

№2(17). - С.62-65. 2. Никитина Т.Б. Синтез цифровых нелинейных многоканальных систем управления. //Автоматизація виробничих процесів. Київ. - 2005. - №2 (21) .С.115-121. 3. Кузнецов Б.И., Никитина Т.Б., Коломиец В.В. Синтез электромеханических систем со сложными кинематическими цепями. Харьков, УИПА.2005.–511с. 4. Куценко А.С., Никитина Т.Б. Уточнение параметров нелинейных оптимальных регуляторов каналов многоканальных систем при последовательном синтезе. Вестник НТУ «ХПИ».–Харьков: НТУ «ХПИ». – 2005. - №59. с.17–25. 5. Никитина Т.Б. Приближенно оптимальное цифровое управление электроприводами с аналитическими нелинейностями. //Вестник НТУ «ХПИ». Сб. научных трудов. Харьков: НТУ «ХПИ».- 2003. - №10. Т1. - С.321-322. 6. Никитина Т.Б. Синтез приближенно – оптимальных нелинейных систем цифрового управления технологическими процессами с аналитическими нелинейностями. //Автоматизація виробничих процесів. Київ. - 2003. - №2(17). - С.62-65. 7. Никитина Т.Б. Синтез многоканальных нелинейных электромеханических систем. //Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Харьков. НТУ «ХПИ». – 2005. - №45. - С. 130 – 131. 8. Никитина Т.Б. Ограничение динамических нагрузок в нелинейной системе совместного управления главными приводами блюминга с учетом их взаимного влияния через прокатываемый металл. //Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Харьков. НТУ «ХПИ». – 2006. - №9 - С. 95 – 102. 9. Никитина Т.Б. Ограничение нагрузок в нелинейных многоканальных системах с оптимальным управлением.//Технічна електродинаміка. Тематичний випуск. Проблеми сучасної електротехніки. Частина 4. Київ. 2006. С. 90–92.

Сдано в редакцію 19.01.07

## ПОВЫШЕНИЕ ОДНОРОДНОСТИ АЛМАЗНЫХ ШЛИФПОРОШКОВ ПО ЛИНЕЙНЫМ РАЗМЕРАМ

**Новиков Н.В., Богатырева Г.П., Ильницкая Г.Д., Невструев Г.Ф., Шепелев А.А.,  
Дуброва А.Е., Ткач С.В., Лещенко О.В. (ИСМ НАНУ, г. Киев, Украина)**

*It is shown that increase of uniformity is achieved by carrying out of additional classifying of powders by sizes and form of grains.*

*Technological process of this classifying consists in the following stages:  
chemical ovalization of diamond grains by strong oxidants;  
special classification by the set of sieves (screen sizes of these sieves correspond to geometrical progression of twentieth number series (R-20));  
additional separation of diamond of narrow grain size by grain form.*

*According to developed technology the AC6 series diamond grinding powders of 100/80 grain size with main fraction content up to 84.7 % have been produced.*

**Введение.** Повышение эффективности использования алмазного инструмента в машиностроении является актуальной проблемой. Это сопровождается необходимостью повышения качества алмазных порошков за счет более тонкого управления механизмом синтеза и технологическими процессами получения порошков. Алмазы являются самым прогрессивным инструментальным материалом особенно в тех областях, где предъявляются высокие требования к качеству обрабатываемых изделий, к точности обработки и к шероховатости поверхности. Одним из важнейших путей достижения более высокого класса обрабатываемой поверхности и увеличения износостойкости алмазного инструмента является повышение однородности алмазных

порошков по зерновому составу, прочности, содержанию дефектов, применяемого в инструменте.

Одним из важнейших путей достижения более высокого класса обрабатываемой поверхности и увеличения износостойкости алмазного инструмента является повышение размерной однородности зернового состава и формы зерен порошка алмаза, применяемого в инструменте. Особенно эффективно использование порошков алмаза с повышенной размерной однородностью в различных отраслях промышленности, где требуется точная форма и высокий класс чистоты обрабатываемой поверхности [1]. Повышение линейной однородности порошка алмаза остро ощущается для низкопрочных марок алмаза, которые представлены агрегатами и сростками (АС2 - АС6) или удлиненными кристаллами с коэффициентом формы от 1.3 до 3.0 (АС15, АС20).

