

DOI 10.32820/2079-1747-2018-22-41-48

УДК 621.923

ИССЛЕДОВАНИЕ СЪЕМА АЛМАЗОНОСНОГО СЛОЯ КРУГА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЕДИНИЧНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАЗРЯДОВ**©Стрельчук Р. М.***Українська інженерно-педагогічна академія***Інформація про автора:**

Стрельчук Роман Михайлович: ORCID: 0000-0002-7221-031X; r.m.strelchuk@gmail.com; кандидат технічних наук; доцент кафедри інформаційних комп'ютерних технологій і математики; Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

В роботі досліджені особливості формування лунок на поверхні зв'язки шліфувальних кругів. Вплив електричних розрядів на зв'язки 2 і 4 групи викликає утворення змінених поверхневих шарів з підвищеними механічними властивостями, які сприяють більш міцному утриманню зерен. Основними факторами, що впливають на товщину зміненого шару, є енергія імпульсів, швидкість переміщення інструменту і кількість рідини, яка подається в зону правки. У зв'язках 1 групи, в силу низького значення критерію Палатника, електроерозійне вплив формує дуже розвинений рельєф, виступи якого можуть бути більше зерен. У зв'язках 3 групи, що включають струмонепровідні компоненти, розряди з енергією більше 0,05 Дж викликають появу тріщин. Тому інструмент на зв'язках 1 і 3 груп необхідно правити з енергією імпульсів, що не перевищує 0,05 Дж. Електричний розряд, впливаючи на ріжучу поверхню інструменту, надає побічний вплив на алмазні зерна. В результаті термомеханічних і інших впливів поверхня зерна покривається додатковими елементами у вигляді ступенів з розмірами 5-15 мкм. Таким чином, алмазні зерна, після дії розрядів набувають значно більш розвинену поверхню, що підвищує ріжучу поверхню інструменту.

Ключові слова: електроерозійна правка; алмазозносний шар інструменту; одиничний імпульс.

Стрельчук Р. М. «Исследование съема алмазозносного слоя круга под воздействием единичных электрических разрядов».

В работе исследованы особенности формирования лунок на поверхности связки шлифовальных кругов. Воздействие электрических разрядов на связки 2 и 4 группы вызывает образование измененных поверхностных слоев с повышенными механическими свойствами, способствующими более прочному удержанию зерен. Основными факторами, влияющими на толщину измененного слоя, являются энергия импульсов, скорость перемещения инструмента и количество жидкости, подаваемой в зону правки. В связках 1 группы, в силу низкого значения критерия Палатника, электроэрозийное воздействие формирует весьма развитый рельеф, выступы которого могут быть больше зерен. В связках 3 группы, включающих токонепроводящие компоненты, разряды с энергией более 0,05 Дж вызы-

вает появление трещин. Поэтому инструмент на связках 1 и 3 групп необходимо править с энергией импульсов, не превышающей 0,05 Дж. Электрический разряд, воздействуя на режущую поверхность инструмента, оказывает побочное влияние на алмазные зерна. В результате термомеханических и других воздействий поверхность зерна покрывается дополнительными элементами в виде ступеней с размерами 5-15 мкм. Таким образом, алмазные зерна, после воздействия разрядами приобретают значительно более развитую поверхность, что повышает режущую поверхность инструмента.

Ключевые слова: электроэрозионная правка; алмазоносный слой инструмента; единственный импульс.

Strelchuk R. «The study of the removal of the diamond layer of a circle under the influence of single electrical discharges».

The work investigated the features of the formation of holes on the surface of a bunch of grinding wheels. The impact of electrical discharges on the ligaments of groups 2 and 4 causes the formation of modified surface layers with enhanced mechanical properties that contribute to a more durable retention of the grains. The main factors affecting the thickness of the modified layer are the energy of the pulses, the speed of movement of the tool and the amount of fluid supplied to the dressing zone. In bundles of group 1, due to the low value of the Palatnik criterion, the electroerosion effect forms a very developed relief, the protrusions of which can be larger than the grains. In bundles of group 3, including non-conductive components, discharges with an energy of more than 0.05 J cause the appearance of cracks. Therefore, the tool on the bundles of 1 and 3 groups must be corrected with an energy of impulses not exceeding 0.05 J. An electrical discharge, acting on the cutting surface of the tool, has a side effect on the diamond grains. As a result of thermomechanical and other impacts, the grain surface is covered with additional elements in the form of steps with sizes of 5-15 microns. Thus, diamond grains, after being subjected to discharges, acquire a much more developed surface, which increases the cutting surface of the tool.

