

УДК 621.735.3

Маркова М. А.
Розов Ю. Г.
Мкртчян Е. А.
Сомкин А. Е.

МЕХАНИЗМ ЗАКОВКИ ОТВЕРСТИЯ ПРИ КОВКЕ БЕЗ ОПРАВКИ

С ростом потребностей тяжелого и энергетического машиностроения увеличивается спрос на изготовление пустотелых поковок. Данный тип поковок имеет низкий коэффициент использования металла (КИМ = 0,15–0,3) из-за отходов, связанных с прошивкой отверстия и дополнительными припусками на отверстие [1].

На практике в поковках с диаметром отверстия меньше 350 мм его закрывают напуском и получают отверстие высверливанием сплошного цилиндра, полученного ковкой в комбинированных бойках [2]. В то же время технологические процессыковки полых поковок типа полых цилиндров и труб обеспечивают получение их путем протяжки на конической оправке осаженой и прошитой заготовки [3].

Очевидно, что длинномерные поковки изготовить общепринятым способом практически невозможно из-за короткой длины рабочей части оправки и большого объема выполняемых работ в последнем выносе, что приведет к преждевременному охлаждению заготовки и недокованных на ней участков. Кроме того, изготовление длинных поковок протяжкой на удлинённых оправках обусловлено значительным увеличением их массы, а также усложняется снятием поковки с оправки [4].

Проектирование новых технологических процессов получения данных поковок без оправки требует проведения комплексных исследований и разработки рекомендаций для их реализации. В. А. Ростовщиков предложил способ изготовления полых поковок, близких к профилю готовых деталей, который позволяет повысить использование металла, на современных радиально-обжимных машинах бойками со скосами [5].

Изготовление деталей с высоким комплексом эксплуатационных характеристик возможно за счет применения нового способа получения цельнокованных поковок без оправки [6, 7].

В основу разработки нового технологического процесса изготовления длинномерных полых цилиндров поставлена задача – повысить эффективностьковки за счет создания благоприятных условий деформирования металла заготовки обычным способом без использования оправок. Эта задача решается за счет безоправочной протяжки поковок [8]. При использовании предложенной технологииковки пустотелых цилиндров с дном появляется возможность изготавливать цельнокованные полые цилиндры без применения оправки, которые идут на изготовление деталей ответственного назначения [9].

В процессековки без оправки происходит заковка отверстия и увеличение стенки исходной заготовки. Это представляет большую сложность при проектировании технологического процесса для этого способа. В этой связи следует установить закономерность изменения диаметра отверстия прошитой заготовки в зависимости от известных размеров поковки, режимов деформирования и геометрии инструмента [10]. Поэтому необходимо определить, как влияет протяжка вырезными бойками со скосами на заковку отверстия в зависимости от исходных размеров заготовок, угла выреза бойков, величины обжатия и подачи.

Формоизменение заготовки и заковка отверстия зависит от напряженно-деформированного состояния (НДС) в процессе деформирования. НДС, в свою очередь, зависит от схемы деформирования, геометрии инструмента и режимовковки [11].

Цель работы – изучить механизм заковки отверстия при ковке без оправки.

Поэтому разработка научно-обоснованной методики проектирования технологических процессовковки полых цилиндров с целью интенсификацииковки при снижении энергоемкости и трудозатрат является актуальной задачей и представляет большой научный и практический интерес [12, 13].

Теоретическое исследование МКЭ процессов протяжки глухонных цилиндров бойками со скосами позволило установить рациональную геометрию бойков со скосами, которые обеспечивают интенсивную вытяжку при протяжке, меньшую степень заковки отверстия и отсутствие наружных поверхностных дефектов [10]. Теоретическое исследование процессаковки глухонных поковок требует экспериментальной оценки полученных результатов [12, 13].

Актуальность работы состоит в повышении эффективности процессовковки полых цилиндрических заготовок без оправки посредством научно-обоснованного проектирования режимов ихковки на базе созданных численных моделей, позволяющих разработать и оценить новый технологический процессковки таких поковок. Новый технологический процессковки повысит конкурентоспособность отечественной продукции, что позволит увеличить объем экспорта уникальной продукции на рынке тяжелого и энергетического машиностроения.

Основной технологический параметр, необходимый для разработки технологических процессов протяжки без оправки – формоизменение в процессе деформирования.

В результате экспериментальных исследований процессов протяжки без оправки необходимо установить влияние основных параметров на формоизменение металла заготовки в процессе деформирования. Основные параметры, которые влияют на заковку отверстия при протяжке без оправки: степень деформации, относительный диаметр отверстия и подача.

Деформирование заготовок вырезными бойками со скосами (рис. 1, а) проводилось на свинцовых образцах. Диаметр полых заготовок $D = 45$ мм, диаметр отверстия $d_{\text{отв}} = 34$ мм, длина заготовок $l_0 = 27$ мм, относительная подача $f = a / D_0 = 0,1$. Обжатие производилось до диаметра $D = 27$ мм. Бойки закреплялись в специальном штампе (рис. 1, б).



Рис. 1. Бойки (а) и оснастка для протяжки (б)

В ходе проведения эксперимента выполнялись замеры поперечного сечения отверстия. Подготовленные свинцовые образцы протягивались в вырезных бойках с углом выреза $\alpha = 115^\circ$. Эти параметры выбраны как наиболее эффективные с точки зрения максимальной вытяжки при протяжке и качества поверхности заготовки. Деформирование осуществлялось поэтапно, с обжатием за проход 10 % от диаметра образца. Протяжка осуществлялась следующим образом: проход → кантовка на 90° → проход → кантовка на 90° → проход → кантовка на 45° → проход. При такой схемековки на конечном этапе получился полуфабрикат, имеющий в поперечном сечении форму многоугольника по форме, близкой к кругу (рис. 2). Для данной геометрии инструмента в процессе протяжки на поверхности поковки не образуются зажимы, и металл течет интенсивно вдоль оси заготовки.

Полученные результаты экспериментальных исследований сравнивались с теоретическими результатами для возможности оценки достоверности результатов проводимых исследований.

На рис. 2 представлена таблица, позволяющая сравнить результаты экспериментальных и теоретических исследований при протяжке вырезными бойками, с углом выреза $\alpha = 115^\circ$, заготовок с геометрическими параметрами $d_0 / D = 0,3; 0,5; 0,8$. Изменение размеров заготовок в процессе экспериментального исследования представлены в табл. 1.

Для анализа полученных теоретических и экспериментальных данных были построены графики зависимости удлинения (φ) (рис. 3), относительного утолщения стенки (S_1/S_0) (рис. 4) и относительного изменения диаметра заготовки (d_{1cp}/D) в зависимости от относительного диаметра отверстия в заготовке d_0/D (рис. 5).

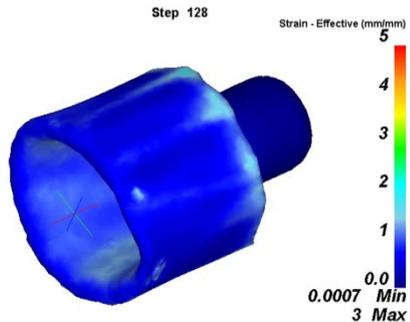
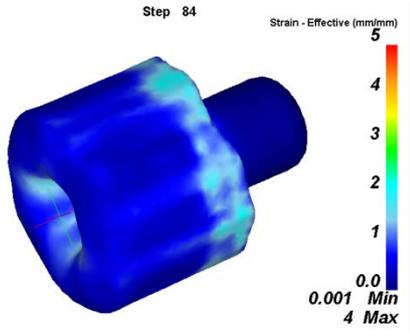
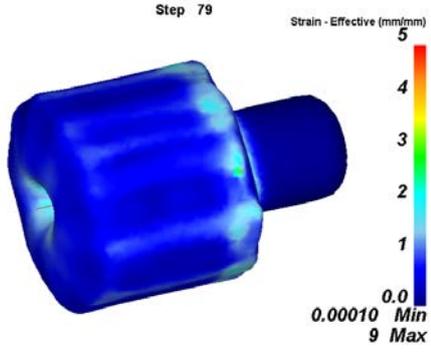
$\varepsilon = 20\%$		
$d_0/D = 0,8;$ $d/D = 0,5$		
$d_0/D = 0,55;$ $d/D = 0,2$		
$d_0/D = 0,3;$ $d/D = 0,1$		

Рис. 2. Сопоставление экспериментальных и теоретических результатов формоизменения после протяжки на 20 % вырезными бойками со скосами

Согласно полученным результатам установлено, что с увеличением диаметра отверстия удлинение заготовки увеличивается (рис. 3). Это объясняется тем, что при тонких стенках заготовки объем металла, участвующий в деформации меньше, а соответственно, меньшее количество металла течет на заготовку отверстия.

Результаты по удлинению заготовки, полученные МКЭ, примерно на 10–15 % больше экспериментальных. При этом увеличение толщины стенки заготовки более интенсивно происходит в экспериментальных образцах (рис. 4). Полученные результаты позволили установить, что с уменьшением толщины стенки исходной заготовки увеличивается толщина стенки поковки. Экспериментальные и теоретические результаты показали наличие максимума утолщения стенки при относительном диаметре отверстия в заготовке, равного 0,6. Это позволяет сделать вывод о неэффективности данных соотношений размеров заготовки.