Качество обработанной поверхности материала шлифовальным кругом в большой степени зависит от однородности гранулометрического состава применяемых алмазных порошков. Даже незначительные примеси порошков более крупных фракций совершенно изменяют качество обработанной поверхности в течение всего процесса обработки. В технической литературе указывается, что работу по сошлифовыванию материала выполняют зерна основной фракции алмазного порошка [2]. Кроме того, известно, что одним из способов повышения эффективности шлифования кругами является повышение процентного содержания зерен основной фракции [3]. Из анализа полученных экспериментальных данных и теоретических зависимостей установлено, что доминирующим фактором, влияющим на износ шлифовального круга, является зерновой состав, т.е. степень однородности размеров основной фракции зерна, следовательно, и геометрии алмазного зерна. Следовательно, для повышения качества обрабатываемой поверхности и увеличения производительности работы шлифовального инструмента необходимо максимальное увеличение основной фракции в зерновом составе порошков алмаза при высокой однородности этих порошков по линейным размерам.

Поэтому целью данной работы был выбор способов, позволяющих получать порошки алмаза разных зернистостей с высокой однородностью по линейным размерам с повышенным содержанием основной фракции зерен алмаза в зерновом составе порошков.

**Основное содержание и результаты работы.** В действующей нормативной документации по ГОСТ 3292-95 «Порошки алмазные синтетические» зернистость порошка оценивается дробью размеров квадратных ячеек смежных сит  $d_2/d_1$ . Зерновой состав порошка оценивается по содержанию зерен основной фракции и составляет 80 % или 70 % в зависимости от зернистости порошка [4]. Однако эти методы не позволяют производить объективную оценку уровня однородности порошка алмаза. Для решения поставленной цели необходимо измерение линейных размеров каждого зерна. Существует ряд формул для расчета линейного размера зерна [5]. Наиболее простым способом определения линейного размера зерна ( $\rho$ ) является микроскопический метод. В этой методике за линейный размер зерна  $\rho$  принимают полусумму длины ( $l$ ) и ширины ( $b$ ) проекции зерна:  $\rho = (l+b)/2$ . Таким образом, микроскопические измерения длины и ширины проекции зерна позволяют рассчитать линейный размер зерна и его коэффициент формы ( $K_{\phi}$ ), который оценивают по отношению  $l/b$ . Оценку однородности порошков синтетического алмаза по линейным размерам предложено оценивать коэффициентом однородности ( $K_{одн.л-р}$ ), который определяется как отношение количества зерен со средним размером к общему количеству испытанных зерен.

Алмазные шлифпорошки получают путем отсева на наборе сит, а их зернистость обозначается дробью, в которой числитель соответствует размеру стороны ячейки верхнего сита, через которые зерна проходят, а знаменатель – размеру стороны ячейки нижнего сита, на котором зерна задерживаются. Например, алмазный порошок зернистостью 125/100. Для получения порошкообразных материалов узких классов по размерам в машиностроении применяют сита с различными размерами ячеек. Согласно [6], в машиностроении существуют ряды размеров диаметров и длин, которые являются пятым (R-5), десятым (R-10) двадцатым (R-20) и сороковым (R-40) нормальными рядами геометрической прогрессии. Основной ряд представляет собой двадцатый нормальный ряд чисел, т.е. прогрессию со знаменателями  $\sqrt[5]{10}$ ,  $\sqrt[10]{10}$ ,  $\sqrt[20]{10}$ ,  $\sqrt[40]{10}$  соответственно. Обычно основным рядом является двадцатый ряд чисел, т.е. представляют прогрессию со знаменателем  $\sqrt[20]{10}=1.122$ , а дополнительным является сороковой ряд, имеющий знаменатель  $\sqrt[40]{10}=1.059$ .

Для получения порошков алмаза узких зернистостей в Украине принята размерность ячеек сит с нормальным десятым рядом чисел R-10, имеющих интервал  $\sqrt[10]{10}=1.259$  [4]. Поэтому одним из способов повышения однородности по линейным размерам порошков может быть применение сит более узкого ряда чисел. При получении порошков узкой зернистости путем ситовой классификации, предусматривающей классификацию зернистого материала на наборе сит с размерами отверстий ячеек сит, уменьшающимися по геометрической прогрессии, предусматривается в процессе ситовой классификации зернистого материала использовать набор сит с размерами отверстий ячеек сит, представляющими собой ряд геометрической прогрессии из двадцатого или сорокового ряда чисел со знаменателем изменения размера ячейки сита  $\sqrt[20]{10}=1.122$  (R-20) или  $\sqrt[40]{10}=1.059$  (R-40) [7]. Способ получения порошков узкой зернистости имеет значительные преимущества по сравнению с существующим, так как позволяет разделить зернистый материал на большее количество порошков узкой зернистости, повышая однородность порошков по размеру зерен и увеличивая содержание в порошках зерен основной фракции.

Кроме того, установлено, что алмазные порошки узкой зернистости  $a_2/a_1$ , всегда содержат зерна с разным коэффициентом формы и, следовательно, с разными линейными размерами. Повысить однородность порошков узкой зернистости можно, если решить задачу дополнительного разделения зерен порошка по форме [8]. В данном способе предлагается в дополнение к существующей ситовой классификации применять разделение зерен алмаза по форме на 3-5 групп. Разделение предложено производить на вибростоле. Коэффициент формы зерен может изменяться по группам от 1.05 до 1.80.

Для получения однородных порошков по линейным размерам были использованы алмазные шлифпорошки марки АС6 зернистостью 125/100 и марки АС15 зернистостью 80/63. Сортировка этих порошков проводилась таким образом. В начале выполнялась ситовая классификация на ситах (R-20) с получением порошков более узких классов, затем порошки узких зернистостей подвергались химической оваллизации зерен; после химической обработки порошки разделяли по форме на вибростоле. В полученных после сортировки порошках алмаза определяли содержание основной фракции и коэффициент формы ( $K_\phi$ ) с помощью электронной микроскопии и коэффициент формы ( $K_\phi$ ) [9], коэффициент однородности по линейным размерам ( $K_{\text{одн.л-р}}$ ).

При изготовлении порошков алмаза узких зернистостей проводили

дополнительную ситовую классификацию на наборе сит (R-20) для этого был составлен набор сит для отсева алмазов с получением узких зернистостей 125/115, 115/100 и 80/72, 72/63. Зернистости 125/115 и 72/63 подвергались химической обработке с помощью сильных окислителей. Результаты представлены в табл. 1. Из табл. 1 следует, что получение более узких классов из зернистости 125/100, позволяет увеличить коэффициент однородности по линейным размерам с 24.4 % в исходном состоянии до 35.4 % для 125/115, а после химической обработки алмазов этой зернистости до 42.8 %. Для зернистости 80/63 получены аналогичные результаты увеличения  $K_{\text{одн.л-р}}$ .

Таблица 1. Свойства алмазных шлифпорошков марок АС6 зернистости 125/100 и АС15 зернистости 80/63 после дополнительной ситовой классификации на ситах R-20

| Зернистость         | Содержание основной фракции, % | $K_{\text{ф}}$ , усл.ед | $K_{\text{одн.л-р}}$ % |
|---------------------|--------------------------------|-------------------------|------------------------|
| 125/100 исх.        | 72                             | 1.44                    | 24.4                   |
| 125/115             | 90                             | 1.32                    | 35.4                   |
| 115/100             | 92                             | 1.31                    | 32.6                   |
| 125/115 + хим. обр. | 95                             | 1.26                    | 42.8                   |
| 80/63 исх.          | 72                             | 1.42                    | 14.7                   |
| 80/72               | 92                             | 1.40                    | 39.6                   |
| 72/63               | 92                             | 1.39                    | 37.5                   |
| 72/63+ хим. обр.    | 95                             | 1.21                    | 23.5                   |

Алмазные шлифпорошки марки АС6 зернистости 125/115 и марки АС15 зернистости 72/63 были разделены по форме на вибростоле с получением ряда продуктов, различающиеся между собой по  $K_{\text{ф}}$ . Результаты представлены в табл. 2. В табл. 2 показано, что с увеличением коэффициента формы зерен повышается однородность порошков по линейным размерам. Так, для порошка алмаза зернистости 80/63 с увеличением  $K_{\text{ф}}$  увеличивается однородность по линейным размерам с 24.4 % в исходном порошке до 30.6 % в порошке первого продукта.

Таблица 2. Свойства алмазных шлифпорошков марок АС6 зернистости 125/115 и АС15 зернистости 72/63 после разделения по форме на вибростоле

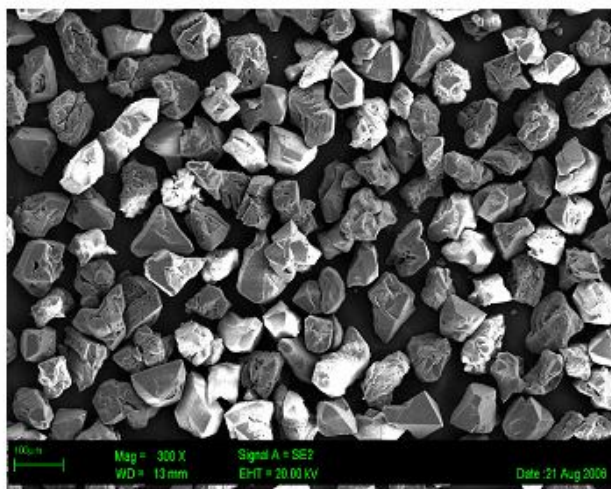
| Зернистость | № продукта разделения | Содержание основной фракции, % | $K_{\text{ф}}$ , усл.ед | $K_{\text{одн.л-р}}$ % |
|-------------|-----------------------|--------------------------------|-------------------------|------------------------|
| 125/115     | 1                     | 80                             | 1.27                    | 30.6                   |
|             | 2                     | 82                             | 1.44                    | 25.1                   |
|             | 3                     | 80                             | 1.75                    | 18.6                   |
|             | Исх.                  | 72                             | 1.44                    | 24.4                   |
| 72/63       | 1                     | 85                             | 1.31                    | 35.6                   |
|             | 2                     | 85                             | 1.46                    | 24.6                   |
|             | 3                     | 85                             | 1.71                    | 12.1                   |
|             | Исх.                  | 72                             | 1.42                    | 14.7                   |

На основании выполненных исследований была разработана технология получения порошков алмаза однородных по линейным размерам. По этой технологии выполнена сортировка алмазного шлифпорошка марки АС6 зернистости 100/80 и получены образцы 1 по существующей, 2 и 3 по разработанной технологиям. В табл. 3 представлены технологические характеристики полученных в результате сортировки порошков. В полученных порошках содержание основной фракции повышается до 84.7 %,  $K_{\text{одн.л-р}}$ , изменяется от 24.7 % до 45.6 %, т.е. возрастает в 1.8 раза. В качестве иллюстрации на рис. 1 приведены фотографии и интегральные гистограммы частоты размеров алмазного зерна для 1 (а) и 3 (б) образцов.

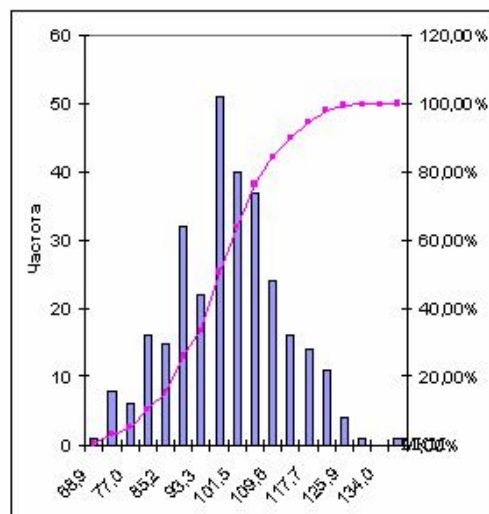
Таблица 3. Технологические и эксплуатационные характеристики алмазных шлифпорошков марки АС6 зернистости 100/80

| № образца | Технологические характеристики |            |                          | Эксплуатационные характеристики |                            |            |
|-----------|--------------------------------|------------|--------------------------|---------------------------------|----------------------------|------------|
|           | Содержание основной фракции, % | $K_{\phi}$ | $K_{\text{одн.л-р}}$ , % | $q_p$ , мг/г                    | $q_v$ , мг/см <sup>3</sup> | $Ra$ , мкм |
| 1         | 76.3                           | 1.33       | 24.7                     | 5.02                            | 73.29                      | 0.16       |
| 2         | 80.5                           | 1.32       | 36.1                     | 4.11                            | 60.01                      | 0.15       |
| 3         | 84.7                           | 1.28       | 45.6                     | 3.58                            | 52.27                      | 0.12       |

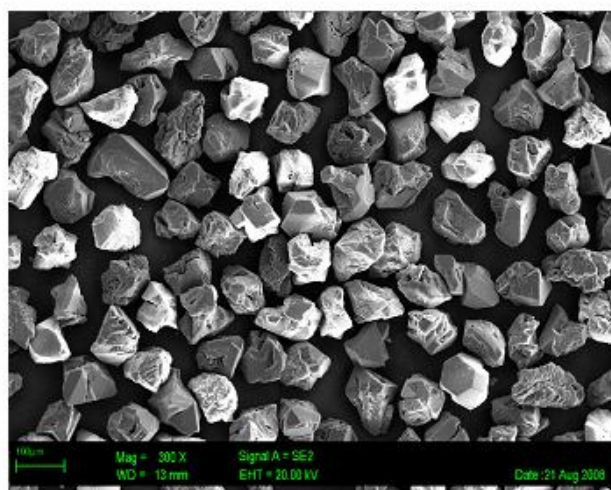
На рис. 1 представлены фотографии порошков алмаза марки АС6 зернистости 100/80 двух образцов и гистограммы распределения размеров зерен, полученные с помощью электронной микроскопии. Как видно из рис. 1, порошок алмаза образца № 3 имеет наиболее высокие показатели по содержанию основной фракции и коэффициенту однородности зерен по линейному размеру.



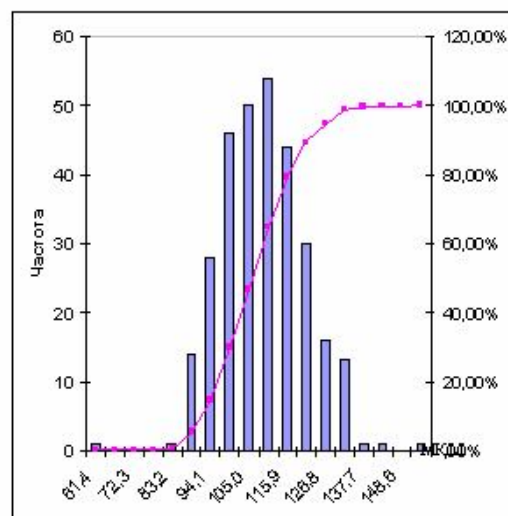
X300



а)



X300



б)

Рис. 1. Фотографии и гистограммы частоты размеров зерен алмазных порошков образцов: а) 1 и б) 3.

Порошки алмаза марки АС6 зернистости 100/80, полученные после сортировки, были использованы для изготовления шлифовальных кругов на металлополимерной связке марки В2-01-1. При работе этих кругов были исследованы эксплуатационные показатели работоспособности: относительный ( $q_p$ ) и удельный ( $q_v$ ) расход алмазов (износостойкость кругов) и шероховатость обработанной поверхности  $Ra$ , которые определяли по методикам [10]. В табл. 3 представлены результаты этих испытаний. Исследования показали, что с увеличением содержания основной фракции и коэффициента однородности по линейным размерам алмазных зерен износостойкость кругов ( $q_p$ ,  $q_v$ ) возрастает в 1.4 раза, а шероховатость  $Ra$  снижается на 25 %. На рис. 2, а графически показано увеличение износостойкости кругов при снижении относительного расхода  $q_p$  с увеличением содержания основной фракции порошка. На

рис. 2, б показано, что при повышении содержания основной фракции в составе порошка происходит снижение шероховатости обрабатываемой поверхности.

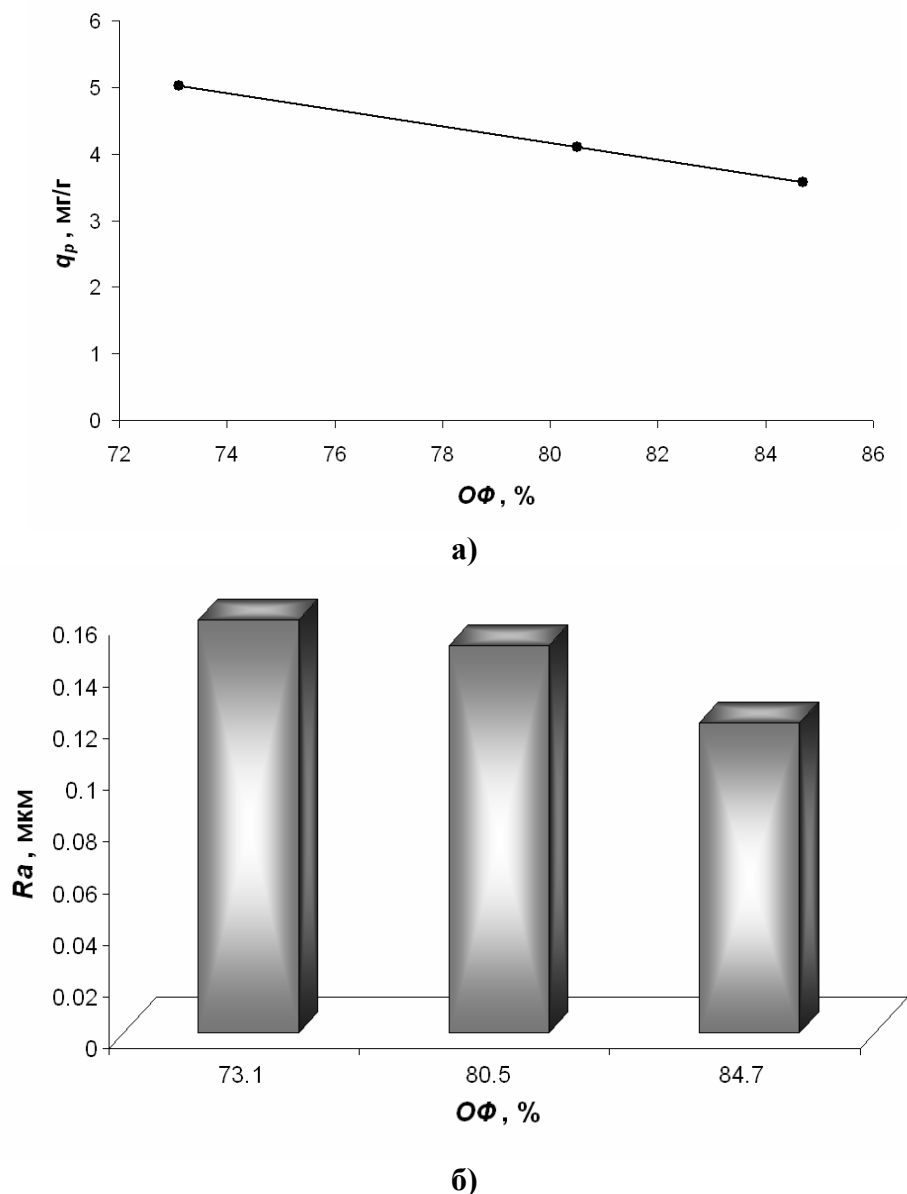


Рис. 2. Эксплуатационные характеристики алмазных порошков марки АС6 зернистости 100/80 в зависимости от содержания основной фракции:  
а) относительный расход  $q_p$ ;  
б) шероховатость обработанной поверхности по параметру  $Ra$ .

**Закключение.** Таким образом, для повышения коэффициента однородности порошка по линейным размерам рекомендуется ситовую классификацию порошков производить на наборе сит с меньшим коэффициентом набора сит, например  $\sqrt[20]{10} = 1.122$  (R-20). Применение разделения порошков алмаза на вибростоле по форме зерен позволяет дополнительно увеличить однородность порошков по линейным размерам. На основании выполненных исследований разработана технология, позволяющая получать порошки алмаза повышенной однородности по линейным

размерам. По разработанной технологии получены алмазные шлифпорошки марки АС6 зернистости 100/80 с содержанием основной фракции до 84.7 %, и с коэффициентом однородности по линейным размерам  $K_{\text{одн.л-р}}$  до 45.6 %, т.е. однородность порошков по линейным размерам возрастает в 1.8 раза. Эксплуатационные испытания полученных порошков показали, что с увеличением содержания основной фракции и коэффициента однородности порошков по линейным размерам износостойкость кругов ( $q_p$ ,  $q_v$ ) возрастает в 1.4 раза, а шероховатость  $Ra$  снижается на 25 %.

**Список литературы:** 1. Ящерицын П.И., Зайцев А.Г. Повышение качества шлифованных поверхностей и режущих свойств абразивно-алмазного инструмента. Минск, «Наука и техника», 1972. – 480 с. 2. Технологические основы высокоэффективных методов обработки деталей / П.И. Ящерицын, М.Л. Хейфец, Б.П. Чемисов и др. – Новополоцк: ПГУ, 1996. – 136 с. 3. Синтетические сверхтвердые материалы: В 3-х т. Т.3 Применение синтетических сверхтвердых материалов / Редкол.: Н.В. Новиков (отв. ред.) и др. – К.: Наук. думка, 1986. – 280 с. 4. ДСТУ 3292-95. Порошки алмазные синтетические. Общие технические условия. Введ. 01.01.97. – К.: Госстандарт Украины, 1996. – 69 с. 5. Стихов Л.В. Определение размеров и зернистости алмазов в различных ситовых классах. Труды ВНИИАЛМАЗа, М., 1978. – С. 50-56. 6. Андреев С.Е., Перов В.А., Зверевич В.В. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. – М.: Недра, 1980. – 415 с. 7. Патент України 69947 А, МКИ В03С7/00, В03С1/00. Спосіб одержання шліфпорошків вузької зернистості / Г.Ф. Невструєв, Г.Д. Ільницька – Опубл.15.09.2004. Бюл. № 9. 8. Патент України 69949 А, МКИ В03С7/00. Спосіб одержання абразивних шліфпорошків вузької зернистості / Г.Ф. Невструєв, Г.Д. Ільницька – Опубл.15.09.2004. Бюл. № 9. 9. Компьютеризация растровых электронных микроскопов – новый уровень изучения и контроля поверхности / А.Г. Гонтарь, В.Н. Ткач, Е.С. Кузьменко и др. // Инструментальный світ – К., 2001. – №12. – С. 16-18. 10. Шепелев А.А., Дуброва А.Е. Оцінка експлуатаційних показників якості шліфувальних кругів із надтвердих матеріалів // Сучасні процеси механічної обробки інструментами із НТМ та якість поверхні деталей машин. – К., 2006. – С. 89-96.

Сдано в редакцию 15.02.07

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ ПРИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ

Пелих А.В. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

*In given article are presented investigation of question power parameter in technological zone. Power Were determined, acting on grain of magnetic abrasive powder in process of machining. The graph of the spatial change of power was formed, that depending on geometric parameter of the concentrator of the magnetic field.*

**Вступление.** Операции финишной обработки, в большинстве случаев, завершают технологический процесс и обеспечивают необходимые технические характеристики изделия. Основной проблемой финишной обработки является обеспечение качества поверхности при большом числе взаимосвязанных факторов, вызывающих формообразование поверхности и необходимую структуру поверхностного слоя. Определение взаимосвязи этих факторов в процессе финишной обработки позволит определить оптимальные режимы обработки, снизить