

- К.А. Korsunov: Monograph. – Luhansk: SNU of Dal. – 2007. – 448 p. (Ukr.)
7. Samotugin S.S. Optimization of construction of plasmotron for the superficial work-hardening of materials / S.S. Samotugin, I.I. Pirch, V.A. Mazur // Welding manufacturing. – 2002. – №12. – P. 32-35 (Rus.)
8. Pat. 52442 Ukraine, МПК Н 05 В 7/00. Plasmotron of for of the superficial strengthening of details that tools / S.S. Samotugin, V.A. Gagarin, V.A. Mazur, D.S. Litvinenko. – №u201002550; list. 09.03.2010; publ. 25.08.2010, Bul. №16. – 4 p. (Ukr.)

Рецензент: В.И. Щегина  
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ЛГТУ»

Статья поступила 02.05.2013

УДК 621.923

© Новиков Ф.В.<sup>1</sup>, Андिलाхай А.А.<sup>2</sup>, Кленов О.С.<sup>3</sup>

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИЛОВОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

*Расчетно-экспериментальным путем определена энергоемкость обработки деталей из цветных металлов и показано, что она принимает достаточно большие значения, существенно (до 30 раз) превышающие предел прочности на сжатие материала, в особенности при абразивной обработке. Установлено, что доля энергии резания, затрачиваемая на преодоление силы трения задней поверхности инструмента с обрабатываемым материалом, в 2 раза и более превышает долю энергии «чистого резания». Обоснованы условия перехода от процесса пластического деформирования материала к процессу резания.*

**Ключевые слова:** цветные металлы, механическая обработка, резец, толщина среза, энергоемкость обработки.

*Новиков Ф.В., Андिलाхай О.О., Кленов О.С. Визначення параметрів силової напруженості процесів механічної обробки деталей з кольорових металів. Розрахунково-експериментальним шляхом визначена енергоємність обробки деталей з кольорових металів і показано, що вона приймає достатньо великі значення, суттєво (до 30 разів) перевищуючи межу міцності на стиск матеріалу, особливо при абразивній обробці. Установлено, що частка енергії різання, витрачується на подолання сили тертя задньої поверхні інструмента з оброблюваним матеріалом, в 2 рази й більше перевищує частку енергії «чистого різання». Обґрунтовано умови переходу від процесу пластичного деформування матеріалу до процесу різання.*

**Ключові слова:** кольорові метали, механічна обробка, різець, товщина зрізу, енергоємність обробки.

*F.V. Novikov, O.O. Andilayah, O.S. Klenov. Determination of parameters of power intensity of the processes of mechanical machining of non-ferrous metals. By means of experimental investigation determined was energy-consumption of non-ferrous metals and shown that it takes quite high values are significantly lower (up to 30) than the compressive strength of the material, especially when abraded. The fraction of the energy of cutting expended to overcome friction rear surface of the instrument with the processed materials, a 2-fold or more higher than the share of energy «clean cutting». Substanti-*

<sup>1</sup> д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Харьковский национальный экономический университет», г. Харьков

<sup>2</sup> канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

<sup>3</sup> канд. техн. наук, директор ООО «ДиМерус Инженеринг», г. Харьков

*ated were the conditions of transition from the process of plastic deformation of the material to the process of cutting.*

**Keywords:** *non-ferrous metals, machining, cutter, slice thickness, power consumption of processing.*

**Постановка проблеми.** Общеизвестно, что процессы абразивной обработки характеризуются более высокой энергоемкостью обработки по сравнению с резанием лезвийным инструментом [1]. Это приводит к появлению различных дефектов на обрабатываемых поверхностях и снижению показателей качества и производительности обработки [2]. Чтобы повысить эффективность абразивной обработки, важно знать в первую очередь технологические закономерности изменения энергоемкости обработки, как основного параметра силовой напряженности процесса. В особой мере это относится к абразивной обработке деталей из цветных металлов, которые в силу высокой пластичности плохо обрабатываются резанием. Поэтому изыскание путей повышения эффективности их абразивной обработки является актуальной задачей для машиностроения.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В работе [3] показано, что для механической обработки цветных металлов (медь, латунь и т.д.) эффективно использовать алмазные инструменты, характеризующиеся высокой твердостью и теплопроводностью и низким коэффициентом трения. Это позволило на операциях тонкого точения существенно уменьшить силовую напряженность процесса резания по сравнению с резанием твердосплавным инструментом. В работе [4] обоснована эффективность алмазно-абразивной обработки цветных металлов. Однако, сделанные выводы базируются на результатах экспериментальных исследований, установленных без учета функциональных связей между основными параметрами обработки. Это не позволяет в полной мере раскрыть закономерности и выявить технологические возможности механической обработки цветных металлов. Поэтому важно провести теоретический анализ параметров силовой напряженности механической обработки.

