

УДК 621.771.011

Марков О. Е.
Грибков Э. П.
Федоринов М. В.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ МЕТОДАМИ ПРОКАТКИ

Развитие металлургической промышленности неразрывно связано с повышением качества готовой продукции. Одним из дефектов заготовок крупного сечения является наличие непроработанного участка в середине сечения. Наиболее эффективным методом, устраняющим этот недостаток, является интенсивная пластическая деформация (ИПД).

Данному методу посвящены ряд работ. В работе [1] авторы исследовали процесс закрытия пор в середине слитка при однопроходной прокатке и ковке. Две технологии были сравнены на основе проникновения гидростатического давления по сечению заготовки. Были даны рекомендации по уровню гидростатического давления применительно к непрерывным прокатным станам для производства заготовок больших диаметров без пор.

В работе [2] на основе метода конечных элементов и экспериментальных методов было исследовано влияние интенсивной пластической деформации, достигаемой конфигурацией инструмента, на структуру заготовки из алюминиевых сплавов, доказана эффективность технологии. В работе [3] исследовано влияние способа ковки на текстуру прокатанного слитка. В результате доказано положительное влияние интенсивной деформации на качество толстолистого проката. В работе [4] исследовано влияние переменных параметров ковки и прокатки слитков на развитие текстуры. Определена зависимость обжатий и направления прокатки на рекристаллизованную текстуру и микроструктуру листового металлопроката. В работе [5] исследован процесс ИПД при ковке заготовок фигурными бойками, показано влияние данного процесса на равномерность эквивалентной деформации по сечению заготовки.

Несмотря на наличие исследования в области интенсивной пластической деформации применительно к процессам прокатки, рассмотрены режимы деформации в гладких валках, что делает актуальным развитие данного метода с использованием калиброванных валков.

Основной целью экспериментальных исследований процесса интенсивной пластической деформации методами прокатки являлась проверка возможности использования и эффективности предлагаемой технологической схемы. Кроме того, результаты данных экспериментальных исследований, наряду с обобщением опыта промышленного внедрения, были использованы для оценки эффективности предложенных технических решений и разработанных практических рекомендаций.

Экспериментальные исследования процесса раздачи заготовок из свинца были проведены на специально созданной для этих целей лабораторной установке Донбасской государственной машиностроительной академии.

На каждый из 4-х приводных шпинделей были применены тензометрические датчики сопротивления, наклеенные согласно методике работы [6] на тело соответствующих универсальных шпинделей для фиксации передаваемого крутящего момента. Под нажимными винтами рабочих валков размещались дюралюминиевые месдозы с кольцевым упругим элементом [6], установленные непосредственно под нажимными винтами, рассчитанные на восприятие нагрузки до 10 000 Н.

Таким образом, одновременно с деформацией заготовки фиксировали и все основные технологические параметры реализуемого процесса, а именно:

- величину крутящего момента на каждом из приводных шпинделей при помощи наклеенных тензометрических датчиков;
- величину силы прокатки при помощи тензометрических месдоз;
- параметры сечения заготовки до и после раздачи.

С целью повышения точности результатов экспериментальных исследований тарировку измерителей крутящих моментов производили непосредственно на установке путем их имитационного нагружения соответствующими моментами известной величины. Тарировку силоизмерительных месдоз производили путем их имитационного нагружения силами известной величины при помощи гидравлического пресса.

Запись текущих во времени значений всех регистрируемых параметров, за исключением параметров сечения заготовки, а также их последующую расшифровку осуществляли при помощи ПЭВМ путем аналогово-цифровых преобразователей АЦП–ADC16–32, обеспечивающим возможность измерения по 16 дифференцированным каналам. Входной сигнал в этом случае оцифровывался шестнадцатититбитным аналого-цифровым преобразователем с частотой до 100 кГц и возможностью усиления в диапазоне 1–1 000.

Обработку результатов экспериментальных исследований, а также оценку степени соответствия полученных теоретических и эмпирических решений производили с использованием общепринятых методов теории вероятности и математической статистики.

Для проведения экспериментальных исследований были отлиты свинцовые заготовки цилиндрической формы диаметром 60 мм и высотой 70 мм. С целью определения пластической деформации внутрь заготовки были размещены 26 медных штифтов диаметром 0,5 мм с равным шагом по сечению заготовки, также на торце заготовки была нанесена сетка с шагом 3 мм (рис. 1). Сами эксперименты заключались в последовательной прокатке цилиндрических заготовок в валках с профилированной под 150° бочкой (рис. 2).

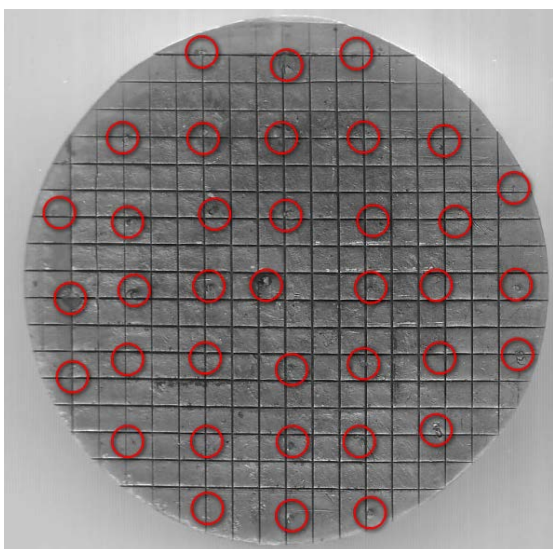


Рис. 1. Образец сетки на торце цилиндрической заготовки

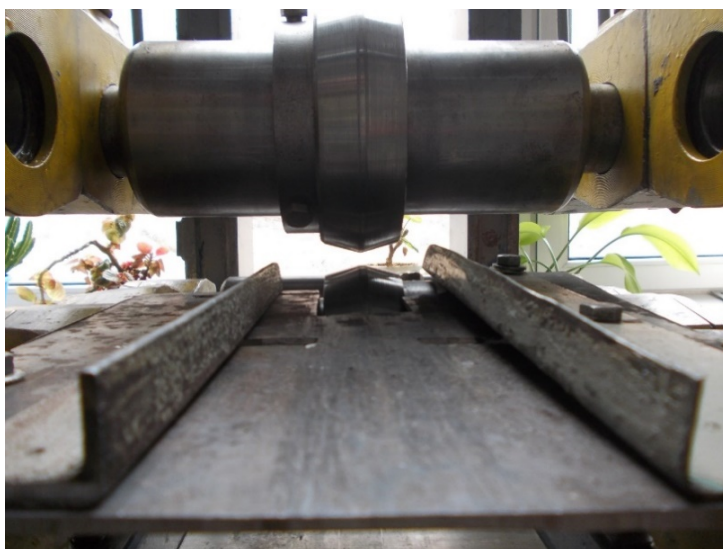


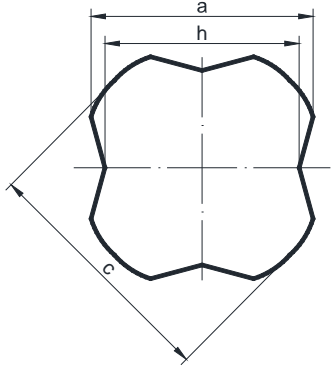
Рис. 2. Вид валков с профилированной бочкой

Обжатие в каждом проходе составляло 2,5 мм. После пропуска осуществляли кантовку заготовки на 90°. После четного прохода производили замеры заготовки. Параметры заготовок представлены в табл. 1, формы сеток на торцевых поверхностях – на рис. 3, а общий вид после прокатки – на рис. 4. Последние три прохода были выполнены в рабочей клетке стана 100×100М для калибровки ребер заготовки на гладкой бочке. Во время экспериментов были измерены силы прокатки. Величины сил прокатки по проходам представлены в табл. 1.

Во время экспериментов были измерены силы прокатки. Величины сил прокатки по проходам представлены в табл. 1 и на рис. 5. Из анализа представленных зависимостей видно, что при постоянном абсолютном обжатии силы прокатки возрастают.

Таблица 1

Режимы прокатки и параметры сечения заготовок
(прокатка цилиндрической заготовки на выпуклой бочке с предварительной прокаткой на гладкой бочке – исходный диаметр 60,87 мм; исходная длина – 70,8 мм)

Проход	Обжатие, мм	a, мм	c, мм	h, мм	L _{min} , мм	L _{max} , мм	Сила, Н	Примечание
1	2,5		60,7	58,3	71	74	1288	
2	2,5	58,77	61,26	56,14	70	77	1889	
3	2,5	58,65	61,04	52,6	71	82	2404	
4	2,5	57,68	62,95	51,03	72	87	2748	
5	2,5	56,48	64,5	47,94	74	89,54	2920	
6	2,5	55,3	64,99	45,85	76,5	94,32	3263	
7	2,5	53,48	66,41	43,22	80,4	103,35	3435	
8	2,5	52,8	67,46	40,46	86,4	111	3006	
9	2,5	50,6	66,93	38,35	92,5	119	3349	
10	2,5	45,8	66,07	36,16	102,8	130,6	6612	
11	2,5	48,8	56,6	35,8	102,8	130,7		Прокатка по ребрам на гладкой бочке
12	2,5	49,2	53,33	35,8	102,8	130,7		
13	2,5	47,5	50,99	36,34		132		

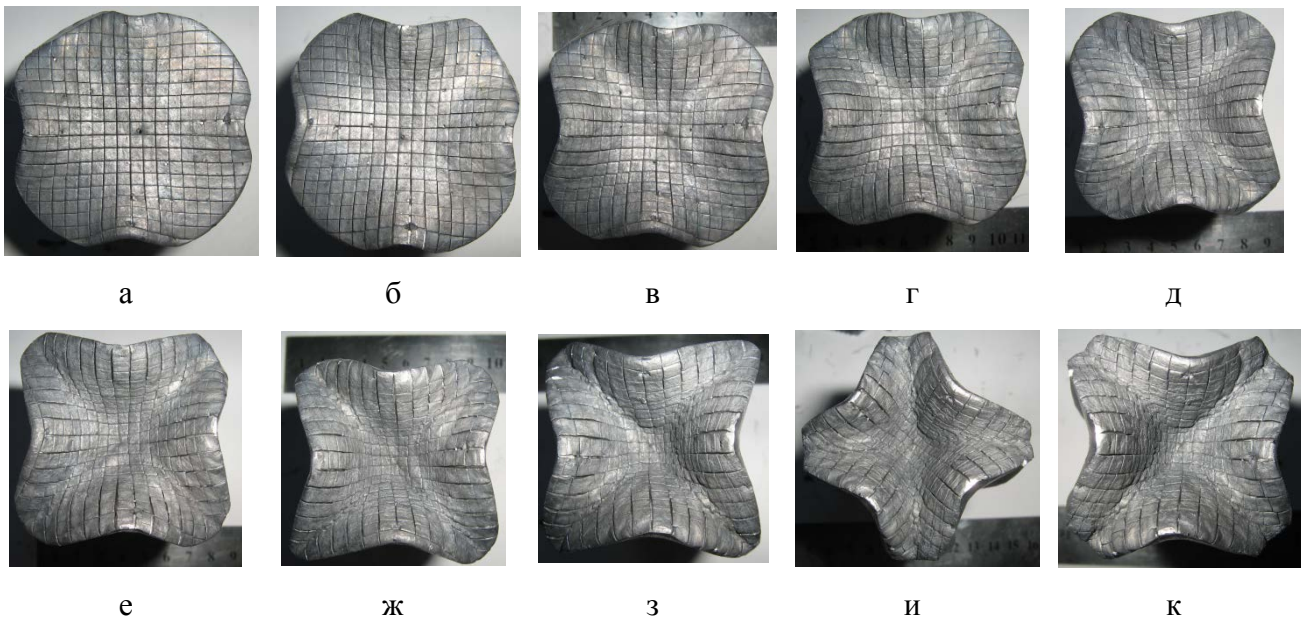


Рис. 4. Вид торцевой поверхности после прокатки:

а – перед прокаткой; б – после 1-го прохода; в – после 2-го прохода; г – после 3-го прохода; д – после 4-го прохода; е – после 5-го прохода; ж – после 6-го прохода; з – после 7-го прохода; и – после 8-го прохода; к – после 9-го прохода

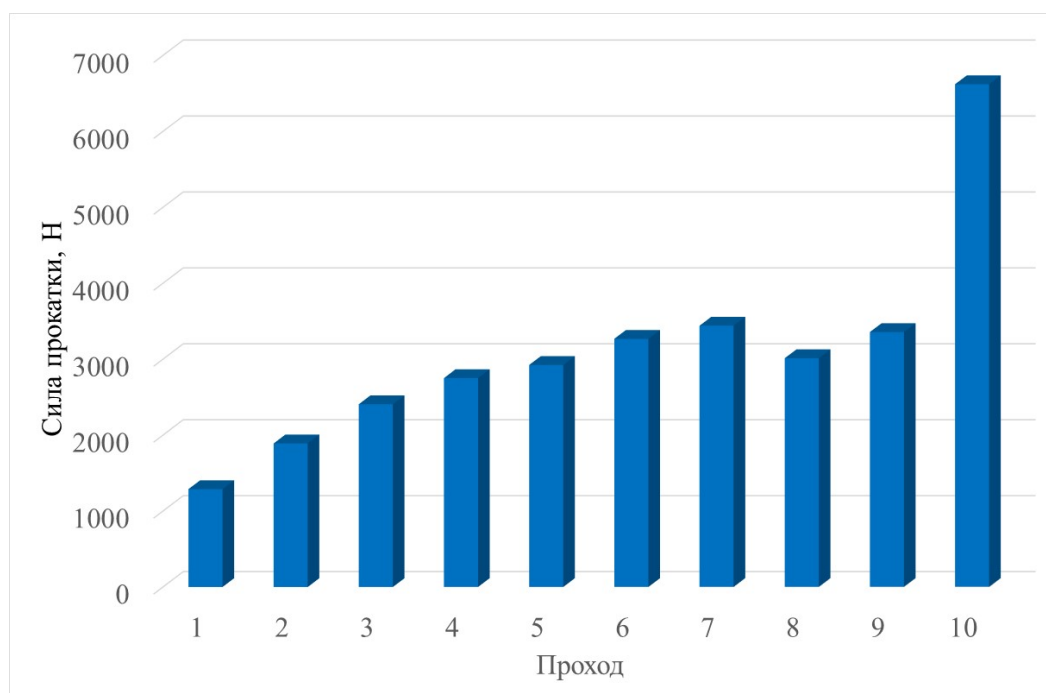
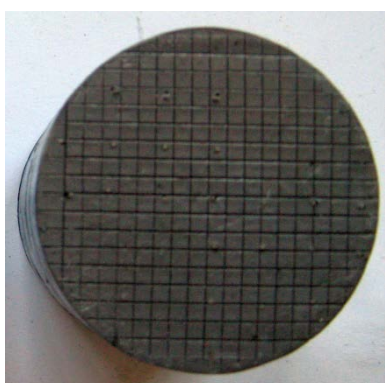


Рис. 5. Распределение сил прокатки по проходам

Для определения эффективности предлагаемой технологии были проведены дополнительные экспериментальные исследования, которые заключались в прокатке цилиндрической заготовки в валках с гладкой бочкой. Результаты экспериментов представлены в табл. 2, формы торцевых поверхностей и общий вид – на рис. 6.

Для сравнения двух технологий были с помощью графического редактора рассчитаны площади торцевых поверхностей заготовок и определены такие деформационные характеристики, как вытяжка (отношение длины заготовки к исходной), соотношение площадей (отношение площади сечения заготовки к исходной) и относительная деформация (отношение разницы площадей сечений до и после деформации к площади сечения исходной заготовки). Распределения данных параметров представлены на рис. 7. Из анализа представленных зависимостей видно, что при использовании традиционной прокатки в гладких валках вытяжка заготовки выше, чем при использовании ИПД, в то время прокатка в профилированных валках интенсифицирует деформацию заготовки в поперечном направлении с одновременной проработкой центральных участков сечения заготовки.



а



б

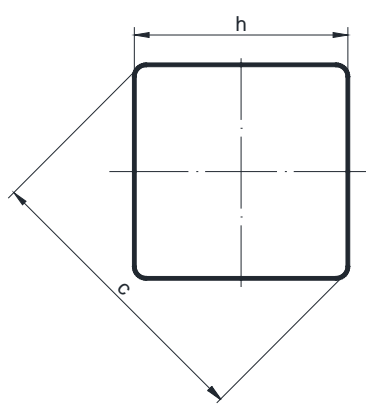


в

Рис. 6. Форма торцевой поверхности заготовки, прокатанной в валках с гладкой бочкой в исходном (а) и конечном (б, в) состоянии

Таблица 2

Результаты прокатки цилиндрических заготовок в валках с гладкой бочкой
(прокатка цилиндрической заготовки на гладкой бочке – исходный диаметр 61 мм;
исходная длина – 69,36 мм)

Проход	Обжатие, мм	c, мм	h, мм	L _{min} , мм	L _{max} , мм	Примечание
1	2,5	61	58,46	69	73,98	
2	2,5	61,9	56,16	70	79,7	
3	2,5	62,34	53,88	72	85	
4	2,5	63,2	51,54	74	90,7	
5	2,5	63,9	49,14	78	98,18	
6	2,5	64,3	46,65	83	105,9	
7	2,5	63,58	44,1	90	113,77	
8	2,5	61,75	41,69	97	126,8	

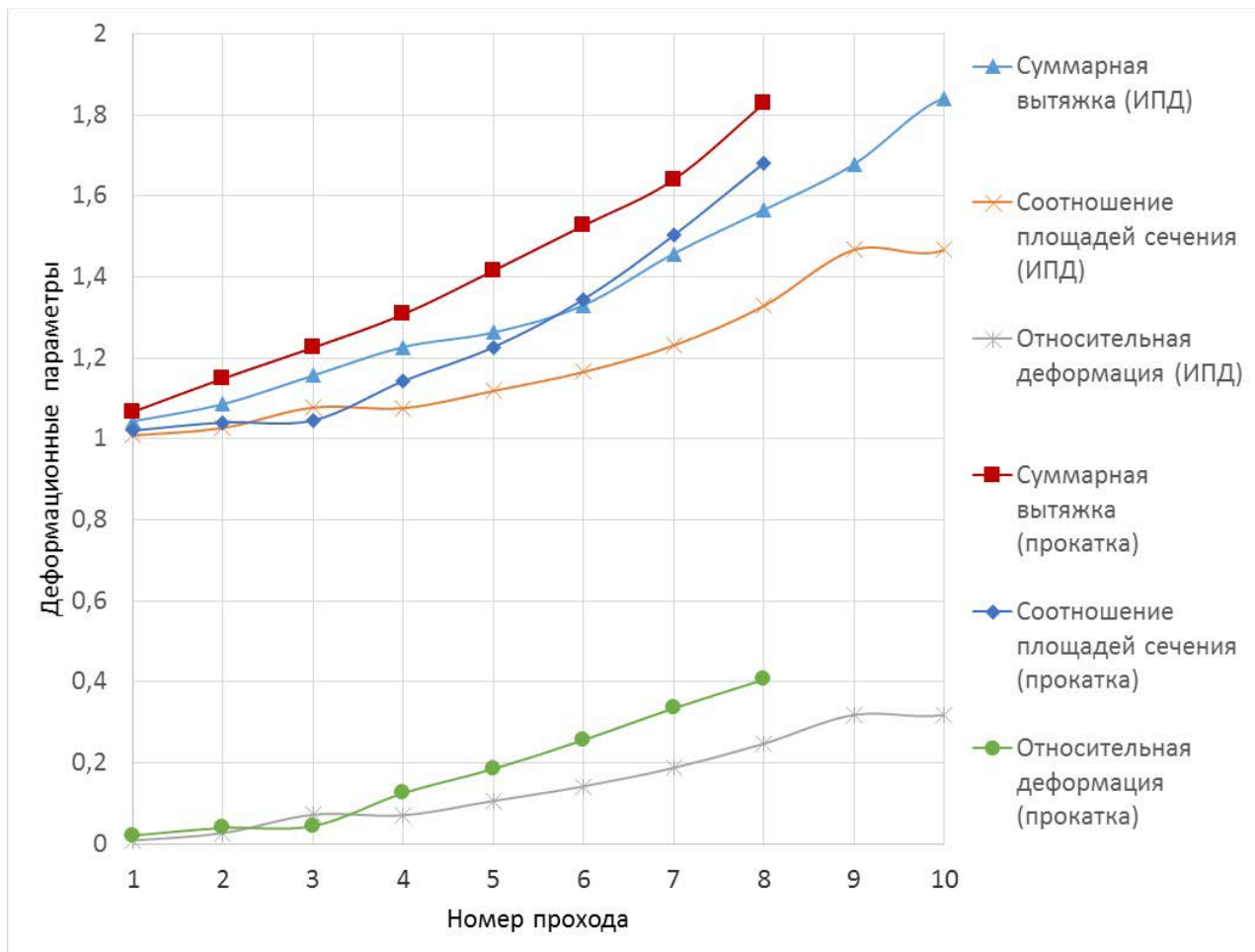


Рис. 7. Сравнение деформационных характеристик технологии прокатки и интенсивной пластической деформации (ИПД)

ВЫВОДЫ

Сравнение двух технологий позволяет сделать вывод о том, что при использовании прокатки с интенсивной пластической деформацией наблюдается большее проникновение деформации по сечению заготовки с одновременным увеличением деформации заготовки в поперечном направлении. Данная технология позволяет получать более равномерную структуру металла по сечению заготовки и регулировать распределение вытяжки и уширения заготовки при прокатке.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nakasakia Morihiko. Application of hydrostatic integration parameter for free-forging and rolling / Morihiko Nakasakia, Ichiro Takasua, Hiroshi Utsunomiya // *Journal of Materials Processing Technology*. – 3 July 2006. – Vol. 177. – Issues 1–3. – P. 521–524. – Access mode: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092401360600433X>.
2. Numerical simulation of aluminum alloy 6061 micro-mold fabrication for the production of polymeric microstructures by micro-hot-embossing / N. K. Tran, Shawn A. Chester, Y. C. Lam, L. Anand, C. Y. Yue // *Journal of Micromechanics and Microengineering*. – 2012. – Vol. 22. – Number 8. – P. 1–11. – Access mode: <http://iopscience.iop.org/0960-1317/22/8/085005/>.
3. Influence of initial ingot breakdown on the microstructural and textural development of high-purity tantalum / J. B. Clark Jr., R. K. Garrett Jr., T. L. Jungling, R. I. Asfahani // *Metallurgical Transactions A*. – December 1991. – Vol. 22. – Issue 12. – P. 2959–2968. – Access mode: <http://link.springer.com/article/10.1007/BF02650255>.
4. Effect of processing variables on texture and texture gradients in tantalum / J. B. Clark, R. K. Garrett, T. L. Jungling, R. A. Vandermeer, C. L. Vold // *Metallurgical Transactions A*. – September 1991. – Vol. 22. – Issue 9. – P. 2039–2048. – Access mode: <http://link.springer.com/article/10.1007%2FBF02669871>.
5. Zhbankov Iaroslav G. Rational parameters of profiled workpieces for an upsetting process / Iaroslav G. Zhbankov, Oleg E. Markov, Alexander V. Perig // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – May 2014. – Vol. 72. – Issue 5–8. – P. 865–872. – Access mode: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00170-014-5727-5>.
6. Чекмарев А. П. Методы исследования процессов прокатки / А. П. Чекмарев, С. А. Ольдзиевский. – М. : Металлургия, 1969. – 274 с.

REFERENCES

1. Nakasakia Morihiko. Application of hydrostatic integration parameter for free-forging and rolling / Morihiko Nakasakia, Ichiro Takasua, Hiroshi Utsunomiya // *Journal of Materials Processing Technology*. – 3 July 2006. – Vol. 177. – Issues 1–3. – P. 521–524. – Access mode: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092401360600433X>.
2. Numerical simulation of aluminum alloy 6061 micro-mold fabrication for the production of polymeric microstructures by micro-hot-embossing / N. K. Tran, Shawn A. Chester, Y. C. Lam, L. Anand, C. Y. Yue // *Journal of Micromechanics and Microengineering*. – 2012. – Vol. 22. – Number 8. – P. 1–11. – Access mode: <http://iopscience.iop.org/0960-1317/22/8/085005/>.
3. Influence of initial ingot breakdown on the microstructural and textural development of high-purity tantalum / J. B. Clark Jr., R. K. Garrett Jr., T. L. Jungling, R. I. Asfahani // *Metallurgical Transactions A*. – December 1991. – Vol. 22. – Issue 12. – P. 2959–2968. – Access mode: <http://link.springer.com/article/10.1007/BF02650255>.
4. Effect of processing variables on texture and texture gradients in tantalum / J. B. Clark, R. K. Garrett, T. L. Jungling, R. A. Vandermeer, C. L. Vold // *Metallurgical Transactions A*. – September 1991. – Vol. 22. – Issue 9. – P. 2039–2048. – Access mode: <http://link.springer.com/article/10.1007%2FBF02669871>.
5. Zhbankov Iaroslav G. Rational parameters of profiled workpieces for an upsetting process / Iaroslav G. Zhbankov, Oleg E. Markov, Alexander V. Perig // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – May 2014. – Vol. 72. – Issue 5–8. – P. 865–872. – Access mode: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00170-014-5727-5>.
6. Chekmarev A. P. Metody issledovaniya processov prokatki / A. P. Chekmarev, S. A. Ol'dzievskij. – M. : Metallurgija, 1969. – 274 s.

Марков О. Е. – д-р техн. наук, проф. ДГМА;

Грибков Э. П. – канд. техн. наук, доц. ДГМА;

Федоринов М. В. – канд. техн. наук, доц. ДГМА.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: omd@dgm.donetsk.ua