: (0626) 41-67-20.

**Алієв Іграмотдін Серажутдінович**, Doctor of Technical Sciences, Full Professor. Professor at the Department of “Metal Forming” of Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk, tel.: (0626) 41-67-20.

**Маркова Марина Олександрівна**, аспірант кафедри «Обробка металів тиском» Донбаської державної машинобудівної академії, м. Краматорськ, тел.: (0626) 41-67-20. e-mail: markova.mar.alex@mail.ru

**Markova Marina Oleksandrivna**, Postgraduate Student at the Department of “Metal Forming” of Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk, tel.: (0626) 41-67-20. markova.mar.alex@mail.ru

**Злигорєв Віталій Михайлович**, аспірант кафедри «Обробка металів тиском» Донбаської державної машинобудівної академії, м. Краматорськ.

**Zligorev Vitalij Mihajlovich**, Postgraduate Student at the Department of “Metal Forming” of Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk.

**Ячмінь Юлія Олегівна**, студентка Донбаської державної машинобудівної академії, м. Краматорськ.

**Yachmin Yuliya Olegivna**, Student at the Department of “Metal Forming” of Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk.