

УДК 621.735.3

Алиев И.С., д.т.н, проф.; Маркова М.А.; Злыгорев В.Н.  
ДГМА, г. Краматорск, Украина

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КОВКИ БОЙКАМИ ВЫПУКЛОЙ ГЕОМЕТРИИ С ИНТЕНСИВНЫМИ ПЛАСТИЧЕСКИМИ ДЕФОРМАЦИЯМИ

Aliev I., Markova M., Zlygorev V.

Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine ([markova.mar.alex@mail.ru](mailto:markova.mar.alex@mail.ru))

### STUDY OF FORGING PROCESS BY CONVEX DIES GEOMETRY WITH SEVERE PLASTIC DEFORMATION

Для проверки достоверности полученных ранее теоретических исследований было проведено деформирование заготовок вырезными бойками со скосами на свинцовых образцах. Свинцовые образцы протягивались в вырезных бойках с углом выреза  $\alpha = 115^\circ$  и подачей  $0,1 D$ . Сравнивались экспериментальные и теоретические результаты формоизменения после протяжки на 20 и 40% вырезными бойками, удлинение и изменение толщины стенки заготовки в процессе протяжки без оправки. Сопоставлялись изменения относительного диаметра отверстия от степени деформации и влияние степени деформации на интенсивность заковки отверстия в процессе протяжки без оправки.

*Ключевые слова:* ковка, протяжка, оправка, вырезные бойки, угол выреза, угол скоса, степень деформации, величина подачи, степень обжатия.

#### Введение

Основной задачей развития машиностроения является вывод его на принципиально новые ресурсосберегающие технологии, обеспечивающие повышение производительности труда, экономию материальных и энергетических ресурсов. В значительной степени решению этих задач способствует внедрение в промышленность прогрессивных технологий ковки пустотелых заготовок без оправки.

Существующие методы производства таких поковок предусматривают ротационную ковку [1–3], а также ковку с оправкой для получения полых цилиндрических поковок [4–6]. Распространенным способом изготовления поковок пустотелых цилиндров является способ ковки на оправке [7]. Эти методы изготовления пустотелых цилиндров не обеспечивают устранение дефектов металлургического происхождения. Недостатками данных способов изготовления пустотелых цилиндров является необходимость использования дорогостоящей оправки.

Теоретическое исследование МКЭ процессов протяжки глухонных цилиндров бойками со скосами позволило установить рациональную геометрию деформирующего инструмента, который обеспечивают интенсивную вытяжку при протяжке, меньшее заковывание отверстия и отсутствие наружных поверхностных дефектов [8–12].

**Цель** данного экспериментального исследования – проверить достоверность полученных теоретических результатов на свинцовых образцах.

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 течение металла в ходе деформирования. Основные параметры, которые влияют на заковку отверстия при протяжке без оправки: степень деформации, относительный диаметр отверстия и подача.

**Исследование.** Деформирование заготовок вырезными бойками со скосами проводилось на свинцовых образцах. Наружный 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 пакете штампа. В ходе проведения эксперимента выполнялись замеры изменения поперечного сечения отверстия.

Подготовленные свинцовые образцы протягивались в вырезных бойках с углом выреза  $\alpha = 115^\circ$  и подачей  $0,1 D$ . Эти параметры выбраны по результатам исследований как наиболее эффективные с точки зрения максимальной вытяжки при протяжке и качества поверхности заготовки [8–12]. Деформирование осуществлялось поэтапно, с обжатием за проход 10% от диаметра образца. Протяжка осуществлялась следующим образом: проход → кантовка на  $90^\circ$  → проход → кантовка на  $90^\circ$  → проход → кантовка на

45° → проход. При такой схемековки на конечном этапе получилась заготовка, имеющая в поперечном сечении форму многоугольника по форме близкой к кругу. Для данной геометрии инструмента в процессе протяжки на поверхности поковки не образуются зажимы, и металл течет интенсивно вдоль оси заготовки. По окончании процесса деформирования поковка имеет поверхность близкую к цилиндрической.

Полученные результаты экспериментальных исследований сравнивались с теоретическими результатами для возможности оценки достоверности результатов проводимых исследований [11, 12].

На рисунке 1 представлена таблица, сравнивающая результаты экспериментальных и теоретических исследований при протяжке вырезными бойками, с углом выреза  $\alpha = 120^\circ$ , заготовок с геометрическими параметрами  $d_0/D = 0,3; 0,5; 0,8$ . Изменение размеров заготовок в процессе экспериментального исследования представлены в таблице 1.

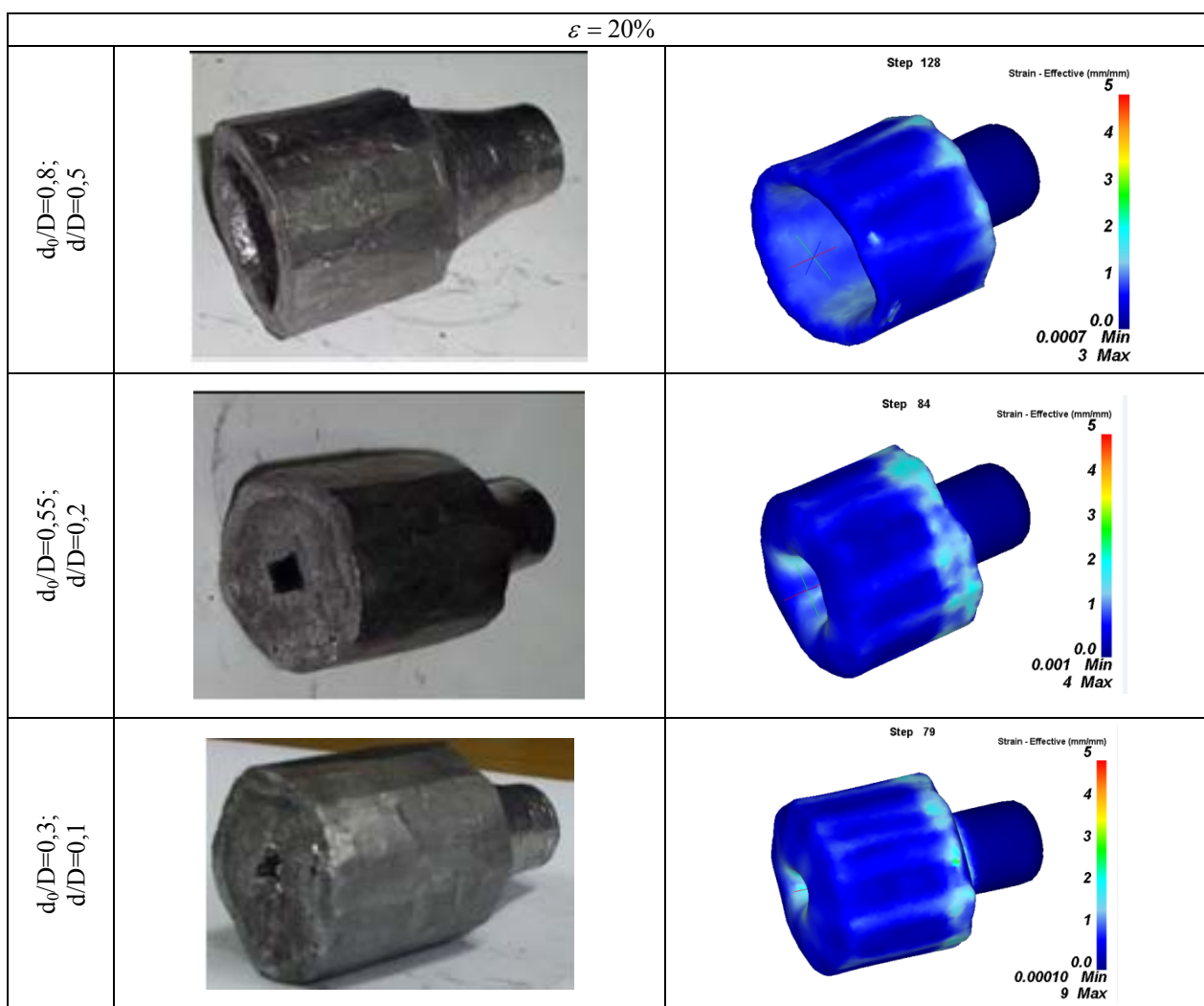


Рис. 1. Сопоставление экспериментальных и теоретических результатов формоизменения после протяжки на 20% вырезными бойками

Таблица 1

Условия и результаты проведения эксперимента

$\alpha$ , град	$\beta$ , град	$a/D$ , %	$\varepsilon = \Delta h / D$	$d_0/D$	$l_0$ , мм	$d_0^{cp}$ , мм	$h_0$ , мм	$D$ , мм	$V_0^{орб}$ , мм <sup>3</sup>	$D_1$ , мм	$V_1$ , мм <sup>3</sup>	$l_1$ , мм	$d_1^{cp}$ , мм	$S_1 = (D_1 - d_1) / 2$ , мм	$\varphi = (l_1 - l_0) / l_0$	$d^{cp} / D$
120°	90°	≈0,63	20%	0,3	26	13,2	25	44,5	3419	36,8	600	31,5	4,7	16	0,18	0,1
				0,5		22,5	30		11922	37	2000	33	8,8	14	0,21	0,2
				0,8		32,5	30		24874	36,5	11800	34	21,8	7,3	0,23	0,5

Для анализа полученных теоретических и экспериментальных данных были построены графики удлинения ( $\phi$ ) (рис. 2), относительного утолщения стенки ( $S_1/S_0$ ) (рис. 3) и относительного изменения диаметра заготовки ( $d_{1cp}/D$ ) (рис. 4).

Согласно полученным результатам установлено, что с увеличением диаметра отверстия удлинение заготовки увеличивается и уменьшается степень заковки отверстия. Это объясняется тем, что при тонких стенках заготовки объем металла, участвующий в деформации меньше, а соответственно меньшее количество металла течет на заковку отверстия.

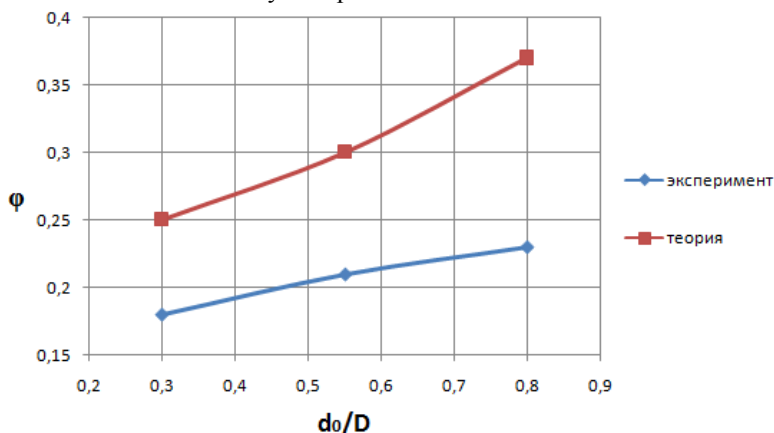


Рис. 2. Сопоставление экспериментальных и теоретических результатов удлинения заготовки в процессе протяжки без оправки

относительном диаметре отверстия в заготовке, равного 0,6 (рис. 3). Это позволяет сделать вывод о неэффективности данных соотношений размеров заготовки дляковки без оправки.

Адекватность теоретических результатов МКЭ подтверждает анализ результатов изменения конечного диаметра отверстия в поковке в зависимости от различного диаметра отверстия в заготовке (рис. 4). Отклонение теоретических данных от экспериментальных составляет максимум 5%. Полученные зависимости имеют одинаковый характер изменения. Эти зависимости позволяют установить

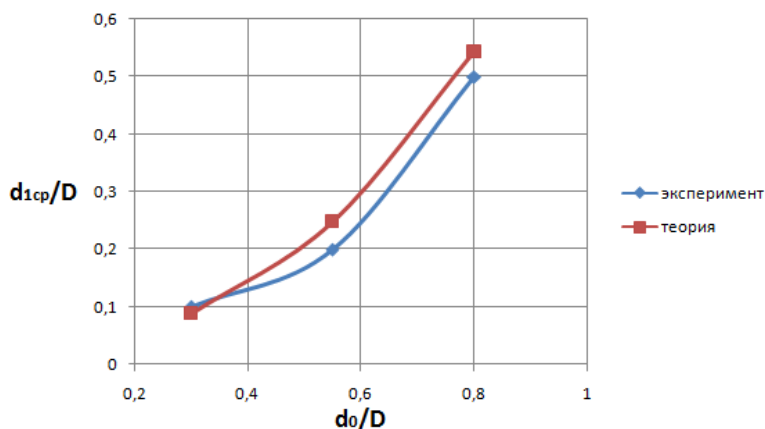


Рис. 4. Сопоставление экспериментальных и теоретических результатов заковки отверстия в процессе протяжки без оправки

Результаты по удлинению заготовки в процессековки, полученные МКЭ примерно на 10...15% больше экспериментальных (рис. 2). При этом увеличение толщины стенки заготовки более интенсивно происходит в экспериментальных образцах (рис. 3).

Полученные результаты позволили установить, что с уменьшением толщины стенки исходной заготовки  $d_0/D$  увеличивается толщина стенки поковки  $S_1/S_0$ .

Экспериментальные и теоретические результаты показали наличие максимума утолщения стенки при

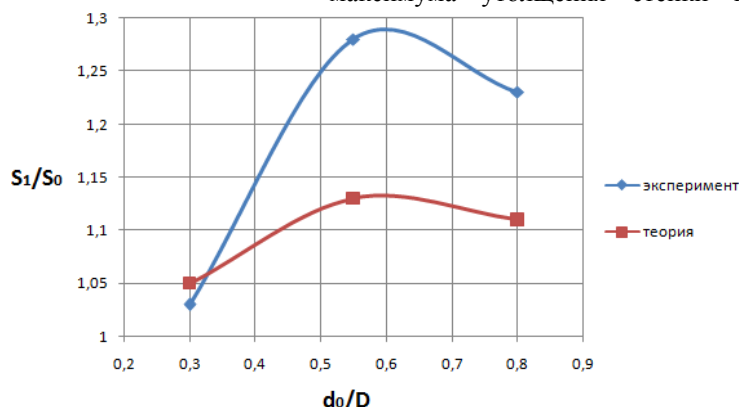


Рис. 3. Сопоставление экспериментальных и теоретических результатов изменения толщины стенки в процессе протяжки без оправки

конечный диаметр отверстия в поковке. С увеличением начального диаметра отверстия увеличивается конечный диаметр отверстия поковки по степенной зависимости.

После проведения теоретических исследований была определена эффективная схема протяжки с наибольшим удлинением заготовки, наименьшей заковкой внутреннего отверстия и лучшим качеством поверхности. Эта схема протяжки бойками с углом выреза  $\alpha = 115^\circ$ , величиной подачи  $0,1 D$  и относительным диаметром заготовки  $d_0 / D = 0,8$  [8–12].

Необходимо проверить достоверность полученных теоретических данных, сравнив их с экспериментальными. На рисунке 5 сравниваются результаты экспериментальных и теоретических исследований при протяжке вырезными бойками со скосами. Изменение размеров заготовок в процессе экспериментального исследования представлены в таблице 2.

Для анализа полученных теоретических и экспериментальных данных были построены графики изменения относительного диаметра отверстия от степени деформации (рис. 6), и график влияния степени деформации на интенсивность заковки отверстия в процессе протяжки (рис. 7).

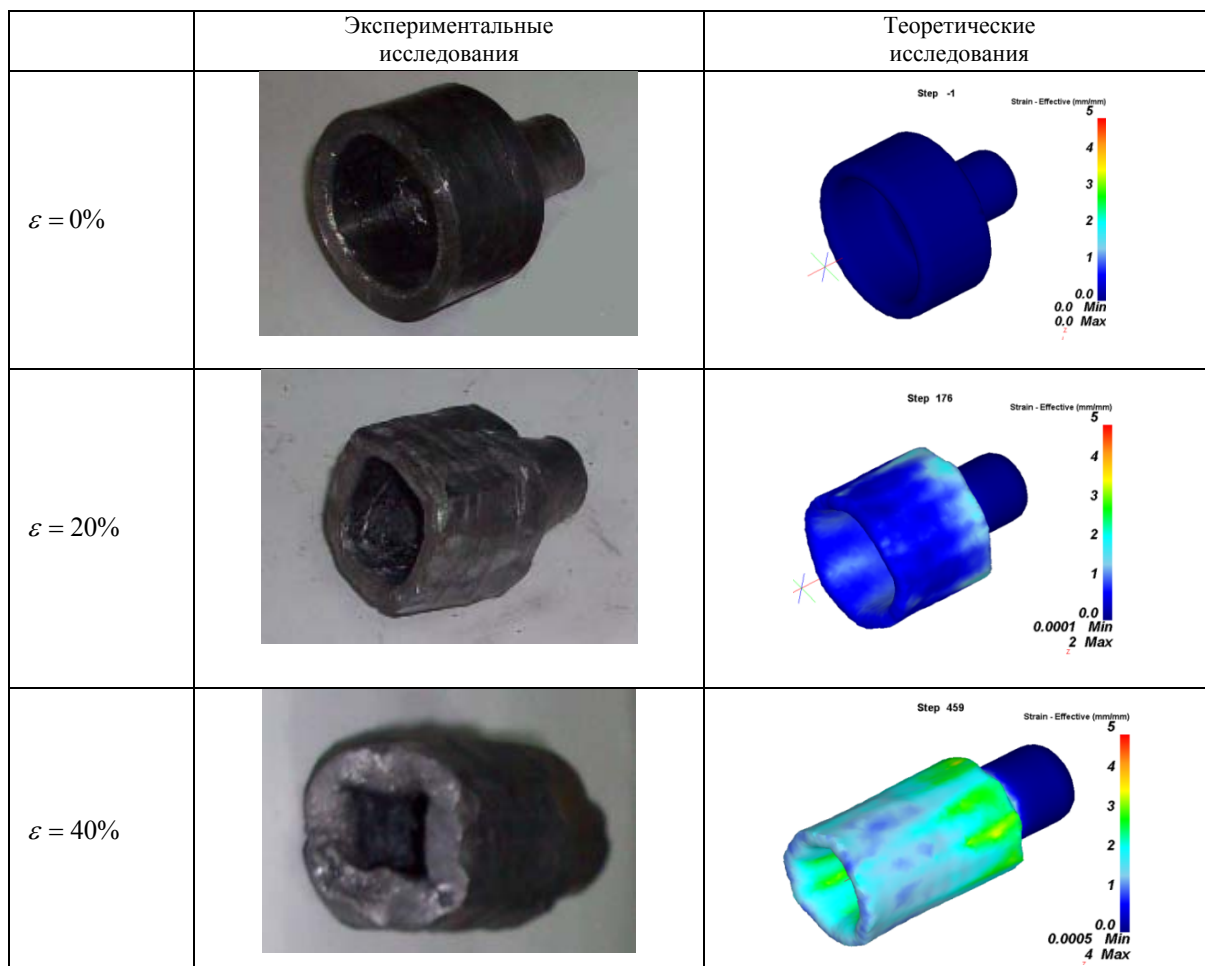


Рис. 5. Сопоставление экспериментальных и теоретических результатов формоизменения после протяжки на 40% вырезными бойками

Таблица 2

Размеры заготовок до и после эксперимента

$\alpha$ , град	$\beta$ , град	$a/D$ , %	$\varepsilon = \Delta h/D$	$d_0/D$	$l_0$ , мм	$d_0^{cp}$ , мм	$h_0$ , мм	$D$ , мм	$V_0^{отв}$ , мм <sup>3</sup>	$l_1^{cp}$ , мм	$D_1$ , мм	$V_1$ , мм <sup>3</sup>	$h_1$ , мм	$d_1^{cp}$ , мм	$S_1 = (D_1 - d_1)/2$ , мм	$\varphi = (l_1 - l_0)/l_0$	$d^{cp}/D$
115°	10°	10	20%	0,8	27	34	32	45	25000	32	36	17700	38,3	24,3	5,85	0,19	0,54
			35%							40,5	29	7100	46	14	7,5	0,5	0,31
			40%							49,3	27	5000	48,7	11,4	7,8	0,8	0,25

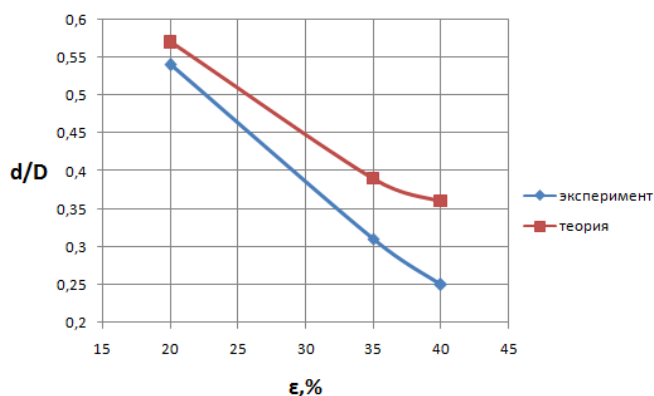


Рис. 6. Сопоставление изменения относительного диаметра отверстия от степени деформации для теоретических и экспериментальных исследований

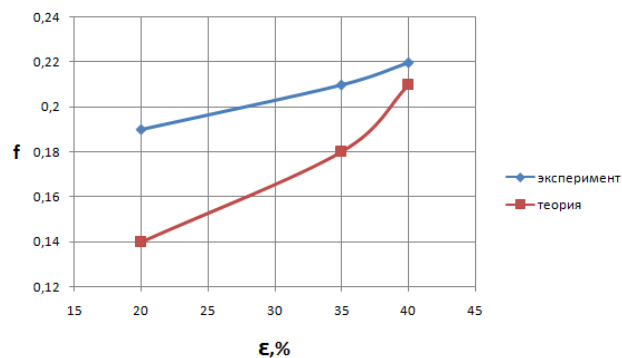


Рис. 7. Сопоставление влияние степени деформации на интенсивность заковки отверстия в процессе протяжки для теоретических и экспериментальных исследований

#### Выводы:

1. С увеличением степени деформации при протяжке без оправки относительный диаметр отверстия уменьшается, а интенсивность заковки возрастает, т. е. происходит утолщение стенки.
2. Результаты экспериментальных исследований по формоизменению заготовки в процессековки без оправки подтверждают результаты теоретического исследования, с погрешностью 6...12%. Объясняется это тем, что в результате протяжки конечная форма отверстия в поковке имеет форму немного отличную от цилиндрической, что и объясняет погрешности замеров диаметра отверстия заготовки в ходе теоретических исследований.

**Анотація.** Для перевірки достовірності отриманих раніше теоретичних досліджень було проведено деформування заготовок вирізними бойками зі скосами на свинцевих зразках. Свинцеві зразки протягувалися в вирізних бойках з кутом вирізу  $\alpha = 115^\circ$  і подачею  $0,1 D$ . Порівнювалися експериментальні та теоретичні результати формозміни після протягання на 20 і 40% вирізними бойками, подовження і зміна товщини стінки заготовки в процесі протягання без оправки. Зіставлялися зміни відносного діаметра отвору від ступеня деформації і вплив ступеня деформації на інтенсивність заковування отвору в процесі протягування без оправки.

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

#### Abstract.

**Purpose.** An earlier theoretical study by FEM of forging cylinders by dies with bevels possible to establish a rational geometry deforming tool. The purpose of this experimental study – check the validity of the theoretical results on lead samples.

**Design/methodology/approach.** The deformation of workpieces by convex dies with bevels carried out on lead samples. Prepared samples are drawing by die of cut with an angle  $\alpha = 115^\circ$  with feed  $0,1 D$ . The experimental and theoretical results forming after drawing 20 and the 40% by convex dies, elongation and change of the wall thickness of the workpiece at process of drawing without mandrel were compared. The change of relative diameter of the holes on the degree of deformation and of influence deformation degree on the intensity closing of holes during drawing process without mandrel were compared.

**Findings.** At increasing degree of deformation during drawing without of mandrel the relative hole diameter decreases, while the intensity of closing increases, i.e. there is a thickening of the wall. The experimental results confirm the results of the theoretical study with the error of 6...12%.

**Originality/value.** As a result, the final form hole in the workpiece during drawing has a slightly different shape than cylindrical, which explains the error of measurements hole diameter workpiece in theoretical studies.

**Keywords:** forging, drawing, mandrel, concave dies, angle concave, bevel angle, degree of deformation, feed rate, degree of reduction.

#### Библиографический список использованной литературы

1. Пасько А. Н. Математическое моделирование в процессах ротационнойковки / А. Н. Пасько, О. А. Ткач, Л. В. Муравлева // Известия ТулГУ. Технические науки. Технологии и оборудование для обработки металлов давлением – 2009. – № 3. – С. 195–199.
2. Пасько А. Н. Моделирование многопереходного процесса ротационнойковки / А. Н. Пасько, О. А. Ткач // Известия ТулГУ. Технические науки. Технологии и оборудование для обработки металлов давлением – 2010. – № 3. – С. 69–73.

3. Яковлев С. П. Математическое моделирование процесса ротационнойковки конических заготовок / С. П. Яковлев, А. Н. Пасько, О. В. Сорвина // Кузнечно-штамповочное производство. – 2000. № 9. – С. 24–26.
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. Интенсификацияковки – протяжки полых заготовок / Ю. М. Антощенко, В. А. Тюрин // Кузнечно-штамповочное производство. – 1988. – № 2. – С. 11–13.
7. Кальченко П. П. Пути сокращения расхода металла при изготовлении сплошных цилиндрических поковок / П. П. Кальченко, Е. Д. Качура // Кузнечно-штамповочное производство. – 1987. – № 3. – С. 15–16.
8. Маркова М. А. Исследование деформированного состояния заготовки при протяжке полых поковок без оправки бойками со скосами / М. А. Маркова // Научный Вестник ДГМА : сб. науч. трудов. – Краматорск, 2014. – № 3 (15Е). – С. 75–82.
9. Маркова М. А. Формоизменение полых поковок в процессе протяжки без оправки бойками со скосами / М. А. Маркова, П. И. Ризак // Обработка материалов давлением : сб. науч. трудов. – Краматорск : ДГМА, 2014. – № 2 (39). – С. 81–87. – ISSN 2076-2151.
10. Маркова М. А. Заковка отверстия при ковке бойками с выпуклым рабочим профилем / М. А. Маркова, В. Н. Злыгорев, П. И. Ризак // Вісник ДДМА : зб. наук. праць. – Краматорськ : ДДМА, 2015. – № 1 (34). – С. 57–63. – ISSN 1993-8322.
11. Маркова М. А. Механизм заковки отверстия при ковке без оправки / М. А. Маркова, Ю. Г. Розов, Е. А. Мкртчян, А. Е. Сомкин // Обработка материалов давлением : сб. науч. трудов. – Краматорск : ДГМА, 2015. – № 2 (39). – С. 81–87. – ISSN 2076-2151.
12. Маркова М. А. Градиент деформаций при получении полых заготовок с применением интенсивных пластических деформаций / М. А. Маркова, Ю. Г. Розов, Е. А. Мкртчян, П. И. Ризак // Научный Вестник ДГМА : сб. науч. трудов. – Краматорск, 2015. – № 1 (16Е). – С. 67–73.

#### References

1. Pas'ko A.N., Tkach O.A., Muravleva L.V. Matematicheskoe modelirovanie v processah rotacionnoj kovki. Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki. Tekhnologii i oborudovanie dlya obrabotki metallov davleniem. 2009. No 3. P. 195–199.
2. Pas'ko A.N., Tkach O.A. Modelirovanie mnogoperekhodnogo processa rotacionnoj kovki. Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki. Tekhnologii i oborudovanie dlya obrabotki metallov davleniem. 2010. No 3. P. 69–73.
3. Yakovlev S.P., Pas'ko A.N., Sorvina O.V. Matematicheskoe modelirovaniya processa rotacionnoj kovki konicheskikh zagotovok. Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. 2000. No 9. P. 24–26.
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., Antoshchenkov Yu.M. Raspredeleniye napryazheniy v ochage deformatsii pri kovke ploskimi bojkami sploshnyh i polyh cilindricheskikh zagotovok. Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. 1996. № 9. S. 32–34.
6. Antoshchenkov Yu.M., Tyurin V.A. Intensifikatsiya kovki – protyazhki polyh zagotovok. Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. 1988. No 2. P. 11–13.
7. Kal'chenko P.P., Kachura E.D. Puti sokrashcheniya raskhoda metalla pri izgotovlenii sploshnyh cilindricheskikh pokovok. Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. 1987. No 3. P. 15–16.
8. Markova M.A. Issledovanie deformirovannogo sostoyaniya zagotovki pri protyazhke polyh pokovok bez opravki bojkami so skosami. Nauchny Vestnik DGMA: sb. nauch. trudov. Kramatorsk, 2014. No 3 (15E). P. 75–82.
9. Markova M.A., Rizak P.I. Formoizmeneniye polyh pokovok v processe protyazhki bez opravki bojkami so skosami. Obrabotka materialov davleniem: sb. nauch. trudov. Kramatorsk: DGMA, 2014. No 2 (39). P. 81–87.
10. Markova M.A., Zlygorev V.N., Rizak P.I. Zakovka otverstiya pri kovke bojkami s vypuklym rabochim profilem. Visnik DDMA : zb. nauk. prac'. Kramators'k: DDMA, 2015. No 1 (34). P. 57–63.
11. Markova M.A., Rozov Yu.G., Mkrtyan E.A., Somkin A.E. Mekhanizm zakovki otverstiya pri kovke bez opravki. Obrabotka materialov davleniem: sb. nauch. trudov. Kramatorsk: DGMA, 2015. No 2 (39). P. 81–87.
12. Markova M.A., Rozov Yu.G., Mkrtyan E.A., Rizak P.I. Gradient deformatsiy pri poluchenii polyh zagotovok s primeneniem intensivnyh plasticheskikh deformatsiy. Nauchny Vestnik DGMA: sb. nauch. trudov. Kramatorsk, 2015. No 1 (16E). P. 67–73.

Подана до редакції 11.10.2015