Key words: electroerosive editing; diamond layer of the instrument; single impulse.

1. Введение

Для раскрытия физической сущности процесса электроэрозионного алмазного шлифования, в котором общий эффект воздействия состоит из отдельных явлений, происходящих в микрообъемах за доли секунды (алмазное шлифование, электроэрозионная правка), необходимо исследовать именно эти микропроцессы. В случае алмазного шлифования для изучения процесса резания необходимо исследовать микрорезание отдельным зерном. Переноса затем результаты, полученные при этих исследованиях на реальный процесс массового микрорезания-царапания, можно получить общую картину явлений, которые происходят при алмазном шлифовании. Аналогичные методы существуют и при исследованиях электроэрозионных процессов. Изучая явления, сопровождающие единичные электрические разряды,

можно описать интегральный процесс электроэрозионной правки при условии сохранения аддитивности процесса.

Исследованию явлений, сопровождающих единичные электрические разряды, посвящены многие труды отечественных и иностранных авторов [1-5]. Большинство из них для этой цели применяли устройства, вырабатывающие отдельные импульсы остроугольной формы. Достоинством этих устройств является простота конструкции. К недостаткам следует отнести большую длительность формируемого импульса, сложность регулировки его параметров, пилообразную форму. Результаты, полученные при работе с такими устройствами, не соответствуют реальным условиям правки, т. к. большинство современных генераторов вырабатывают импульсы, по форме близкие к прямоугольным. Поэтому необходимо было исследовать импульсы именно прямоугольной формы для реальных условий электроэрозионного алмазного шлифования.

2. Методология исследования

Изготовить в лабораторных условиях генератор, формирующий отдельные импульсы, близкие по форме к прямоугольным довольно сложно.

Поэтому было разработано устройство к транзисторному генератору ШГИ 40-440. Оно просто в изготовлении, надежно в работе, имеет малые габариты (70×70×20мм). Переключением обычного шестиконтактного тумблера генератор переводится из режима непрерывной генерации в режим формирования отдельных импульсов (единичных электрических разрядов).

Схема устройства (рис. 1) работает следующим образом. В исходном состоянии (Π_1 в положении 0) схема отключена от генератора. Переводя Π_1 в положение 1, запираем усилитель напряжения, поскольку транзистор T_3 открыт. При нажатии на кнопку K_1 происходит разряд цепи C_1-C_5 через диод D_1 , подпертый сопротивлением R_1 .

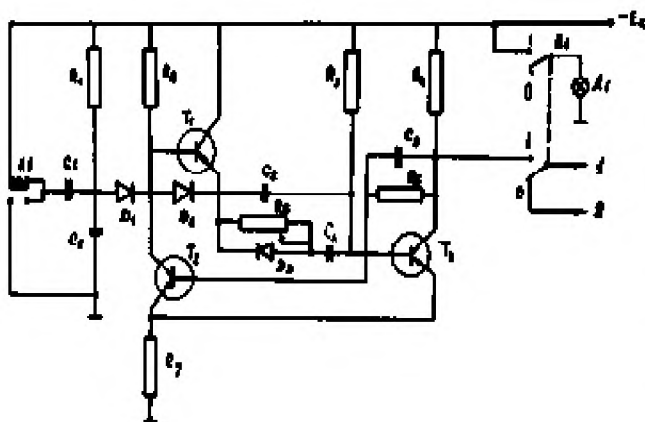


Рис.1 – Принципиальная схема устройства к транзисторному генератору шги 40-440 для формирования единичных импульсов

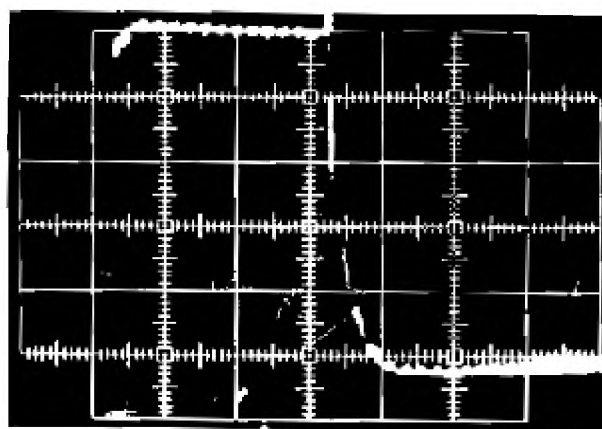


Рис.2 – единичные импульсы прямоугольной формы (1 метка соответствует 10мкс, 1 дел. шкалы осциллографа соответствует 1,5 В.

При этом на базе транзистора T_1 формируется импульс остроугольной формы. Транзистор T_1 открывается и меняет состояние ждущего одновибратора (T_2T_3). Напряжение на коллекторе транзистора T_3 прямоугольной формы. Одновременно с закрытием транзистора T_3 начинает заряжаться цепь C_4R_5 . Ее постоянная времени и определяет длительность импульсов. После заряда C_4 триод T_3 открывается, T_2 закрывается, закрывая T_1 . Тем самым схема приводится в исходное состояние. В результате на выходе генератора получают импульсы прямоугольной формы (рис.2).

Для исследования воздействия единичных импульсов на алмазосный слой кругов на металлических связках применялась установка (рис. 3), которая состояла из генератора ШГИ 40-440, устройства для формирования единичных импульсов, осциллограф С1-29, приспособления для закрепления электрода и исследуемого образца.

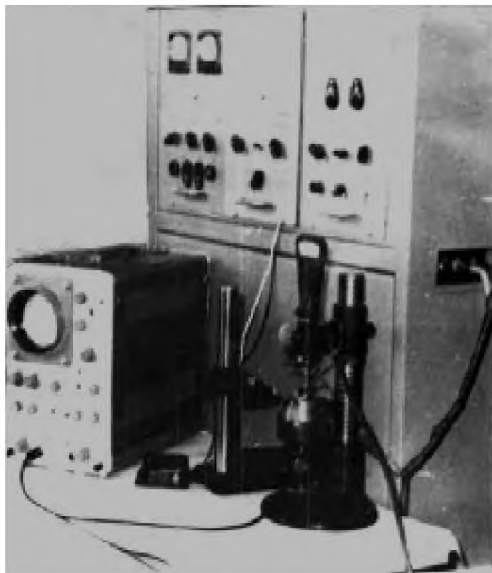


Рис. 3 – Установка для исследования единичных импульсов

Исследовались электрическая эрозия связок М1, МС1, МС2, МС3, МС6, МС8, МС15, МВ1, МО4, МО13, М50 в рабочей среде – водном растворе нитрита натрия и кальцинированной соды различных концентраций. Рабочая среда вводилась в зазор между электродом-инструментом и образцом из связки каплями. Электродом-инструментом служил стальной шарик диаметром 9 мм из стали шх15. Образец из связки полировался до ra 0,04 мкм. Величина зазора между электродами устанавливалась по микронному индикатору от положения короткого замыкания, определяемого с помощью низковольтного омметра.

За величины, характеризующие лунку, получавшуюся в связке, принимали значение ее диаметра, глубины и объема. Диаметр и глубину лунки определяли по профилограммам, снятых в двух перпендикулярных сечениях на профилографе-профилометре мод.201. Объем лунки подсчитывался по известной формуле [6]:

$$V_l = \frac{\pi}{6} D_l^2 h_l, \quad (1)$$

где D_l – диаметр лунки, мм, h_l – глубина лунки, мм

Исследования влияния скорости вращения круга на параметры лунки выполнялись на установке для правки кругов. в качестве источника питания использовался генератор шги 40-

440. скорость вращения круга изменялась при помощи шкивов на валу электродвигателя. в качестве исследуемых применялись круги из связок М1, МС1, МС2, МС3, МС6, МС8, МС15, МВ1, МО4, МО13, М50 чашечной формы. слой связки полировался до Ra 0,04 мкм, электродом служил стальной шарик, который перед опытом устанавливался на расстоянии 10–15 мм от поверхности круга. Одновременно с вращением круга шариком сообщалась продольная подача $s_{пр}$ 10–15 м/мин. в зазор подавалась рабочая жидкость, как при правке. В результате сочетания двух движений круга и электрода на поверхности связки образовывался ряд лунок, расположенных по спирали. изменением полярности устанавливалась зависимость параметров лунок на аноде и катоде от скорости вращения. Энергия импульсов изменялась в пределах от 0,01 до 0,3 Дж подключением дополнительных сопротивлений к рабочему промежутку. Расчет энергии импульсов производился по формуле:

$$W_u = \int_0^{\tau_u} UI dt, \quad (2)$$

где U – напряжение разряда, I – ток разряда, a , τ_u – длительность импульсов, с.

3. Результаты исследований

Объем лунки, образующейся в результате воздействия единичного разряда на алмазный слой инструмента, является основной характеристикой, определяющей в конечном счете производительность процесса правки. Поэтому определение степени влияния различных факторов на объем лунки имеет большое значение.

Эксперименты, проведенные для всех исследовавшихся связок, показали, что объем лунки нелинейно зависит от энергии импульсов. К аналогичным выводам пришли и авторы [7,8]. В результате исследований установлено, что с увеличением энергии импульсов от 0,01 до 0,3 Дж объем лунки в связке возрастает от $(1-6) \cdot 10^{-5}$ мм до $(25-347) \cdot 10^{-4}$ мм.

Необходимо отметить, что для всех связок характер зависимости объема лунки от энергии импульса не меняется, т.е характер хода кривой $V_l = f(W_u)$ остается постоянным. Однако наличие в связках компонентов с различными теплофизическими и электрическими свойствами оказывает заметное влияние на количество материала, удаляемое единичным разрядом.

В первом приближении эрозионная стойкость связки, как известно, может быть определена с помощью критерия Палатника:

$$П = c\gamma\lambda T^2, \quad (3)$$

где c – теплоемкость, кал/г°С, γ – плотность, г/см³, λ – теплопроводность, кал/см с°С, T – температура плавления, °С.

Анализ электрических и теплофизических свойств связок позволил расположить их в ряд по возрастанию электроэрозионной стойкости: МО4, МО13, МВ1, М1, МС6, МС15, МС2, МС3, МС1, МС8, М50 (рис. 4).

Такое расположение связок объясняется следующим. Связки МО4, МО13, МВ1 (1 группа) изготавливаются на медно-алюминиево-оловянной основе с небольшими добавками других элементов. Поскольку алюминий и олово имеют небольшие значения критерия Палатника, электроэрозионная стойкость этих связок невысока, поэтому объемы лунок в связках 1 группы при прочих равных условиях максимальные.

Связки 2 группы (М1, МС6, МС15) имеют медно-оловянистую основу. Отсутствие в них алюминия и добавление токопроводных легирующих элементов повышает критерий Палатника и соответственно уменьшает объем лунки под действием разряда.

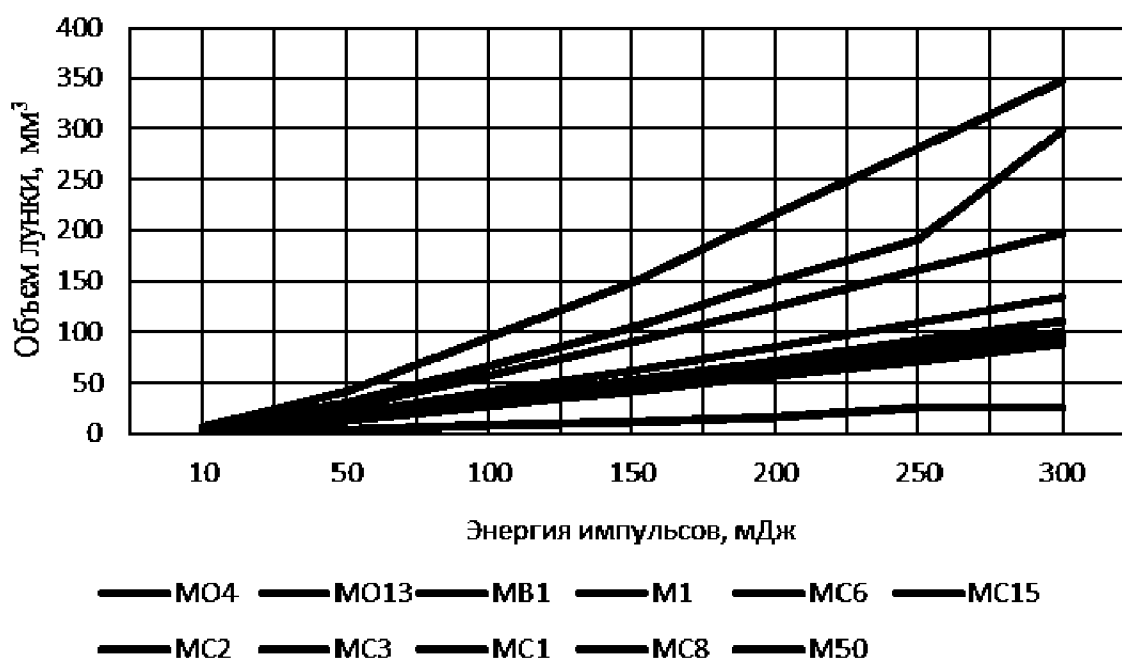


Рис. 4 Влияние энергии импульсов на объем лунки.

Добавление компонентов, не проводящих электрический ток в связки 3 группы (МС2, МС3, МС1, МС8), еще более повышает их электроэрозионную стойкость, уменьшая объем лунки при воздействии единичными разрядами.

Связка 4 группы (М50) представляет собой твердый сплав ВК10, пропитанный медью. С точки зрения электроэрозионной обработки это состав идеального электрода-инструмента с большим значением критерия Палатника. Хорошие тепло- и токопроводность, обусловленные присутствием в связке меди, высокие плотность и температура плавления карбидов вольфрама обеспечивают высокую электроэрозионную стойкость связки, в результате чего объемы единичных лунок при прочих равных условиях в этой связке оказались минимальными.

Обработка результатов опытов выполнялась методами математической статистики. В каждом образце производилось измерение 50 лунок, полученных при воздействии импульсами с одной и той же энергией. Рассчитывался объем каждой лунки. Затем определялся закон распределения объемов лунок, рассчитывались его характеристики, отклонение эмпирической

кривой распределения от теоретической. Определялись среднее арифметическое и дисперсия для каждой энергии импульсов. На основании этих расчетов выполнялся регрессионный анализ, в результате которого была получена формула

$$V_{л} = aW_u^b, \quad (4)$$

где $V_{л}$ – объем лунки, мм³, a, b – коэффициент и показатель степени, учитывающие состав связки, W_u – энергии импульсов, мДж.

Значения коэффициента a и показателя степени b , объемов лунок $V_{л}$, рассчитанных по формуле (4), приведены в табл. 1

Анализ показывает, что отклонения от линейной зависимости для всех связок носят закономерный характер и в зависимости от компонентов связки эти отклонения появляются в большей или меньшей степени. Очевидно, что такой характер отклонений от линейной зависимости нельзя отнести за счет погрешностей измерений.

Таблица.1 – Значения коэффициента a и показателя степени b , объемов лунок $V_{л}$

Связка	a	b	Энергия импульсов, мДж						
			10	50	100	150	200	250	300
МО4	0,387	1,194	6,05	41,30	94,50	148,60	216,50	280,80	347,00
МО13	0,345	1,145	4,82	30,40	67,30	105,20	149,60	190,90	298,50
МВ1	0,327	1,123	4,43	26,40	57,60	90,60	125,30	160,70	197,20
М1	0,282	1,081	3,39	19,40	40,90	62,60	86,00	109,00	133,90
МС6	0,267	1,057	3,05	16,70	33,90	52,70	71,60	91,40	110,90
МС15	0,259	1,046	2,87	15,40	31,90	48,20	66,90	85,60	99,45
МС2	0,252	1,042	2,78	14,90	30,60	46,20	63,30	79,50	96,18
МС3	0,247	1,038	2,69	14,30	29,40	44,40	60,30	74,90	91,81
МС1	0,244	1,035	2,63	14,00	28,60	42,10	58,70	73,50	88,61
МС8	0,242	1,031	2,59	13,60	27,90	42,70	56,90	71,20	88,65
М50	0,088	1,008	1,21	4,10	8,40	12,20	16,80	25,20	25,20

Выводы

Таким образом, анализ результатов исследований показывает, что с повышением энергии импульсов объем единичной лунки увеличивается. Эта зависимость носит нелинейный характер. Воздействие электрических разрядов на связки 2 и 4 группы вызывает образование измененных поверхностных слоев с повышенными механическими свойствами, способствующими более прочному удержанию зерен. Основными факторами, влияющими на толщину измененного слоя, являются энергия импульсов, скорость перемещения инструмента и количество жидкости, подаваемой в зону правки.

Список використаної літератури:

1. Tosun G. The drilling of an Al/SiCp metal-matrix composites. Part I: microstructure / G. Tosun , M. Muratoglu // *Composites Science and Technology*. – 2004. – Iss. 64. – Pp. 299-308.
2. Копас J. High-performance grinding: a review / J. Копас , P. Krajnik // *Journal of Materials Processing Technology*/ – 2006. – Iss. 175. – Pp. 278-284.
3. Kim JD, Kang YH, Jin DX, et al. Development of discontinuous grinding wheel with multi-porous grooves. *Int J Mach Tool Manu??* 1991; 37: 1611–1624.
4. Gutsalenko, Yu. Exploitative destruction features for detonation ultra-dispersed diamonds of initial metallic protection for abrasive powder grains to diamond-spark grinding tools / Yu. Gutsalenko, C. Iancu, S. Bratan // *Fiability & Durability*. – 2015. – Supplement No. 1(14). – Pp. 3-8.
5. Гуцаленко Ю. Г. Алмазно-искровое шлифование: обзор сорокалетия разработки харьковской научной школы физики процессов резания / Ю. Г. Гуцаленко // *Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве : Тр. 18-й междунар. науч.-практ. конф., 5-6 дек. 2012 г. – Харьков : ГП ХМЗ «ФЭД», 2012. – С. 79-88.*
6. Стрельчук Р. М. Визначення особливостей та раціональних умов алмазно-искрового шліфування твердих сплавів з нанорозмірних зерен монокарбиду вольфраму : дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / Р. М. Стрельчук; НТУ «ХП». – Харків, 2011. – 193 с.
7. Иванов Н. П. Электроэрозионное формирование высоты рельефа рабочей поверхности алмазных кругов при использовании источника постоянного тока / Н. П. Иванов // *Резание и инструмент*. – 1984. – Вып. 32. – С. 21-27.
8. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения: в 10 т. Т. 4 : Теория абразивной и алмазно-абразивной обработки материалов / Под общ. ред. Ф. В. Новикова и А. В. Якимова. – Одесса : ОНПУ, 2002. – 802 с.

References

1. Tosun, G & Muratoglu, M 2004, 'The drilling of an Al/SiCp metal-matrix composites. Part I Microstructure', *Composites Science and Technology*, iss. 64, pp. 299-308.
2. Копас, J & Krajnik, P 2006, 'High-performance grinding: a review', *Journal of Materials Processing Technology*, iss. 175, pp. 278-284.
3. Kim JD, Kang YH, Jin DX, et al. 1991, 'Development of discontinuous grinding wheel with multi-porous grooves', *Int J Mach Tool Manu*, no. 37, pp. 1611-1624.
4. Gutsalenko, Yu, Iancu, C & Bratan, S 2015, 'Exploitative destruction features for detonation ultra-dispersed diamonds of initial metallic protection for abrasive powder grains to diamond-spark grinding tools', *Fiability & Durability*, Supplement no. 1(14), pp. 3-8.
5. Gucalenko, JuG 2012, 'Almazno-iskrovoe shlifovanie: obzor sorokaletija razrabotki harkovskoj nauchnoj shkoly fiziki processov rezanija', *Fizicheskie i kompjuternye tehnologii v narodnom hozjajstve*, Gosudarstvennoe predpriyatje Harkovskij mashinostroitelnyj zavod FJeD, Harkov, pp. 79-88.
6. Strelchuk, RM 2011, 'Vyznachennia osoblyvostei ta ratsionalnykh umovalmazno-iskrovoho shlifuvannia tverdikh splaviv z nanorozmirnykh zeren monokarbidu volframu', *Kand.tech.n. thesis, Natsionalnyi tekhnichnyi universytet Kharkivskiyi politekhnichnyi instytut, Kharkiv*.
7. Ivanov, NP 1984, 'Jelektroerozionnoe formirovanie vysoty relefa rabochej poverhnostialmaznyh krugov pri ispolzovanii istochnika postojannogo toka', *Rezanie i instrument*, iss. 32, pp. 21-27.
8. Novikov, FV & Jakimov, AV 2002, *Fiziko-matematicheskaja teorija processov obrabotki materialov i tehnologii mashinostroenija*, Vol. 4 Teoriya abrazivnoj ialmazno-abrazivnoj obrabotki materialov, Odesskij natsionalnyj politekhnicheskij universitet, Odessa.

Стаття надійшла до редакції 6 листопада 2018 р.