**Цель работы** – обоснование условий повышения эффективности механической обработки цветных металлов на основе установления и анализа расчетно-экспериментальных и аналитических зависимостей основных параметров силовой напряженности процесса резания.

**Изложение основного материала.** Для оценки силовой напряженности процесса резания воспользуемся аналитической зависимостью для определения энергоемкости обработки [5]:

$$\sigma = \frac{\sigma_{сж}}{\operatorname{tg}\beta}, \quad (1)$$

где  $\sigma_{сж}$  – предел прочности на сжатие обрабатываемого материала, Н/м<sup>2</sup>;

$\beta$  – условный угол сдвига обрабатываемого материала.

В табл. 1 приведены рассчитанные по зависимости (1) значения отношений  $\sigma_{сж} / \sigma = \operatorname{tg}\beta$  и  $\sigma / \sigma_{сж}$ . Как видно, с увеличением условного угла сдвига обрабатываемого материала  $\beta$  отношение  $\sigma / \sigma_{сж}$  непрерывно уменьшается, обращаясь при  $\beta = 0$  в бесконечность. Необходимо отметить, что отношение  $\sigma / \sigma_{сж}$  принимает большие значения при условии  $\beta < 10^\circ$ . В диапазоне  $10^\circ < \beta < 45^\circ$ , в котором реализуются процессы абразивной и лезвийной обработки, отношение  $\sigma / \sigma_{сж}$  меньше и при условии  $\beta \rightarrow 45^\circ$  приближается к единице. Следовательно, основным путем уменьшения энергоемкости обработки  $\sigma$  и эффективного ведения процесса резания является выполнение условия  $\beta > 10^\circ$ . Однако, реализовать его на практике удастся не всегда. Так, в работе [3] экспериментально установлено, что при тонком точении детали из меди М1 резцом из твердого сплава ВК6М (с нулевым передним углом) условный угол сдвига обрабатываемого материала  $\beta$  в зависимости от скорости резания ( $V=100 - 700$  м/мин; подача  $S=0,05$  мм/об; глубина резания  $t=0,05$  мм) принимает значения  $\beta = 7 - 10,5^\circ$ . Соответственно,  $\operatorname{tg}\beta = 0,12 - 0,18$ , а, согласно зависимости (1), отношение  $\sigma / \sigma_{сж} = 5,5 - 8,3$ . При этом рассчитанное на основе экспериментально установленной тангенциальной составляющей силы резания  $P_z$  отношение  $\sigma / \sigma_{сж} = 17,4 - 39,5$  ( $\sigma_{сж} = 380$  МПа). Энергоемкость обработки  $\sigma$  опреде-

лялась по залежності

$$\sigma = \frac{P_z}{S \cdot t} \quad (2)$$

Таблиця 1

Расчетные значения отношений  $\sigma_{сж} / \sigma$  и  $\sigma / \sigma_{сж}$

$\beta$ , град	0	10	20	30	45	60	80	90
$\sigma_{сж} / \sigma$	0	0,176	0,364	0,866	1	1,732	5,671	$\infty$
$\sigma / \sigma_{сж}$	$\infty$	5,681	2,747	1,155	1	0,577	0,176	0

Как видно, эти значения отношения  $\sigma / \sigma_{сж}$  значительно больше аналогичных значений  $\sigma / \sigma_{сж}$ , полученных по зависимости (1) с учетом экспериментальных значений  $\beta = 7 - 10,5^\circ$ . Это свидетельствует о том, что в энергетическом балансе значительную долю составляет энергия, затрачиваемая на преодоление силы трения задней поверхностью резца с обрабатываемым материалом, которая в несколько раз превышает долю энергии “чистого резания”. Следовательно, энергия, затрачиваемая на преодоление силы трения задней поверхностью резца с обрабатываемым материалом, многократно превышает энергию, затрачиваемую на осуществление процесса стружкообразования при резании.

При алмазном точении меди М1 условный угол сдвига обрабатываемого материала  $\beta$  больше и принимает значения  $\beta = 21 - 22^\circ$ . Соответственно,  $tg\beta = 0,38 - 0,4$ , а, согласно зависимости (1), отношение  $\sigma / \sigma_{сж} = 2,5 - 2,63$ . Уменьшение энергоёмкости обработки  $\sigma$  связано с уменьшением коэффициента трения  $f$  обрабатываемого материала с передней поверхностью алмазного резца, что вытекает из известной формулы проф. Зворыкина К.А. для определения условного угла сдвига обрабатываемого материала

$$\beta = 45^\circ + \frac{\gamma - \psi}{2}, \quad (3)$$

где  $\gamma$  – передний (положительный) угол инструмента;

$\psi$  – условный угол трения обрабатываемого материала с передней поверхностью инструмента ( $tg\psi = f$ ).

Как следует из зависимости (3), чем больше передний (положительный) угол инструмента  $\gamma$  и меньше угол трения  $\psi$ , тем больше угол  $\beta$  и меньше энергоёмкость обработки  $\sigma$ , определяемая зависимостью (1). Таким образом, применение алмазного точения по сравнению с тонким точением (резцом из твердого сплава ВК6) вследствие уменьшения коэффициента трения  $f$  позволяет существенно увеличить условный угол сдвига обрабатываемого материала  $\beta$  и снизить силовую напряженность процесса резания.

Необходимо отметить, что при этом рассчитанное на основе экспериментально установленной тангенциальной составляющей силы резания  $P_z$  отношение  $\sigma / \sigma_{сж} = 3,4 - 4,2$ . По сравнению со значениями  $\sigma / \sigma_{сж} = 2,5 - 2,63$ , установленными на основе экспериментальных значений  $\beta$ , эти значения  $\sigma / \sigma_{сж}$  примерно в 2 раза больше. Объясняется это, как показано выше, наличием трения задней поверхности резца с обрабатываемым материалом. Однако, в данном случае доля энергии трения задней поверхности резца с обрабатываемым материалом в общем энергетическом балансе процесса резания значительно меньше, чем при точении резцом из твердого сплава ВК6М.

В работе [3] также экспериментально установлено, что при точении латуни алмазным резцом в зависимости от подачи ( $S=0,02 - 0,14$  мм/об;  $t=0,05$  мм;  $\sigma_{сж} = 380$  МПа) угол  $\beta = 23,5 - 27^\circ$ , а при тонком точении резцом из твердого сплава ВК6М –  $\beta = 13,5 - 19,3^\circ$ . Как видно, при точении латуни угол  $\beta$  больше, чем при точении меди. Следовательно, меньше энергоёмкость обработки и сила резания, что подтверждается экспериментами.

Рассчитанные по зависимости (1) для условий точения латуни твердосплавным резцом значения отношения  $\sigma/\sigma_{сж}=2,86 - 4,7$ , а для условий точения алмазным резцом -  $\sigma/\sigma_{сж}=1,96 - 2,32$ . Полученные на основе экспериментально установленной тангенциальной составляющей силы резания  $P_z$  (при точении твердосплавным резцом) значения отношения  $\sigma/\sigma_{сж}=6,35 - 9,72$ , а при точении алмазным резцом -  $\sigma/\sigma_{сж}=3,57 - 4,14$ . Как видно, в двух случаях доля энергии трения задней поверхности резца с обрабатываемым материалом в общем энергетическом балансе процесса резания примерно в 2 раза больше доли энергии “чистого резания”. Следовательно, основная часть энергетических затрат процесса точения уходит на преодоление силы трения задней поверхности резца с обрабатываемым материалом.