Таблица 1

Условия и результаты проведения эксперимента

α , град	β , град	$f = a / D$, %	$E = \Delta h / D$	d_0 / D	l_0 , мм	d_0^{cp} , мм	h_0 , мм	D , мм	$V_0^{отв}$, мм ³	D_1 , мм	V_1 , мм ³	l_1 , мм	d_1^{cp} , мм	$S_1 = (D_1 - d_1) / 2$, мм	$\psi = (l_1 - l_0) / l_0$	d^{cp} / D
120°	90°	≈0,63	20%	0,3	26	13,2	25	44,5	3 419	36,8	600	31,5	4,7	16	0,18	0,1
				0,5		22,5	30		11 922	37	2 000	33	8,8	14	0,21	0,2
				0,8		32,5	30		24 874	36,5	11 800	34	21,8	7,3	0,23	0,5

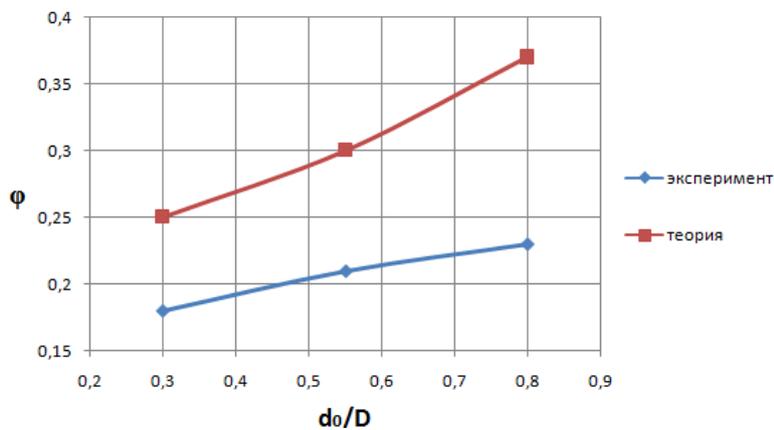


Рис. 3. Сопоставление экспериментальных и теоретических результатов удлинения заготовки в процессе протяжки без оправки

Адекватность теоретических результатов МКЭ подтверждает анализ экспериментальных результатов изменения конечного диаметра отверстия в поковке в зависимости от различного диаметра отверстия в заготовке (рис. 5). Отклонение теоретических данных от экспериментальных составляет максимум 5 %. Полученные зависимости имеют одинаковый характер изменения. Эти зависимости позволяют установить конечный диаметр отверстия в поковке. С увеличением начального диаметра отверстия увеличивается конечный диаметр отверстия поковки по степенной зависимости (рис. 5).

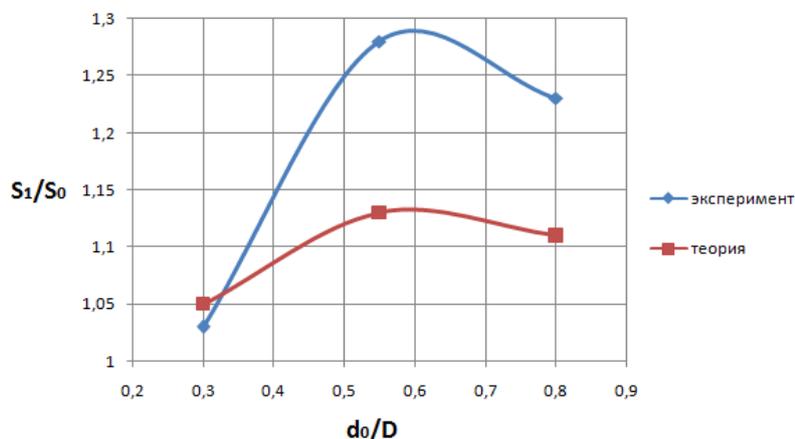


Рис. 4. Сопоставление экспериментальных и теоретических результатов изменения толщины стенки в процессе протяжки без оправки

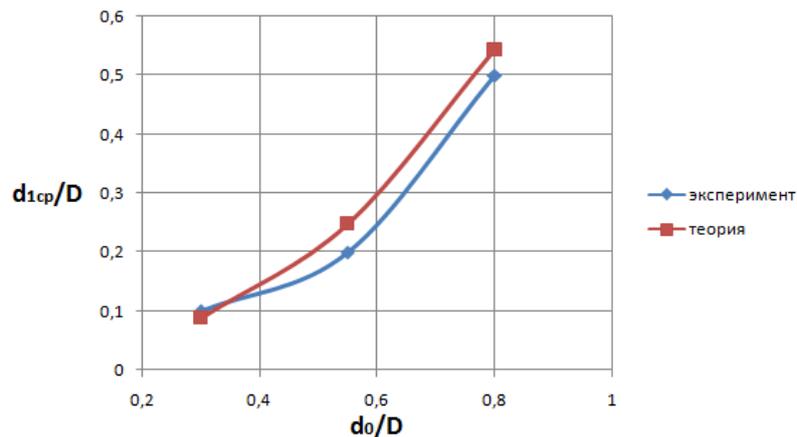


Рис. 5. Сопоставление экспериментальных и теоретических результатов заковки отверстия в процессе протяжки без оправки

ВЫВОДЫ

1. С увеличением степени деформации степень заковки отверстия уменьшается, и интенсивность заковки возрастает, т. е. происходит утолщение стенки.
2. Результаты экспериментальных исследований подтверждают результаты теоретического исследования, с погрешностью 6–12 %. Полученные данные подтверждают, что в результате протяжки конечная форма поковки имеет форму, близкую к цилиндрической.
3. С увеличением диаметра отверстия удлинение заготовки увеличивается. С уменьшением толщины стенки исходной заготовки увеличивается толщина стенки поковки. С увеличением начального диаметра отверстия увеличивается конечный диаметр отверстия поковки по степенной зависимости.
4. Экспериментальные и теоретические результаты показали наличие максимума утолщения стенки при относительном диаметре отверстия в заготовке, равном 0,6. Это позволяет сделать вывод о неэффективности данных соотношений размеров заготовки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кобелев О. А. Изготовление толстостенных трубных поволоков и заготовок для производства плит / О. А. Кобелев, В. А. Тюрин // *Кузнечно-штамповочное производство*. – 2008. – № 1. – С. 27–30.
2. Каргин Б. С. Сравнение производительности при протяжке пустотелых поволоков на оправке комбинированными и вырезными бойками / Б. С. Каргин, Е. С. Котова / *Вісник приазовського державного технічного університету*, 2013. – № 27. – С. 9–13.
3. Тюрин В. А. Ковка полых заготовок на РОМ / В. А. Тюрин, Г. П. Жигулев, А. М. Володин // *Кузнечно-штамповочное производство*. – 1993. – № 1. – С. 10–12.
4. Кальченко П. П. Новые технологические процессы ковки крупных прессовых поволоков : монография / П. П. Кальченко, О. Е. Марков. – Краматорск : ДГМА, 2014. – 100 с. – ISBN 978-966-379-692-5.
5. Ростовициков В. А. Технология и оборудование для формообразования полых длинномерных поволоков горячим радиальным обжатием / В. А. Ростовициков // *Кузнечно-штамповочное производство*. – 1987. – № 6. – С. 10–13.
6. 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.
7. Марков О. Е. Ресурсосберегающие технологические процессы ковки крупных валов и плит : монография / О. Е. Марков, И. С. Алиев. – Краматорск : ДГМА, 2012. – 324 с. – ISBN 978-966-379-583-6.
8. Марков О. Е. Деформированное состояние при протяжке укороченных слитков бойками со скосами / 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).
9. Усовершенствованная технология изготовления трубных поволоков / Я. М. Охрименко, В. П. Троицкий, А. Н. Веремеевич, Б. Г. Восходов, Л. А. Лбов // *Кузнечно-штамповочное производство*. – 1979. – № 2. – С. 5–8.
10. Маркова М. А. Исследование деформированного состояния заготовки при протяжке полых поволоков без оправки бойками со скосами / М. А. Маркова // *Научный Вестник ДГМА : сб. науч. трудов*. – Краматорск,

2014. – № 3 (15E). – С. 75–82. – Режим доступа : [http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/science_vesnik/№3\(15E\)_2014/article/15.pdf](http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/science_vesnik/№3(15E)_2014/article/15.pdf).

11. Пасько А. Н. Моделирование многопереходного процесса ротационнойковки / А. Н. Пасько // Кузнечно-штамповочное производство. – 2010. – № 8. – С. 69–73.

12. Маркова М. А. Формоизменение полых поковок в процессе протяжки без оправки бойками со скосами / М. А. Маркова, П. И. Ризак // Обработка материалов давлением : сборник научных трудов. – Краматорск : ДГМА, 2014. – № 2 (39). – С. 81–87.

13. Маркова М. А. Заковка отверстия при ковке бойками с выпуклым рабочим профилем / М. А. Маркова, В. Н. Злыгорев, П. И. Ризак // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : збірник наукових праць. – Краматорськ : ДДМА, 2015. – № 1 (34). – С. 57–63.

REFERENCES

1. Kobelev O. A. Izgotovlenie tolstostennnyh trubnyh pokovok i zagotovok dlja proizvodstva plit / O. A. Kobelev, V. A. Tjurin // Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo. – 2008. – № 1. – С. 27–30.

2. Kargin B. S. Sravnenie proizvoditel'nosti pri protjazhke pustotelnyh pokovok na opravke kombinirovannymi i vyreznymi bojkami / B. S. Kargin, E. S. Kotova / Visnik priazovs'kogo derzhavnogo tehničnogo universitetu, 2013. – № 27. – С. 9–13.

3. Tjurin V. A. Kovka polyh zagotovok na ROM / V. A. Tjurin, G. P. Zhigulev, A. M. Volodin // Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo. – 1993. – № 1. – С. 10–12.

4. Kal'chenko P. P. Novye tehnologičeskie processy kovki krupnyh pressovyh pokovok : monografija / P. P. Kal'chenko, O. E. Markov. – Kramatorsk : DGMA, 2014. – 100 s. – ISBN 978-966-379-692-5.

5. Rostovshnikov V. A. Tehnologija i oborudovanie dlja formoobrazovanija polyh dlinnomernyh pokovok gorjachim radial'nym obzhatiem / V. A. Rostovshnikov // Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo. – 1987. – № 6. – С. 10–13.

6. Pat. 86881 Ukraina, MPK(2013.01) B 21 J 5/00. Sposib kuvannja porozhnistih cilindriv z dnom / Markov O. E., Markova M. O.; zajavnik ta vlasnik Markov O. E., Markova M. O., Kramators'k. – № u201309697; zajavl. 05.08.13; opubl. 10.01.14, Bjul. № 1. – 5 c. : il.

7. Markov O. E. Resursosberegajushhie tehnologičeskie processy kovki krupnyh valov i plit : monografija / O. E. Markov, I. S. Aliev. – Kramatorsk : DGMA, 2012. – 324 s. – ISBN 978-966-379-583-6.

8. Markov O. E. Deformirovannoe sostojanie pri protjazhke ukoročennyh slitkov bojkami so skosami / O. E. Markov // Nauchnyj vestnik DGMA : sb. nauch. trudov. – Kramatorsk, 2013. – № 2 (12E). – С. 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).

9. Uovershenstvovannaja tehnologija izgotovlenija trubnyh pokovok / Ja. M. Ohrimenko, V. P. Troickij, A. N. Veremeevich, B. G. Voshodov, L. A. Lbov // Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo. – 1979. – № 2. – С. 5–8.

10. Markova M. A. Issledovanie deformirovannogo sostojanija zagotovki pri protjazhke polyh pokovok bez opravki bojkami so skosami / M. A. Markova // Nauchnyj Vestnik DGMA : sb. nauch. trudov. – Kramatorsk, 2014. – № 3 (15E). – С. 75–82. – Rezhim dostupa : [http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/science_vesnik/№3\(15E\)_2014/article/15.pdf](http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/science_vesnik/№3(15E)_2014/article/15.pdf).

11. Pas'ko A. N. Modelirovanie mnogoperehodnogo processa rotacionnoj kovki / A. N. Pas'ko // Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo. – 2010. – № 8. – С. 69–73.

12. Markova M. A. Formoizmenenie polyh pokovok v processe protjazhki bez opravki bojkami so skosami / M. A. Markova, P. I. Rizak // Obrabotka materialov davleniem : sbornik nauchnyh trudov. – Kramatorsk : DGMA, 2014. – № 2 (39). – С. 81–87.

13. Markova M. A. Zakovka otverstija pri kovke bojkami s vypuklym rabochim profilem / M. A. Markova, V. N. Zlygorev, P. I. Rizak // Visnik Donbas'koi derzhavnoi mashinobudivnoi akademii : zbirnik naukovih prac'. – Kramators'k : DDMA, 2015. – № 1 (34). – С. 57–63.

Маркова М. А. – аспирант каф. ОМД ДГМА;

Розов Ю. Г. – д-р техн. наук, доц. ХНТУ;

Мкртчян Е. А. – ассистент каф. ОМД ПГТУ;

Сомкин А. Е. – студент каф. ОМД ДГМА.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск;

ХНТУ – Херсонский национальный технический университет, г. Херсон;

ПГТУ – Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь.

E-mail: markova.mar.alex@mail.ru

Статья поступила в редакцию 06.05.2015 г.