

УДК 621.735.3

Маркова М. А.  
Ризак П. И.**ФОРМОИЗМЕНЕНИЕ ПОЛЫХ ПОКОВОК В ПРОЦЕССЕ ПРОТЯЖКИ  
БЕЗ ОПРАВКИ БОЙКАМИ СО СКОСАМИ**

Основной задачей развития тяжелого машиностроения является вывод его на принципиально новые ресурсосберегающие технологии, обеспечивающие повышение производительности труда, экономию материальных и энергетических ресурсов [1]. В значительной степени решению этих задач способствует внедрение в промышленность прогрессивных технологийковки [1].

Среди крупных поковок занимают особое место пустотелые поковки. 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 [3]. Увеличенный припуск вызван применением конусных оправок для исключения заковки отверстия при протяжке. Ограничением применения оправок является невозможность получения в поковках отверстий диаметром, меньше 300 мм [4]. На практике в таких поковках отверстие закрывают напуском и получают его высверливанием сплошного цилиндра, полученного ковкой в комбинированных бойках [5]. Снизить расход металла возможно за счет формирования отверстия в поковке без применения оправки [6]. Проектирование новых технологических процессов получения данных поковок без оправки требует проведения комплексных исследований и разработки рекомендаций для их реализации.

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.

Цель 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 внешнем рынке.

Операция прошивки отверстия требует значительных усилий, иногда превышающих возможности действующих прессов. В таких случаях для получения полых заготовок нужного диаметра приходится вводить дополнительную операцию – раскатку предварительно прошитых слитков, что увеличивает трудоемкость и разностенность исходных заготовок перед протяжкой [2].

Для устранения указанных недостатков Я. М. Охрименко и др., разработали и опробовали комплексную технологию изготовления толстостенных полых заготовок из специального кузнечного слитка с глухой полостью, обеспечивающую улучшение технологичности процесса, экономию металла, снижение трудоемкости и повышение качества получаемых трубных изделий [7].

Метод прошивки слитков в контейнере со стороны усадочной раковины бесприбыльного слитка, разработанный Ю. Ф. Шевакиным и А. З. Глейбергом [8], обладает рядом существенных недостатков, связанных с неравномерностью распределения по телу поковки накопленной деформации и неблагоприятным распределением металла дефектной зоны слитка, обогащенной вредными примесями и неметаллическими включениями, прилегающей к усадочной раковине слитка.

А. В. Пакало и Б. Н. Березовский предложили новый способ получения поковок труб, включающий три операции: осадку слитка в контейнере, заполняющую прошивку осаженого слитка со стороны донной части с вытеснением металла дефектной зоны в свободную

полость контейнера [9]. Этот способ позволяет, по сравнению с существующим, снизить разностенность труб, расположить дефектную зону в области технологического отхода поковки (в донной части) и исключить дефекты на внутренней поверхности стакана (трубы), уменьшить технологические припуски и увеличить коэффициент использования металла.

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 [10].

Н. Е. Сидоровым была предложена новая технологияковки полых цилиндров [11]. Принципиальным отличием предложенной технологии от общепринятой является изменение последовательности операцийковки, применение подогрева до температуры 1000°C, являющейся температурой последующей термической обработки и не приводящей к значительному росту зерна, и отказ от промежуточных термических обработок. Длительность термического циклаковки при таком процессе сократилась до 620 ч.

Новый процесс получения бесшовных толстостенных труб большого диаметра, работающих в агрессивных средах, в условиях высоких температур и сравнительно высоких давлений, был разработан С. И. Данилиным и соавторами [12]. Метод принципиально отличается тем, что изготовление поковок производится из слитков прошивкой в матрице на вертикальном гидравлическом прессе и протяжкой полученного стакана на горизонтальном гидравлическом прессе. Качество труб, полученных новым методом, характеризуется высоким уровнем механических свойств и однородностью состава.