Необходимо отметить, что при микрорезании латуни по жесткой схеме (с постоянной скоростью резания  $V=1$  м/с и толщиной среза 30 мкм) специально изготовленным индентором (алмазным конусом с углом при вершине  $2\alpha=120^0$ ) на маятниковом приборе энергоемкость обработки принимает значение  $\sigma=12 \cdot 10^3$  Н/мм<sup>2</sup> [4]. Тогда отношение  $\sigma/\sigma_{сж}$  принимает большее значение, чем при точении латуни алмазным резцом и равно 30. Как показано выше, доля энергии “чистого резания” при точении латуни составляет 30 % в общем энергетическом балансе процесса резания. Поэтому отношение  $\sigma/\sigma_{сж} \approx 10$ . Согласно зависимости (1) и табл. 2, условный угол сдвига обрабатываемого материала  $\beta \approx 6^0$ . Это значительно меньше, чем при точении алмазным резцом с нулевым передним углом ( $\beta=21 - 22^0$ ). Исходя из зависимости (3), уменьшение угла  $\beta$  обусловлено отрицательным передним углом алмазного индентора, который равен  $\gamma = -60^0$ . Таким образом показано, что при микрорезании латуни имеет место процесс стружкообразования, т.к. угол  $\beta > 0$ . Однако, процесс осуществляется с чрезвычайно высокой энергоемкостью, обусловленной как неблагоприятными условиями стружкообразования, так и интенсивным трением алмазного индентора с обрабатываемым материалом. Вполне возможно, что при определенных условиях (при угле  $\beta \rightarrow 0$ ) процесс стружкообразования может отсутствовать, а будет иметь место лишь процесс пластического деформирования материала. Собственно этим и объясняются проблемы абразивной обработки цветных металлов, связанные с высокой энергоемкостью обработки и низкими показателями качества и производительности. Из этого можно заключить, что основным путем повышения эффективности абразивной обработки такого пластичного материала, как латунь следует рассматривать применение в качестве абразивного материала алмазного порошка, который характеризуется наименьшим коэффициентом трения из всех абразивных материалов, а также высокой остротой режущих кромок, что уменьшает отрицательный передний угол зерна и тем самым способствует осуществлению процесса стружкообразования.

Таблица 2

Расчетные значения отношений  $\sigma_{сж}/\sigma$  и  $\sigma/\sigma_{сж}$  для  $\beta=0 - 9^0$

$\beta$ , град	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\sigma_{сж}/\sigma$	0	0,017	0,035	0,052	0,07	0,088	0,1	0,123	0,14	0,158
$\sigma/\sigma_{сж}$	$\infty$	58,8	28,6	19,2	14,3	11,4	10	8,13	7,14	6,33

Проведем теоретический анализ энергоемкости обработки  $\sigma$  применительно к микрорезанию единичным зерном с увеличивающейся во времени толщиной среза  $a$ , приведенной в работе [6]:

$$\sigma = \frac{2 \cdot \tau_{сдв} \cdot \cos^2 \alpha}{\sqrt{\frac{a}{2R} - \operatorname{tg} \frac{(\alpha + \psi)}{2}}}, \quad (4)$$

где  $\tau_{сдв} \approx 0,5 \cdot \sigma_{сж}$  – предел прочности на сдвиг обрабатываемого материала, Н/м<sup>2</sup>;  
 $\alpha$  – угол входа абразивного зерна в обрабатываемый материал;  
 $R$  – радиус абразивного зерна, м.

При условии

$$\sqrt{\frac{a}{2R}} - \operatorname{tg} \frac{(\alpha + \psi)}{2} = 0 \quad (5)$$

энергоёмкость обработки  $\sigma$  принимает бесконечно большое значение ( $\sigma \rightarrow \infty$ ), поэтому процесс стружкообразования отсутствует, происходит лишь пластическое деформирование обрабатываемого материала (рис. 1). Предельное значение отношения  $a_1/R$ , при котором процесс пластического деформирования обрабатываемого материала переходит в процесс резания, определяется на основе преобразованной зависимости (5):

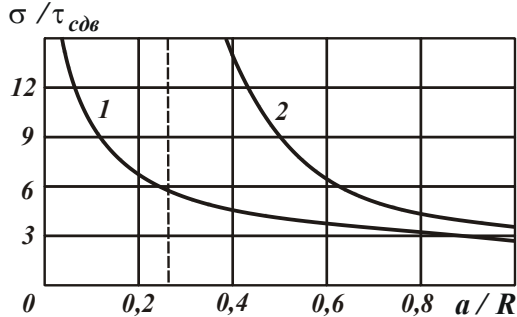


Рис. 1 – Зависимость  $\sigma/\tau_{сдв}$  от отношения  $a/R$ : 1 –  $\alpha=0$ ; 2 –  $\alpha=40^\circ$

свидетельствует об ухудшении условий стружкообразования, т.к. увеличивается длина пути зерна в обрабатываемом материале до момента начала стружкообразования. Иными словами, с увеличением угла  $\alpha$  до момента начала стружкообразования будет иметь место достаточно длительный процесс пластического деформирования материала. Поэтому с увеличением угла  $\alpha$  (например, угла атаки при струйно-абразивной обработке), вполне возможно, что процесс стружкообразования может и не наступить, т.е. все время будет происходить процесс пластического деформирования материала.

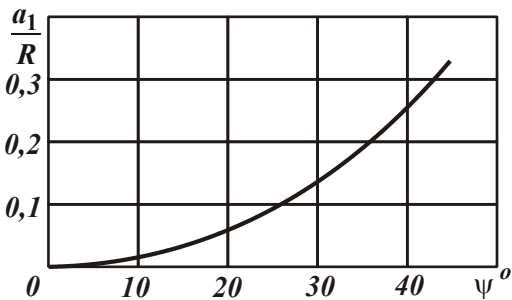


Рис. 2 – Зависимость отношения  $a_1/R$  от угла  $\psi$

Данная закономерность обусловлена уменьшением переднего (отрицательного) угла режущего зерна  $\gamma$  по мере увеличения толщины среза  $a$ . При достижении определенного значения угла  $\gamma$  процесс пластического деформирования материала переходит в процесс резания (стружкообразования). Следовательно, при резании абразивным зерном в отличие от резания резцом (с фиксированным отрицательным передним углом  $\gamma$ ) процесс стружкообразования осуществим во всем возможном диапазоне изменения угла  $\alpha=0\dots90^\circ$ . Однако, для этого необходимо предварительно достичь предельной толщины среза  $a_1$ , при которой происходит переход от процесса пластического деформирования материала к процессу резания.

Исходя из зависимости (6), процесс пластического деформирования материала наступает тем быстрее, чем меньше угол  $\alpha$ . При относительно небольших углах  $\alpha$  процесс стружкообразования может даже не наступить – все время будет происходить процесс пластического деформирования материала. Поэтому при обработке пластичных материалов вследствие специфики их пластического деформирования выполнить условие (6) можно значительно проще, чем при обработке хрупких материалов. Особенно это относится к резанию пластичных материалов с небольшими углами  $\alpha$ . В этом случае длина дуги контакта передней поверхности зерна с обрабатываемым материалом увеличивается и фактический угол  $\alpha$  становится как бы больше его номинального значения, что облегчает процесс стружкообразования. С увеличением угла  $\alpha$ , фактический угол  $\alpha$  существенно увеличивается и условие (6) становится невыполнимым, что исключает процесс стружкообразования и затрудняет сьем материала.

Для оценки достоверности сделанного вывода рассмотрим процесс резания с увеличи-

вающейся во времени толщиной среза. Тангенциальную составляющую силы резания  $P_z$  представим в виде [5]:

$$P_z = \sigma \cdot S = HV \cdot S_0, \quad (7)$$

где  $S = a \cdot b$  – площадь поперечного сечения среза, м<sup>2</sup>;  
 $a, b$  – толщина и ширина среза, м;  
 $S_0 = a_0 \cdot b$  – фактическая площадь контакта режущего зерна с обрабатываемым материалом, м<sup>2</sup>;  
 $a_0$  – фактическая длина контакта режущего зерна с обрабатываемым материалом, м;  
 $HV$  – твердость обрабатываемого материала (по Виккерсу), Н/мм<sup>2</sup>.

Энергоемкость обработки  $\sigma$  в данном случае определяется зависимостью (4). Из зависимости (7) определим величину  $a_0$ :

$$a_0 = a \cdot \frac{\sigma}{HV}. \quad (8)$$

Подставляя зависимость (4) в (8) с учетом  $\sigma_{сж} \approx \sigma_{вр}$  (где  $\sigma_{вр}$  – временное сопротивление обрабатываемого материала, Н/мм<sup>2</sup>), имеем

$$a_0 = \frac{\sigma_{вр}}{HV} \cdot \frac{a \cdot \cos^2 \alpha}{\left[ \sqrt{\frac{a}{2 \cdot R} - \operatorname{tg} \frac{(\alpha + \psi)}{2}} \right]}. \quad (9)$$

С увеличением параметров  $a$  и  $\alpha$  фактическая длина контакта режущего зерна с обрабатываемым материалом  $a_0$  увеличивается. В полученной зависимости (9) все величины известны, что позволяет определить значение  $a_0$ . В табл. 3 [7] приведены значения отношения  $\sigma_{вр} / HV$  для разных обрабатываемых материалов.

