

РАЗДЕЛ II ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ В МАШИНОСТРОЕНИИ

УДК 621.73

Кухарь В. В.
Бурко В. А.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРОФИЛИРОВАНИЯ ЗАГОТОВОК ОСАДКОЙ ВЫПУКЛЫМИ ПЛИТАМИ ПЕРЕД ГОРЯЧЕЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКОЙ

Приближение массы и формы заготовки к массе и конфигурации штампуемого изделия является одной из основных задач кузнечно-штамповочного производства, не уступающей по актуальности задаче приближения массы и формы поковки к массе и конфигурации готовой детали [1]. Возможности подготовительного профилирования заготовок в штамповом пространстве кривошипных горячештамповочных прессов (КГШП) в основном ограничены постоянством величины их рабочего хода, вследствие чего применение подкатных и протяжных ручьев становится затруднительным.

Способы подготовительного профилирования заготовок на КГШП целесообразно развивать на основе операций предварительной осадки профильным инструментом, причем наиболее часто осадка совмещается с элементами выдавливания и прошивки. Усложнение гравюр подготовительных ручьев требует увеличения затрат на фрезерование или физико-механическую обработку штамповых вставок, что сказывается на росте себестоимости поковок, поэтому нередки случаи профилирования заготовок инструментом упрощенной конфигурации с максимальной реализацией принципов свободного формоизменения [2, 3]. В основном используют профильные штамповые вставки вогнутой (шаровой) [4] и выпуклой [5] конфигурации. Осадка в торец заготовок выпуклыми продолговатыми плитами приводит к вытяжке полуфабриката в направлении, перпендикулярном продольной горизонтальной оси деформирующего инструмента, при этом формируются двухсторонние торцевые выступы [5–7]. Таким образом, возможно получение заготовок, пригодных для дальнейшей штамповки поковок пластин и пластин с отростками [5–7]. Для установления границ использования профилирования заготовок выпуклыми продолговатыми плитами с точки зрения получения вытянутых пластин и величин отростков, необходимо выполнить анализ формоизменения на основе математических моделей развития неравномерности деформации [6, 7].

Целью работы является определение направлений дальнейшего использования профилированных заготовок, полученных осадкой выпуклым продолговатым инструментом, на основе анализа технологических возможностей данного способа профилирования.

Управление конфигурацией профилированного полуфабриката, полученного осадкой цилиндрической заготовки выпуклыми продолговатыми плитами, осуществляют путем выбора степени деформации осадки (ε) и отношения радиуса выпуклости плиты (R) к диаметру (D_0) заготовки (т. е. радиусности R/D_0 осадочных плит). Кроме того, на форму полуфабриката после осадки будет влиять отношение исходной высоты (H_0) к диаметру (D_0) заготовки.

Осадка заготовок с $H_0/D_0 \approx 2,0$ сопровождается формированием двойной бочки с утолщениями в приторцевых зонах, а на середине высоты площадь поперечного сечения минимальна. Таким образом, боковой профиль заготовки получается вогнутым. При осадке заготовок с $H_0/D_0 \approx 1,0$ боковой профиль профилированного полуфабриката является выпуклым. Вдавливание выпуклых продолговатых плит в торцевые поверхности цилиндрических заготовок формирует высотную неравномерность деформации в виде выступов. Т. е. профиль торцов после осадки также является вогнутым.

При реализации схемы дальнейшей деформации в инструменте, который имеет форму близкую к плоской (в штампах), происходит выравнивание высотной неравномерности деформации и профилированной боковой поверхности. Формообразование может включать в себя перекладку в предварительный или окончательный ручей полуфабриката как без кантовки, так и с кантовкой (см. рис. 1).

Штамповка без кантовки (вариант I, рис. 1) целесообразна для дальнейшего формообразования поковок пластин (I. 1, рис. 1), пластин с вертикальным отростком (или отростками) (I. 2, рис. 1) и поковок двутавровой формы (I. 3, рис. 1). Особенности конфигурации профилированного полуфабриката позволяют проводить дальнейшую штамповку по варианту II (см. рис. 1), когда становится возможным получение поковок пластин (II. 1, рис. 1), пластин с горизонтальными отростками (II.1, рис. 1) и цилиндрических поковок с отростками (II. 1, рис. 1). Рассматриваемые случаи технологических переходов штамповки поковок различной формы ограничиваются геометрическими характеристиками поковок.

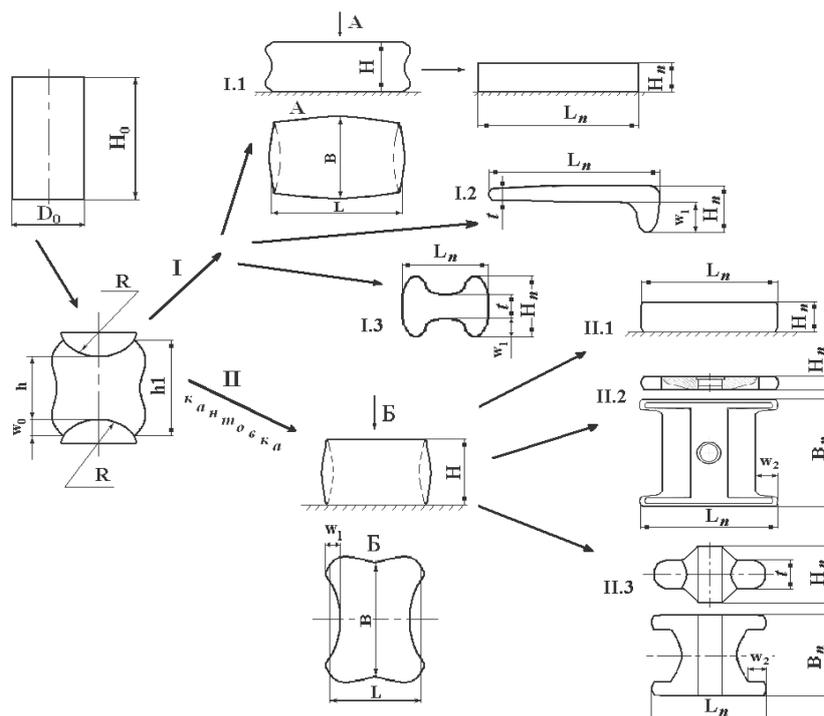


Рис. 1. Варианты технологических переходов дальнейшего формообразования заготовки после профилирования осадкой выпуклыми продолговатыми плитами:

I – штамповка без кантовки после профилирования, I. 1 – пластина простой формы, I. 2 – пластина с вертикальным отростком, I. 3 – поковка двутавровой формы; II – штамповка с кантовкой после профилирования: II. 1 – пластина, II. 2 – пластина с горизонтальными отростками, II. 3 – цилиндрическая поковка с горизонтальными отростками; L и B – продольный и поперечный размер полуфабриката соответственно; h – расстояние между осадочными плитами после осадки; w_0 – длина торцевых выступов профилированной заготовки, w_1 и w_2 – длина отростков в предварительном и окончательном ручьях соответственно

При реализации варианта I получают вытянутый в поперечном направлении полуфабрикат, при дальнейшей деформации преимущественной осадкой которого происходит оваллизация в плане с уменьшением бочкообразности на боковых поверхностях (см. рис. 2, а). Полуфабрикат пригоден для штамповки плоских поковок пластин с отсутствием резких угловых оформлений. Кроме того, на рис. 2, б и рис. 2, в приведены фотографии деформированных профилированных полуфабрикатов с первоначальным отношением $H_0/D_0 = 2,0$ с наличием двойной бочки, вытянутости в поперечном направлении и неравномерности деформации по высоте, причем деформирование проведено по варианту I и по варианту II (см. рис. 1) соответственно. По варианту I разглаживание вертикальных торцевых выступов плоским

инструментом приводит к регенерации боковой поверхности, которая уменьшает неравномерность деформации посередине высоты заготовки на образующих при дальнейшей осадке, но не исключает овализацию полуфабриката (см. рис. 2, б).

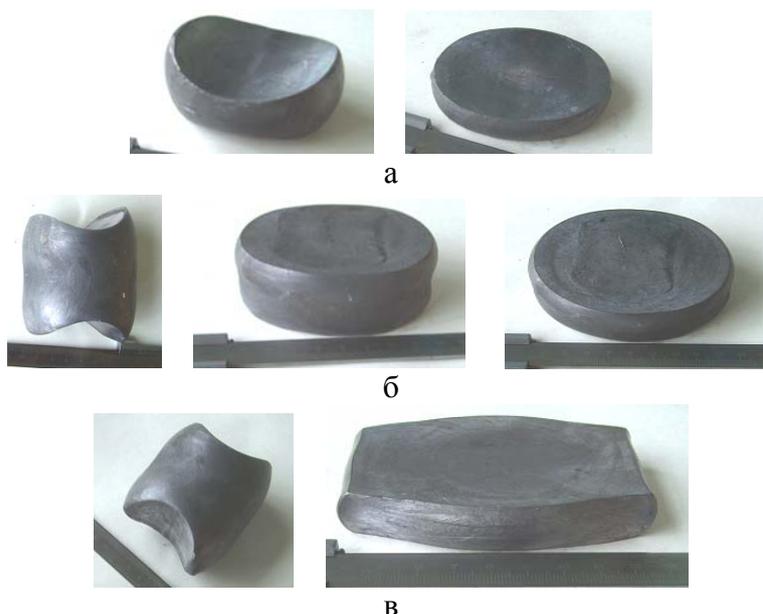


Рис. 2. Заготовки после деформирования по различным вариантам:
а – $H_0/D_0 = 1,0$ (вариант I); б – $H_0/D_0 = 2,0$ (вариант I); в – $H_0/D_0 = 2,0$ (вариант II)

Деформирование высоких цилиндрических заготовок по варианту II с наличием кантовки обеспечивает получение плоских удлиненных поковок с прямоугольным поперечным сечением, когда происходит четкое оформление угловых участков (см. рис. 2, в).

В способе [5] обоснованы рекомендуемые пределы значений технологических параметров профилирования заготовок: радиусность $R/D_0 = 0,5 \div 2,5$, степень деформации осадки $\varepsilon = 20 \div 50 \%$ (или $\varepsilon' = 0,2 \div 0,5$). Вдавливание в заготовку выпуклых продолговатых плит с $R/D_0 < 0,5$ сопровождается процессами, близкими к прошивке или внедрению твердого радиусного индентора в пластическое тело без интенсивного течения металла в направлении, перпендикулярном оси плит, что не будет иметь существенного влияния на последующее формоизменение. Осадка заготовок выпуклыми плитами с $R/D_0 > 2,5$ также не дает необходимого эффекта уширения в поперечном направлении, что связано с приближением схемы деформации к осадке плоскими плитами и отсутствием существенных различий течения металла в поперечном и продольном направлениях. Кроме того, увеличение величины радиуса осадочной плиты уменьшает полезную высоту штампового пространства. Торцевая осадка до небольших степеней деформации (меньших 20 %) направлена преимущественно на сбив окалины, кроме того, в данных условиях не происходит оформление торцевых выпуклостей и профиля боковой стенки необходимых размеров, что не повлияет на выравнивание неравномерности деформации и экономию металла. Осадка до больших степеней деформации благоприятно влияет на перемешивание волокон металла, улучшает механические и эксплуатационные свойства конечных изделий, однако при превышении степени деформации осадки величины 50 % существенно возрастают необходимые усилия деформирования, появляются растягивающие напряжения на боковой поверхности, зачастую приводящие к исчерпанию запаса пластичности [5].

Базовыми геометрическими характеристиками считаем соотношения продольного (L) и поперечного (B) размеров (L/B , по рис. 1) поковок на технологических переходах, а также и длину отростка или отростков, формируемых в предварительном или окончательном ручьях (w_1 или w_2 , см. рис. 1) в горизонтальной или вертикальной плоскости, в зависимости от варианта штамповки. Согласно принятой в работах [5, 6, 8] схеме контролирования геометрических размеров заготовки после профилирования обозначали:

$$Y_1 = (D_3 / D_0); \quad Y_2 = (D_3 / D_3'); \quad Y_3 = (h_1 - h) / H_0, \quad (1)$$

где D_3 и D_3' – размеры на половине высоты профилированной заготовки поперёк и вдоль горизонтальной оси выпуклых продолговатых плит соответственно, h и h_1 – минимальная (по средней части) и максимальная (по торцевым выступам) высота профилированной заготовки соответственно (см. рис. 1).

Для выяснения пределов соотношений L/B , w_0/h или w_0/D_3 полуфабрикатов в рекомендуемых границах технологических параметров, использовали уравнения регрессионного описания формоизменения, полученные для стали 38ХС путем совмещения конечно-элементного моделирования с методикой планирования математического эксперимента [6]:

$$Y_1 = 1,2117 + 0,0034 \cdot X_1 + 0,0368 \cdot X_2 + 0,1678 \cdot X_3 + 0,0045 \cdot X_1 X_3 + 0,0274 \cdot X_2 X_3; \quad (2)$$

$$Y_2 = 1,0474 - 0,0118 \cdot X_1 - 0,0209 \cdot X_2 + 0,0383 \cdot X_3 - 0,0060 \cdot X_1 X_3 - 0,0199 \cdot X_2 X_3; \quad (3)$$

$$Y_3 = 0,5682 - 0,0445 \cdot X_1 - 0,0743 \cdot X_2 - 0,3094 \cdot X_3 + 0,0107 \cdot X_1 X_2 - 0,0249 \cdot X_1 X_3 - 0,0249 \cdot X_1 X_3 - 0,0651 \cdot X_2 X_3 + 0,0122 \cdot X_1 X_2 X_3, \quad (4)$$

где $X_1 = (H_0 / D_0 - 1,5) / 0,5$; $X_2 = (R / D_0 - 1,5) / 1,0$; $X_3 = (\varepsilon' - 0,3) / 0,2$.

Методом целенаправленного перебора по аргументу по выражению (3) вычисляли значения параметра формоизменения Y_2 при граничных значениях радиусности $R/D_0 = 0,5$ и $R/D_0 = 2,5$ и степенях деформации осадки от $\varepsilon' = 0,2$ до $\varepsilon' = 0,5$ с шагом $\Delta\varepsilon' = 0,1$. Результаты вычислений занесены в табл. 1. Данный параметр определяет соотношение продольного и поперечного размеров полуфабрикатов, дальнейшая штамповка которых проводится по схеме I (см. рис. 1), т. е. без кантовки профилированной заготовки перед предварительным ручьем. В случае варианта штамповки по схеме II, т. е. с кантовкой профилированной заготовки перед укладкой в предварительный ручей, для выяснения соотношений продольного и поперечного размеров необходимо установить величины параметра (D_3 / h) . В первом приближении, принимая $h \cong H_0(1 - \varepsilon')$, запишем:

$$\left(\frac{D_3}{h} \right) = \frac{Y_1}{\frac{H_0}{D_0}(1 - \varepsilon')}. \quad (5)$$

Величины параметра (D_3 / h) , вычисленные методом целенаправленного перебора с учетом уравнения (2) в пределах $\varepsilon' = 0,1 \div 0,5$ при $R/D_0 = 0,5$ и $2,5$, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Отношение продольного и поперечного размера профилированной заготовки при штамповке без кантовки (D_3 / D_3') и с кантовкой (D_3 / h)

ε'	(D_3 / D_3')		(схема I)		(D_3 / h)		(схема II)	
	$H_0/D_0 = 1,0$		$H_0/D_0 = 2,0$		$H_0/D_0 = 1,0$		$H_0/D_0 = 2,0$	
	$R/D_0=0,5$	$R/D_0=2,5$	$R/D_0=0,5$	$R/D_0=2,5$	$R/D_0=0,5$	$R/D_0=2,5$	$R/D_0=0,5$	$R/D_0=2,5$
0,2	1,048	1,026	1,03	1,009	1,379	1,437	0,691	0,72
0,3	1,08	1,038	1,057	1,015	1,674	1,779	0,842	0,894
0,4	1,112	1,051	1,083	1,021	2,066	2,234	1,042	1,126
0,5	1,144	1,063	1,109	1,027	2,615	2,872	1,323	1,452

Предварительная штамповка может способствовать дополнительному удлинению полотна поковки пластины на $10 \div 15\%$ [1, 8]. Без кантовки при $\varepsilon' = 20 \div 50\%$, возможно получение поковок с соотношением $L_n/B_n = 1,1 \cdot (D_3 / D_3') \cong 1,1 \cdot (1,009 \div 1,144)$, т. е. до $1,1 \div 1,25$. Кантовка перед укладкой в штамповочный ручей позволяет расширить номенклатуру вытянутых продолговатых поковок. При осадке заготовок с $H_0/D_0 = 2,0$ до $\varepsilon' = 30\%$ включительно, конечная высота полуфабриката h не превышает его поперечный размер D_3 , однако приобретаемая форма

способствует снижению неравномерности деформации на последующих переходах штамповки. Исходя из табл. 1, проведение кантовки целесообразно при дальнейшем формообразовании поковок в диапазоне предварительных отношений $L/B = 0,69 \div 2,87$. Максимальная величина отношения продольного к поперечному размеру профилированной заготовки после кантовки наблюдается при $H_0/D_0 = 1,0$ и $\varepsilon' = 50\%$, т. е. в окончательном ручье возможно получение поковок с соотношением до $L_n/B_n = 1,1 \cdot (D_3/h) \cong 1,1 \cdot (2,87) = 3,1$.

Длина отростков поковки, которые возможно получить, лимитируются величиной торцевых выпуклостей профилированной заготовки. Формирование вертикальных отростков, перпендикулярных плоскости полотна поковки, характерно для вариантов штамповки I. 2 и I. 3 по схеме рис. 1. Горизонтальные отростки выполнимы при штамповке поковок с использованием кантовки профилированного полуфабриката перед формообразованием в ручьях штампов (см. II. 2 и II. 3, рис. 1).

Размер абсолютной величины односторонней торцевой выпуклости профилированной заготовки вычисляют как $w_0 = (h_1 - h)/2$. Формирование длины отростка при использовании предварительного (w_1) и окончательного (w_2) ручьев способствует его удлинению, причем более предпочтительной является схема штамповки без кантовки, когда оформление вертикального отростка происходит преимущественно за счет выдавливания. В данном случае получаемая форма профилированной заготовки обладает преимуществом с точки зрения увеличения длины односторонних (нижних по схеме I. 2, рис. 1) вертикальных отростков как минимум в полтора раза за счет продавливания верхних торцевых выпуклостей [9].

Соотношения между высотной и поперечной неравномерностью деформации:

$$\left(\frac{w_0}{h}\right) = \frac{Y_3}{2(1-\varepsilon')} \quad \text{или} \quad \left(\frac{w_0}{D_3}\right) = \frac{Y_3}{Y_1} \cdot \frac{H_0/D_0}{2}. \quad (6)$$

Значения w_0/h и w_0/D_3 вычисляли методом перебора, используя зависимости (2) и (4) при граничных значениях $R/D_0 = 0,5$ и $2,5$ и степенях деформации осадки от $\varepsilon' = 0,1$ до $\varepsilon' = 0,5$ с шагом $\Delta\varepsilon' = 0,1$. Результаты вычислений занесены в табл. 2.

Таблица 2

Относительные размеры торцевых выпуклостей (отростков) профилированной заготовки, приведенные к высотному (w_0/h) и поперечному (w_0/D_3) размерам

ε'	(w_0/h)				(w_0/D_3)			
	$H_0/D_0 = 1,0$		$H_0/D_0 = 2,0$		$H_0/D_0 = 1,0$		$H_0/D_0 = 2,0$	
	$R/D_0 = 0,5$	$R/D_0 = 2,5$						
0,2	0,104	0,092	0,072	0,053	0,075	0,064	0,104	0,074
0,3	0,168	0,144	0,116	0,075	0,101	0,081	0,137	0,084
0,4	0,249	0,214	0,17	0,1	0,12	0,096	0,163	0,089
0,5	0,359	0,325	0,241	0,134	0,137	0,113	0,183	0,092

Размеры отростков увеличиваются с ростом ε' . Большие относительные размеры w_0/h для заготовок с $H_0/D_0 = 1,0$ связаны с тем, что абсолютные величины h здесь меньше, чем у заготовок с $H_0/D_0 = 2,0$. Уменьшение радиусности R/D_0 осадочных плит способствует росту w_0/h и w_0/D_3 . Если в первом приближении принять $w = w_0 \approx w_1 \approx w_2$, то в рекомендуемом диапазоне ε' возможно получение поковок с размерами двухсторонних отростков $w = (0,053 \div 0,359)h$ или $w = (0,064 \div 0,137)D_3$ (см. табл. 2). При получении односторонних вертикальных отростков эти величины могут быть увеличены в полтора раза [9].

При заполнении гравюры ручья металлом заготовки часть металла расходуется на заполнение полотна поковки, часть – на заполнение отростков, а некоторая часть вытесняется в облой. Следовательно, необходима дополнительная проверка выполнения отростков по условию заполнения их металлом заготовки. Относительный объем отростка, показывающий, какую часть он составляет от объема всей заготовки или поковки:

$$u_3 = \frac{V_{omp}}{V_{заг}} = \frac{M_{omp}}{M_{заг}}; \quad \text{или} \quad u_n = \frac{V_{omp}}{V_n} = \frac{M_{omp}}{M_n}, \quad (7)$$

где V_{omp} , $V_{заг}$ и V_n – объемы отрезка, заготовки и поковки соответственно;
 M_{omp} , $M_{заг}$ и M_n – массы отрезка, заготовки и поковки соответственно.

Расчеты показали, что при степенях деформации осадки $\varepsilon' = 30 \div 50\%$ возможно получение двухсторонних отрезков с $u_3 = 0,03 \div 0,08$, т. е. $V_{omp} = (0,03 \div 0,08)V_{заг}$. При штамповке поволоков с односторонними вертикальными отрезками схема деформирования допускает их увеличение в полтора раза.

ВЫВОДЫ

Определены перспективные варианты формообразования поволоков пластин, пластин с отрезками, поволоков цилиндрической и двутавровой формы из профилированных заготовок, полученных осадкой выпуклыми продолговатыми плитами. С точки зрения использования изучаемого способа профилирования наиболее технологичными являются поковки с соотношением продольного размера к поперечному $L_n/B_n \cong 1,1 \div 1,25$, при этом обоснована возможность производства поволоков с отношением $L_n/B_n \leq 3,1$ за счет выполнения кантовки профилированной заготовки после осадки выпуклыми плитами перед укладкой в штамповочный ручей. Установлена гарантированная возможность получения профилированных заготовок с отрезками длиной $w = (0,053 \div 0,359)h$ и объемом каждого $V_{omp} = (0,03 \div 0,08)V_{заг}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Охрименко Я. М. *Технология кузнечно-штамповочного производства* / Я. М. Охрименко. – М. : Машиностроение, 1976. – 599 с.
2. Володин И. М. Система основных принципов проектирования процессов горячей объемной штамповки и созданные на её основе технологии / И. М. Володин, А. А. Ромашев // *Кузнечно-штамповочное пр-во. Обработка материалов давлением*. – 2008. – № 9. – С. 19–29.
3. Гринкевич В. А. Бесштамповое профилирование на прессах с повышением точности формоизменения на окончательных операциях / В. А. Гринкевич, В. В. Кухарь, К. К. Диамантопуло // *Кузнечно-штамповочное пр-во. Обработка материалов давлением*. – 2010. – № 5. – С. 19–23.
4. Володин И. М. Сравнительный анализ традиционных и новых технологических процессов изготовления поволоков с развитым фланцем / И. М. Володин, С. А. Бирюков // *Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні* : зб. наук. пр. – Краматорськ, 2006. – С. 284–287.
5. Пат. 44484 Україна, МПК(2009) B21K 1/00, B21J 5/00. Спосіб штампуння поволоков пластин / В. В. Кухарь, В. А. Бурко, О. О. Лаврентік, А. В. Дубініна. – № 200902832; заявл. 26.03.2009; опубл. 12.10.2009, Бюл. № 19. – 5 с. : іл.
6. Совершенствование технологии штамповки на КГШП поволоков для деталей поглощающих аппаратов / В. В. Кухарь, В. А. Бурко, С. А. Короткий, Е. Ю. Балалаева // *Обработка материалов давлением* : зб. наук. пр. – Краматорск : ДГМА, 2010. – № 3 (24). – С. 69–75.
7. Кухарь В. В. Моделирование формоизменения металла при осадке цилиндрических заготовок выпуклыми продолговатыми плитами / В. В. Кухарь, С. А. Короткий, В. А. Бурко // *Вісник Хмельницького національного університету*. – Хмельницький : ХНУ, 2008. – № 5. – С. 204–208.
8. Кухарь В. В. Исследование особенностей формоизменения цилиндрических заготовок при осадке выпуклыми продолговатыми плитами / В. В. Кухарь, В. А. Бурко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2009. – № 1. – С. 66–68.
9. Брюханов А. Н. *Горячая штамповка. Конструирование и расчет штампов* / А. Н. Брюханов, А. В. Ребельский. – М. : Машигиз, 1952. – 666 с.

Кухарь В. В. – канд. техн. наук, доц. ПГТУ, докторант НМетАУ;

Бурко В. А. – ст. преп. ПГТУ.

ПГТУ – Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь.

НМетАУ – Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск.

E-mail: kvv_mariupol@mail.ru