Для нужд тяжелого машиностроения часто требуются поковки пустотелых цилиндров с глухим дном. Из таких поковок изготавливаются цилиндры и плунжеры гидравлических прессов, плунжеры механизмов шагающих экскаваторов и др. детали. Недостаток существующей технологии с заковкой дна заключается в том, что на внутренней поверхности неизбежно образуются складки и трещины. Ф. Н. Голиков и соавторы предложили новую технологию изготовления пустотелых цилиндрических заготовок с глухим дном, позволяющую исключить данные недостатки [13].

Способковки пустотелых цилиндров без оправки является новым и неизученным. В процессековки без оправки происходит заковка отверстия и увеличение стенки исходной заготовки. Это представляет большую сложность при проектировании технологического процесса для этого способа. Следует установить механизм изменения диаметра отверстия прошитой заготовки в зависимости от известных размеровковки режимов деформирования и геометрии инструмента [14]. 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. Исследование процессов протяжки осуществлялось методом конечных элементов.

Исходные данные для расчета: сталь 34ХНМ4,  $t = 1200^\circ\text{C}$ ;  $v = 40$  мм / с. Температурный интервалковки 1200–800°C, плотность при комнатной температуре 7 840 кг / м<sup>3</sup>; модуль Юнга  $2 \cdot 10^5$  МПа.

Заготовки протягивались вырезными бойками с углами выреза  $\alpha = 90^\circ, 115^\circ, 140^\circ$  и различной длиной горизонтальной полки деформирующей части, которая определяет величину подачи  $b = 0,1D; 0,2D; 0,3D$ . Исследуемая схема протяжки представлена на рис. 1. В исследовании использовались цилиндрические стальные полые модели. Диаметр заготовок  $D = 1000$  мм, а диаметр внутреннего отверстия варьировался в диапазоне  $d_o = 800$  мм; 500 мм; 300 мм (отношения наружного и внутреннего диаметра отверстия  $d_o / D = 0,3; 0,5; 0,8$ ); высоты заготовок составляли  $H_1 = 480; 286; 238$  мм для обеспечения одинакового объема заготовки при разных диаметрах отверстий. Исследовалось влияние трех факторов, которые варьировались на трех уровнях. Результаты расчета – степень и интенсивность заковки отверстия при протяжке бойками со скосами без оправки. Степень деформации заготовки составляла 20 %, 40 % и 60 %.

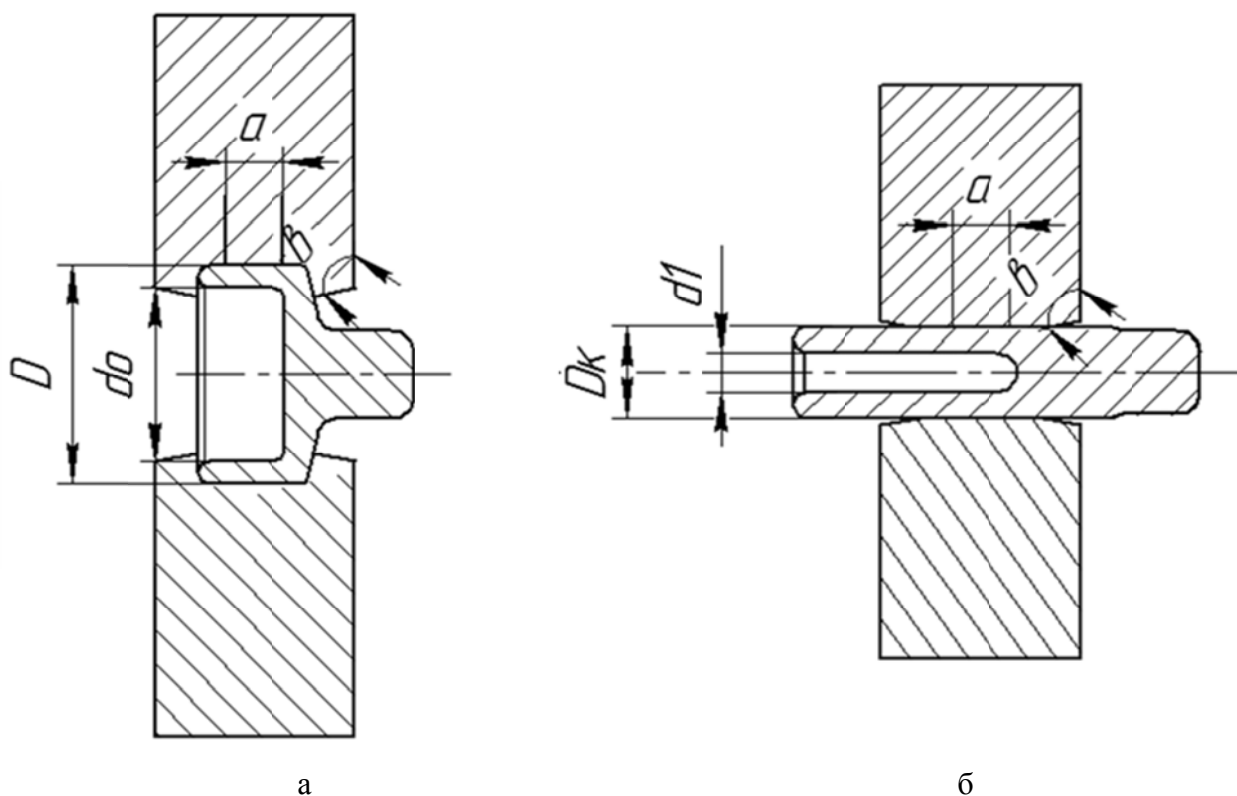


Рис. 1. Схема процесса протяжки на начальном (а) и завершающем (б) этапе

В результате исследования должны быть даны рекомендации для проектирования нового технологического процессаковки пустотелых цилиндров без оправки. Процессковки пустотелых поковок без оправки характеризуется трёхмерным течением металла при протяжке. Протяжка заготовки вырезными бойками приводит к её удлинению и увеличению толщины стенки. На формоизменение пустотелой заготовки в процессековки оказывают влияние форма исходной заготовки, режимы деформирования (подача, кантовка, обжатие) и геометрия инструмента. Исходные данные для проектирования технологического процесса – наружный и внутренний диаметры поковки.

Расчет процесса протяжки пустотелых глухонных поковок без оправки представляет собой сложную исследовательскую задачу. Это вызвано влиянием большого числа факторов на данный процесс. Для реализации процесса моделирования необходимо выбрать значимые факторы. Анализ технологических процессовковки пустотелых цилиндров показал, что основными факторами, влияющими на формоизменение заготовки в процессе деформации являются: относительный диаметр отверстия в заготовке ( $d_0/D$ ), угол выреза бойков ( $\alpha$ ) и относительная подача ( $a/D$ ). На формоизменение в процессе протяжки вырезными бойками также оказывает влияние величина суммарного обжатия заготовки ( $\varepsilon$ ). Интервал варьирования для первого фактора выбран из условия максимального и минимального значения толщины стенки заготовки. Применение дляковки пустотелых заготовок с тонкой стенкой ( $d_0/D > 0,8$ ) приведет к сплющиванию заготовки, при котором не будет происходить деформирование стенки. При значительных толщинах стенки пустотелых заготовок перед протяжкой ( $d_0/D < 0,25$ ) будет происходить интенсивное заковывание отверстия при протяжке вырезными бойками. Поэтому интервалы варьирования первого фактора выбраны в этом диапазоне (табл. 1).

Эффективность протяжки заготовок зависит от угла выреза бойков. Интенсивная вытяжка будет происходить при угле выреза бойков  $\alpha = 90^\circ$ , однако эти бойки менее универсальные и требуют частой смены бойков при ковке при заданных обжатиях заготовки. Обеспечить универсальность вырезных бойков возможно за счет увеличения угла выреза. При углах выреза бойков  $\alpha > 140^\circ$  схемаковки приближается к ковке плоскими бойками, что сопровождается интенсивным уширением и, соответственно сплющиванием пустотелой заготовки, а не её вытяжкой. Исходя из данных ограничений, был выбран соответствующий интервал для этого фактора (табл. 1).

Изменение диаметра отверстия в заготовке зависит от степени деформации (обжатия). На практике при ковке пустотелых поковок уклов по толщине стенки поковки составляет 2,0–3,5. Этой величине уклова соответствует обжатие по диаметру ( $\varepsilon = \frac{D_0 - D}{D_0} \cdot 100\%$ ) в диапазоне 20–60 %.

Интенсифицировать вытяжку при протяжке, а соответственно, снизить степень заковки отверстия в заготовке можно за счёт применения вырезных бойков со скосами, что обеспечит применение малых подач. Поэтому величина подачи также служит значимым фактором. Из опытаковки плит плоскими бойками со скосами эффективный угол составляет 10–30° [15]. Относительная подача ( $a/D$ ) составляла 0,1; 0,2; 0,3 от диаметра заготовки, соответственно. Поэтому исследование можно разделить на три схемы, при которых будет варьироваться величина подачи. Таким образом, выделены три основных фактора, влияющих на процессковки пустотелых поковок без оправки (табл. 1). При планировании математического эксперимента получили математическую модель относительного диаметра внутреннего отверстия ( $d_1 / D$ ).

Таблица 1

Факторы и уровни их варьирования при проведении исследования

Факторы и интервалы их варьирования	$X_1$	$X_2$	$X_3$
	$d_0/D$	$\alpha, ^\circ$	$\varepsilon, \%$
Интервал варьирования $\Delta X_j$	0,25	25	20
Нижний уровень $X_j = -1$	0,3	90	20
Средний уровень $X_j = 0$	0,55	115	40
Верхний уровень $X_j = +1$	0,8	140	60

Применение нового способаковки пустотелых цилиндров с дном исключает применение оправки, что будет приводить к заковке отверстия пустотелой заготовки и увеличению стенки поковки. Это усложняет проектирование технологического процесса, поэтому необходимо установить влияние размеров заготовки и геометрии инструмента на заковку отверстия цилиндра.

Рациональными, с точки зрения напряженно-деформированного состояния и заковки отверстия заготовки, выбраны бойки с углом выреза бойков до  $\alpha = 115^\circ$  и величиной подачи  $0,1D$  [14] (рис. 2). При этом величина конечного относительного диаметра ( $d_1 / D$ ) меньше, чем для угла выреза  $\alpha = 90^\circ$ , при одинаковых условиях деформирования, и имеет вид параболы.

Оценку заковки отверстия заготовки, для различных диаметров отверстий, необходимо проводить на основании показателя, который будет учитывать интенсивность уменьшения диаметра отверстия – коэффициент интенсивности заковки, который определяется отношением изменения площади конечной поковки и начальной заготовки к обжатой площади обжатия заготовки:

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

где  $D, D_1$  – наружные диаметры исходной и протянутой заготовок, соответственно;  $d_0, d_1$  – диаметры отверстий заготовки и поковки, соответственно.

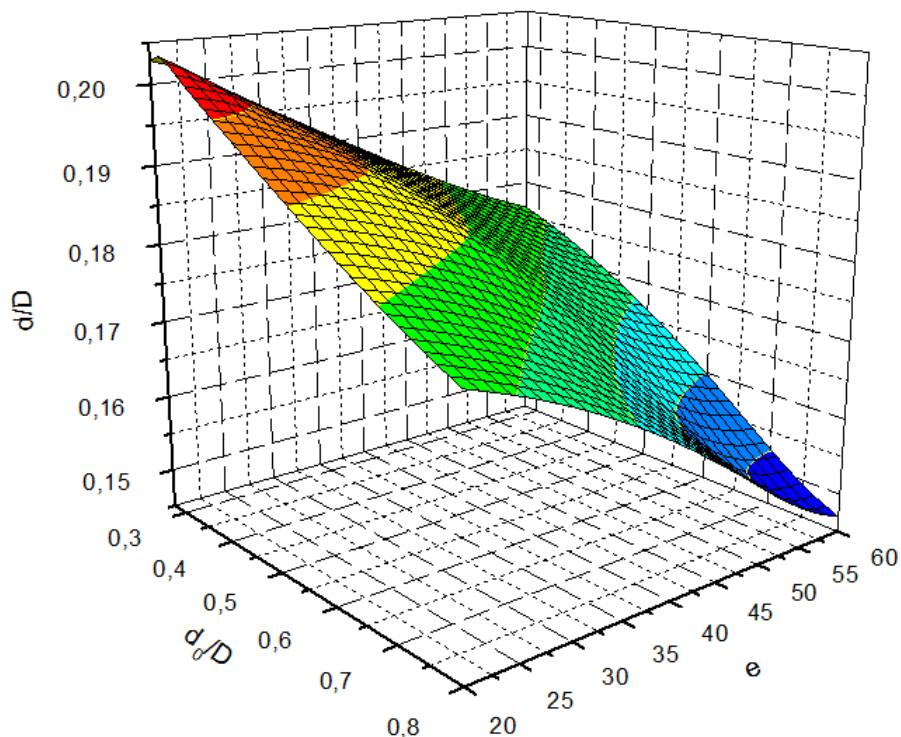


Рис. 2. Степень заковки отверстия при протяжке полых цилиндров бойками с углом выреза  $\alpha = 115^\circ$  и подачами  $0,1D$

Формула (1) показывает интенсивность увеличения толщины стенки в зависимости от обжатия наружного диаметра заготовки – отображает долю обжатой площади, которая идет на увеличение стенки поковки. При  $f = 0$ , когда площадь сечения не изменяется, увеличение толщины стенки не происходит и металл течет в удлинение. При  $f = 1$ , когда изменение площади заготовки в процессековки равно площади обжатия заготовки ( $F_0 - F_1 = F_{обж}$ ), все обжатие приводит к увеличению стенки заготовки, следовательно, удлинение заготовки отсутствует.

Этот показатель учитывает «скорость» заковки отверстия в зависимости от различной площади сечения исходной заготовки (толщины стенки). Для разных толщин стенок исходной заготовки будет разным объем металла, участвующий в деформации, что будет существенно влиять на заковку отверстия.

Оценить интенсивность заковки можно после анализа тех результатов, что представлены на рис. 3. Полученные результаты показывают, что интенсивность заковки ( $f$ ) для данной геометрии инструмента преимущественно зависит от исходного относительного диаметра ( $d_0 / D$ ) нежели от степени обжатия (рис. 3). Полученные результаты позволяют сделать вывод, что степень заковки увеличивается, а скорость заковки одинакова при разных значениях обжатия, т. е. диаметр, заковывается практически с постоянной скоростью (рис. 3), что является, важным научным наблюдением и не было известно ранее.

Таким образом, для получения поковок с большим диаметром отверстия необходимо применять заготовки с большим диаметром отверстия.

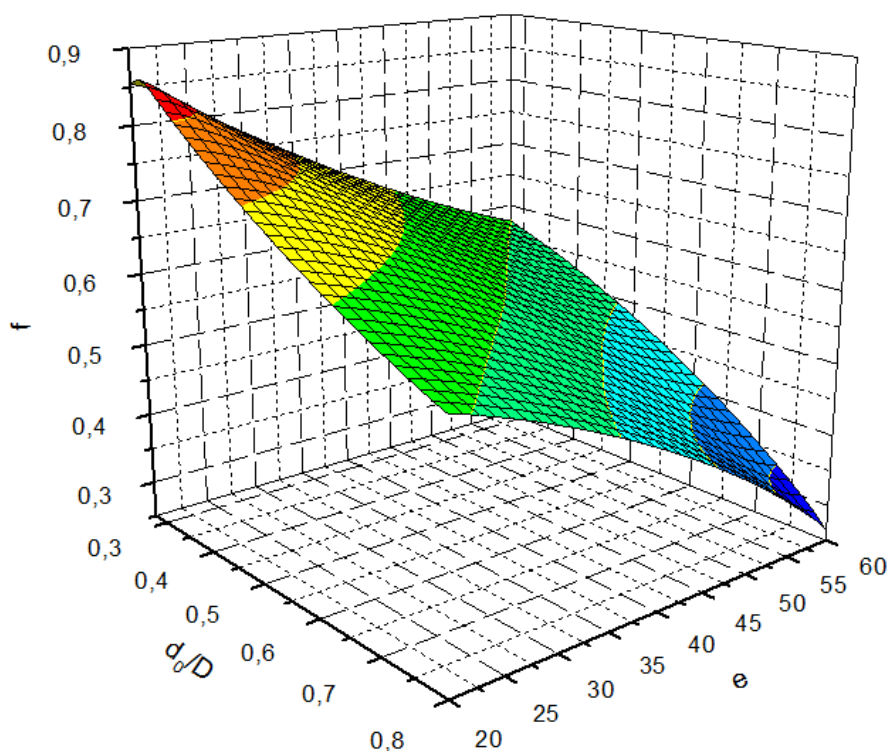


Рис. 3. Интенсивность заковки отверстия при протяжке полых цилиндров бойками с углом выреза  $\alpha = 115^\circ$  и подачами  $0,1D$

### ВЫВОДЫ

1. На основании результатов теоретического исследования механизма заковки отверстия цилиндра была выбрана эффективная схема для обеспечения минимальной заковки отверстия, в которой вырезные бойки имели вырез  $115^\circ$  и ширину деформирующей части  $0,1D$ . Общей закономерностью для исследуемых схемковки является то, что интенсивность заковки отверстия одинакова при различных обжатиях при постоянных соотношениях размеров заготовки.

3. При подачах больше  $0,2D$  не происходит качественного и количественного изменения зависимости степени и интенсивности заковки отверстия. Это позволяет определить рекомендуемую подачу для интенсивной вытяжки заготовки и уменьшении степени заковки отверстия. Рекомендуемая подача должна быть в диапазоне  $(0,1-0,2)D$ .

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. 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.
2. Кальченко П. П. *Новые технологические процессыковки крупных прессовых поковок : монография* / П. П. Кальченко, О. Е. Марков – Краматорск : ДГМА, 2014. – 100 с. ISBN 978-966-379-692-5.
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. 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.
5. 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. – № 27. – С. 9–13.
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. *Усовершенствованная технология изготовления трубных поковок* / Я. М. Охрименко, В. П. Троицкий, А. Н. Веремеевич, Б. Г. Восходов, Л. А. Лбов. // *Кузнечно-штамповочное производство*. – 1979. – № 2. – С. 5–8.
8. Шевакин Ю. Ф. *Производство труб* / Ю. Ф. Шевакин, А. З. Глейберг – М. : *Металлургия*, 1968. – 440 с.

9. Пакало А. В. Повышение качества при производстве труб большого диаметра из слитков / А. В. Пакало, Б. Н. Березовский // Кузнечно-штамповочное производство. – 1987. – № 6. – С. 27–28.
10. Ростовициков В. А. Технология и оборудование для формообразования полых длинномерных поковок горячим радиальным обжатием / В. А. Ростовициков // Кузнечно-штамповочное производство. – 1987. – № 6. – С. 10–13.
11. Сидоров Н. Е. Ковка полых длинных цилиндров из легированной стали / Н. Е. Сидоров // Кузнечно-штамповочное производство. – 1964. – № 12. – С. 38–39.
12. Технология изготовления толстостенных труб большого диаметра / С. И. Данилин, В. Н. Лебедев, Г. И. Валетова, А. И. Мохов // Кузнечно-штамповочное производство. – 1967. – № 5. – С. 13–15.
13. Способ ковки цилиндров с глухим дном / Ф. Н. Голиков, А. П. Юровских, Р. Ш. Рубин, И. С. Катков // Кузнечно-штамповочное производство. – 1968. – № 6. – С. 11–13.
14. Маркова М. А. Исследование деформированного состояния заготовки при протяжке полых поковок без оправки бойками со скосами // Научный Вестник ДГМА : сборник научных трудов. – Краматорск : ДГМА, 2014. – № 3 (15E). – С. 75–82.
15. Марков О. Е. Деформированное состояние при протяжке укороченных слитков бойками со скосами [Электронный ресурс] / О. Е. Марков // Научный вестник ДГМА : сборник научных трудов. – Краматорск : ДГМА, 2013. – № 2 (12E). – 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).

## REFERENCES

1. Markov O. E. Resursosberegajushhie tehnologicheskie processy kovki krupnyh valov i plit : mono-grafija / O. E. Markov, I. S. Aliev. – Kramatorsk : DGMA, 2012. – 324 s. – ISBN 978-966-379-583-6.
2. Kal'chenko P. P. Novye tehnologicheskie processy kovki krupnyh pressovyh pokovok : monografija / P. P. Kal'chenko, O. E. Markov – Kramatorsk : DGMA, 2014. – 100 s. ISBN 978-966-379-692-5.
3. Kobelev O. A. Izgotovlenie tolstostennyh trubnyh pokovok i zagotovok dlja proizvodstva plit / O. A. Kobelev, V. A. Tjurin // Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo. – 2008. – № 1. – S. 27–30.
4. Sidorov A. N. Raspredelenie naprjazhenij v ochage deformacii pri kovke ploskimi bojkami sploshnyh i polyh cilindricheskih zagotovok / A. N. Sidorov, Ju. M. Antoshhenkov // Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo. – 1996. – № 9. – S. 32–34.
5. Kargin B. S. Sravnenie proizveditel'nosti pri protjazhke pustotelyh pokovok na opravke kombi-nirovannymi i vyreznymi bojkami. / B. S. Kargin, E. S. Kotova / Visnik priazovs'kogo derzhavnogo tehničnogo universitetu, 2013. – № 27. – S. 9 – 13.
6. Pat. 86881 Ukraïna, 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. Usovshenstvovannaja tehnologija izgotovlenija trubnyh pokovok / Ja. M. Ohrimenko, V. P. Troickij, A. N. Veremeevich, B. G. Voshodov, L. A. Lbov. // Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo. – 1979. – № 2. – S. 5–8.
8. Shevakin Ju. F. Proizvodstvo trub / Ju. F. Shevakin, A. Z. Glejberg – M. : Metallurgija, 1968. – 440 s.
9. Pakalo A. V. Povyshenie kachestva pri proizvodstve trub bol'shogo diametra iz slitkov / A. V. Pakalo, B. N. Berезовский // Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo. – 1987. – № 6. – S. 27–28.
10. Rostovshhikov V. A. Tehnologija i oborudovanie dlja formoobrazovanija polyh dlinnomernyh pokovok gorjachim radial'nym obzhatiem / V. A. Rostovshhikov // Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo. – 1987. – № 6. – S. 10–13.
11. Sidorov N. E. Kovka polyh dlinnyh cilindrov iz legirovannoj stali / N. E. Sidorov // Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo. – 1964. – № 12. – S. 38–39.
12. Tehnologija izgotovlenija tolstostennyh trub bol'shogo diametra / S. I. Danilin, V. N. Lebedev, G. I. Valetova, A. I. Mohov // Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo. – 1967. – № 5. – S. 13–15.
13. Sposob kovki cilindrov s gluhim dnom / F. N. Golikov, A. P. Jurovskih, R. Sh. Rubin, I. S. Katkov // Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo. – 1968. – № 6. – S. 11–13.
14. Markova M. A. Issledovanie deformirovannogo sostojanija zagotovki pri protjazhke polyh pokovok bez opravki bojkami so skosami // Nauchnyj Vestnik DGMA : sbornik nauchnyh trudov. – Kramatorsk : DGMA, 2014. – № 3 (15E). – S. 75–82.
15. Markov O. E. Deformirovannoe sostojanie pri protjazhke ukorochennyh slitkov bojkami so skosami [Jelektronnyj resurs] / O. E. Markov // Nauchnyj vestnik DGMA : sbornik nauchnyh trudov. – Kramatorsk : DGMA, 2013. – № 2 (12E). – S. 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).

Маркова М. А. – аспирант каф. ОМД ДГМА

Ризак П. И. – аспирант каф. ОМД ДГМА

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: [markova.mar.alex@mail.ru](mailto:markova.mar.alex@mail.ru)

Статья поступила в редакцию 15.10.2014 г.