Таблица 3

Значения твердости  $HV$ , временного сопротивления  $\sigma_{вр}$  и их отношения  $\sigma_{вр} / HV$  (и  $HV / \sigma_{вр}$ ) для разных обрабатываемых материалов

Материал	$HV \cdot 10, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{вр} \cdot 10, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{вр} / HV$	$HV / \sigma_{вр}$
Никель	120	65	0,53	1,9
Армко-железо	120	67	0,53	1,9
Медь	60	30	0,5	2
Сырая сталь У8	190	80	0,43	2,3
Сталь Р12Ф5М	950	290	0,31	3,2
Закаленная сталь У8	690	170	0,25	4
Закаленная сталь ШХ15	740	140	0,19	5,3
Быстрорежущая сталь Р9	830	190	0,23	4,37
Серый чугун СЧ 18-36	180	23	0,14	7
Цинк	40	4	0,1	10
Твердый сплав ВК8	1500	130	0,09	11,5
Сталь 40Х (при различной температуре отпуска после закалки)	200	63	0,33	2,96
	280	90	0,29	3,46
	350	92	0,3	3,33
	415	93	0,22	4,46
	510	104	0,2	4,94

Как видно, отношение  $\sigma_{вр} / HV$  для пластичных материалов (медь, сталь) больше, чем для хрупких материалов (твердый сплав, серый чугун). Следовательно, согласно зависимо-

сти (9), будут больше и значения  $a_0$ , что способствует улучшению условий стружкообразования при резании. Из этого вытекает эффективность обработки пластичных материалов при относительно небольших значениях угла  $\alpha$ .

При обработке хрупких материалов, в связи с небольшой величиной  $a_0 \approx a$ , процесс резания (стружкообразования) при небольших углах  $\alpha$  может быть неосуществим. Он возможен при увеличенных значениях угла  $\alpha$ , т.е. при увеличенных толщинах среза  $a$ . Это согласуется с известными экспериментальными данными, полученными при исследовании методов струйно-абразивной обработки: повысить эффективность обработки деталей, изготовленных из хрупких материалов, можно при угле входа абразивного зерна в обрабатываемый материал, равном или близким к  $90^\circ$ , а при обработке деталей, изготовленных из пластичных материалов, – при углах  $10-30^\circ$ .

### Выводы

1. Расчетно-экспериментальным путем определена энергоемкость лезвийной и абразивной обработки деталей из цветных металлов и показано, что она принимает достаточно большие значения, существенно (до 30 раз) превышающие предел прочности на сжатие материала, в особенности при абразивной обработке.
2. Установлено, что доля энергии резания, затрачиваемая на преодоление силы трения задней поверхности инструмента с обрабатываемым материалом, в 2 раза и более превышает долю энергии “чистого резания”. Установлено также, что применение алмазных лезвийных и абразивных инструментов позволяет существенно уменьшить энергоемкость обработки цветных металлов на финишных операциях.
3. На основе установленной аналитической связи между энергоемкостью обработки и толщиной среза обоснованы условия перехода от процесса пластического деформирования материала к процессу резания для различных форм микросрезов при абразивной обработке, что согласуется с известными экспериментальными данными, полученными при исследовании методов струйно-абразивной обработки.

### Список использованных источников:

1. Технология машиностроения: Учебник / А.В. Якимов, В.М. Царюк, А.А. Якимов и др. – Одесса: Астропринт, 2001. – 608 с.
2. Евсеев Д.Г. Формирование свойств поверхностных слоев при абразивной обработке / Д.Г. Евсеев. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1975. – 127 с.
3. Зубарь В.П. Исследования особенностей процесса алмазного точения: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / Зубарь Владимир Петрович. – Харьков, 1967. – 210 с.
4. Синтетические алмазы в машиностроении / Под ред. В.Н. Бакуля. – К.: Наук. думка, 1976. – 351 с.
5. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 1. «Механика резания материалов». – Одесса: ОНПУ, 2002. – 580 с.
6. Анділахай О.О. Математична модель визначення енергоемності абразивної обробки та умов її зменшення / О.О. Анділахай, І.В. Гершиков // Вісник НТУ «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2012. – № 54 (960). – С. 3-13.
7. Качество поверхности при алмазно-абразивной обработке / Э.В. Рыжов, А.А. Сагарда, В.Б. Ильицкий, И.Х. Чеповецкий. – К.: Наук. думка, 1979. – 244 с.

### Bibliography:

1. Engineering Technology: Textbook / A.V. Yakimov, V.M. Tsariuk, A.A. Yakimov, and others. – Odessa: Astroprint, 2001. – 608 p.
2. Yevseyev D.G. Formation properties of surface layers in abraded / D.G. Yevseyev. – Saratov: Sarat in. University Press, 1975. – 127 p.
3. Zubar V.P. Investigating diamond turning process: thesis. ... candidate. tehn. sciences: 05.03.01 / Zubar Vladimir Petrovic. – Kharkov, 1967. – 210 p.
4. Synthetic diamonds in mechanical engineering / Ed. V.N. Bakul. – K.: Science dumka, 1976. –

- 351 p.
5. Physico-mathematical theory of material processing technology and mechanical engineering / Ed. F.V. Novikov and A.V. Yakimova. In the ten volumes. – Т. 1. «Mechanics of Materials Cutting». – Odessa: OSPU, 2002. – 580 p.
  6. Andilayah O.O. Mathe model viznachennya energoemnosti abrazivnoї obrobki that drain її zmen-shennya / O.O. Andilayah, I.V. Gershikov // News NTU «НПІ». Zbirnik naukovyi Pracuj. Seriya: mathe modelyuvannya in tehntsi that tehnologiyah. – Н.: NTU «НПІ». – 2012. – № 54 (960). – P. 3-13.
  7. The quality of the surface with diamond-abrasive machining / E.V. Ryzhov, A.A. Sagarda, V.B. Ilitsky, I.H. Chepovetsky. – К.: Science dumka, 1979. – 244 p.

Рецензент: А.А. Ищенко  
д-р техн. наук, проф. ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 10.07.2013

УДК 621.73

Кухарь В.В.<sup>1</sup>, Суглобов Р.В.<sup>2</sup>, Каргин Б.С.<sup>3</sup>, Николенко Р.С.<sup>4</sup>, Мкртчян Е.А.<sup>5</sup>

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ ОСАДКЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЗАГОТОВКИ КОНИЧЕСКИМИ ПЛИТАМИ

*В статье приведены результаты моделирования процесса осадки заготовки коническими плитами методом конечных элементов. Определено напряжённо-деформированное состояние заготовки в зависимости от величины угла у основания конуса конических плит.*

**Ключевые слова:** моделирование, заготовка, конусная плита, напряжённо-деформированное состояние.

**Кухарь В.В., Суглобов Р.В., Каргин Б.С., Николенко Р.С., Мкртчян Е.А. Моделювання напружено-деформованого стану при осаджуванні циліндричної заготовки конічними плитами.** У статті наведено результати моделювання процесу осаджування заготовки конусними плитами методом скінчених елементів. Визначено напружено-деформований стан заготовки залежно від величини кута біля основи конуса конічних плит.

**Ключові слова:** моделювання, заготовка, конусна плита, напружено-деформований стан.

**V.V. Kuhar, R.V. Suglobov, B.S. Kargin, R.S. Nikolenko, E.A. Mkrтчan. Modeling of stress-strain state during upsetting of cylindrical billet by conical plates.** The simulation of the process of forging upsetting of billets by the finite elements method is describes in the article. The stress-strain state of workpiece in depended from the range of angle near of the base of conical plates was determinate.

**Keywords:** The simulation, workpiece, conical plates, stress-strain state.

**Постановка проблемы.** В настоящее время разработано достаточно много способов предварительного профилирования заготовок перед последующей штамповкой или завершаю-

<sup>1</sup> канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

<sup>2</sup> ст. преп., ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

<sup>3</sup> канд. техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

<sup>4</sup> магистр, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

<sup>5</sup> ассистент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь