

28. Бережкова Г. В. Нитевидные кристаллы. – М., 1969. – 158 с.
29. Эткинс П. Физическая химия: – в 2 т. – М.: Мир, 1980. – Т. 2. – 318 с.
30. Sears G. W. //Acta Met. – 1955. – 3. – Р. 361.
31. Новиков Н. В., Никитин Ю. И., Полторацкий В. Г., Гордеев С. К. Нитевидные углеродные кристаллы // Сверхтвердые материалы. – 1995. – № 2. – С. 40–46.
32. Никитин Ю. И., Урюков Б. А., Полторацкий В. Г. Термостойкость и прочность после нагрева сверхтвердых компактированных материалов // Поверхностные и теплофизические свойства алмазов: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ АН УССР, 1985. – 68 с.
33. Пат. 63614 Україна, МПК СО1В 31/06 (2006.01). Спосіб виготовлення інструментального композиційного надтвердого матеріалу / В. Г. Полторацький, Г. П. Богатирьова, Г. С. Грищенко та ін. – Заявл. 04.04.2011; опубл. 10.10.2011; Бюл. № 19.
34. Композити на основі мікропорошків КНБ, структурованих вуглецевою зв'язкою, як функціональні елементи в структурі робочого шару алмазно-абразивного інструменту.
35. Шліфпорошки з композитів як абразивні елементи / В. І. Лавріненко, Б. В. Ситник, В. Г. Полторацький и др. // Сверхтвердые материалы. – 2014. – № 3. – С. 65–72.

Поступила 05.05.17

УДК 621.891

М. Н. Сафонова, канд. техн. наук¹, **А. А. Федотов**¹;
А. С. Сыромятникова, канд. физ.-мат. наук²

¹Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия

²Институт физико-технических проблем Севера имени В. П. Ларионова СО РАН, г. Якутск

ДИАГНОСТИКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АЛМАЗНЫХ ПОРОШКОВ

Непосредственному практическому использованию алмазных порошков предшествует установление значений их эксплуатационных свойств или характеристик, именуемое для краткости диагностикой. Результаты диагностики в одинаковой мере важны как для производителей порошков, так и потребителей. Для первых они нужны для идентификации порошка по определенному нормативному документу. Потребителям они важны для эффективного и рационального использования при изготовлении алмазно-абразивного инструмента и разработке алмазосодержащих композиционных материалов.

Однако предписываемые действующими стандартами традиционные методы диагностика многих характеристик порошков сверхтвердых материалов (СТМ) трудоемки, а их практическая реализация требует длительного времени. Как показывают результаты анализа новейших публикаций по этой тематике, интенсификация данного процесса предусматривает совершенствование технических средств диагностики. В частности, автоматизацию испытаний, съема данных и их первичной обработки. Значительные успехи здесь достигнуты для размерных, геометрических и морфологических (совокупно морфометрических) характеристик благодаря использованию компьютерно-цифровой обработке изображений. Разработка новых, ориентированных на современные технические средства получения исходных данных, высокоинформативных методических средств диагностики характеристик и оценивания качества алмазных порошков и порошков других СТМ, является важной и актуальной научно-прикладной задачей.

Ключевые слова: сверхтвердые материалы, алмазные порошки, абразивные инструменты, активные зерна, композиционные материалы, диагностика

Введение

Для обеспечения высоких значений эксплуатационных параметров абразивного инструмента необходим тщательный выбор типа полимерного связующего, вида, концентрации и зернистости абразивного материала, который определяется в зависимости от обрабатываемого материала, выполняемой операции, метода шлифования, особенностей технологии изготовления, формы и размеров рабочего слоя алмазного инструмента.

Производительность работы шлифовальных инструментов во многом зависит от степени использования режущих свойств зерен. Преждевременное выпадение зерен из связки приводит к повышенному износу, а иногда и к полной потере работоспособности инструмента.

К основным задачам при разработке режущих инструментов относится необходимость повышения основных технических характеристик – износостойкости, прочности, а также улучшения эксплуатационных параметров работоспособности инструмента. Работоспособность абразивных инструментов определяется их износостойкостью, эффективностью работы, качеством обработанной поверхности и характеризуется такими основными эксплуатационными параметрами, как удельный расход абразива, производительность и шероховатость обработанной поверхности. Производительность шлифования и качество обработки существенно зависят от стабильности режущих свойств инструмента, т. е. стабильности количества активных абразивных зерен в процессе его эксплуатации. Соответственно цель настоящей работы – определить изменение количества активных зерен (АЗ) при трении и изнашивании в процессе разработки композиционных материалов абразивного назначения. Существующими методами расчета вычисляют исходную объемную концентрацию АЗ в связке, однако ими невозможно определить ее изменение в процессе работы инструмента.

Методы исследования эксплуатационных характеристик композиционных материалов абразивного назначения

Работоспособность шлифовальных инструментов оценивают по удельному расходу алмазов (взвешиванием или подсчетом количества выпавших зерен), линейному и массовому износу инструмента, производительности и шероховатости обработанной поверхности, что весьма трудоемко и затратно. Однако известно, что производительность шлифования и качество обработки существенно зависят от стабильности режущих свойств инструмента, т. е. стабильности количества активных АЗ в процессе эксплуатации инструмента. Под стабильностью работы инструмента понимают показатель, характеризующий постоянство режущих свойств алмазного абразивного круга. В этой связи при разработке композиционных материалов абразивного назначения особенно важно определить изменение количества активных АЗ при трении и изнашивании. Содержание зерен в рабочем слое – важная характеристика алмазного инструмента, существенно влияющая на его режущие свойства, стойкость и срок службы, а также на усилия и температуру, возникающие в процессе резания.

Одной из важнейших характеристик алмазно-абразивных инструментов, обуславливающей выбор оптимального режима обработки, является количество зерен в их рабочем поверхностном слое. Известно, что количество зерен алмаза, непосредственно участвующих в резании, зависит от общего количества содержащихся в объеме композиционного материала зерен. Для обеспечения работы инструмента в режиме самозатачивания необходимым условием является естественное обновление рабочей поверхности инструмента вследствие изнашивания и удаления из зоны контакта абразивных зерен и появления на поверхности новых зерен из объема материала вследствие деформирования и разрушения связки.

Большинство исследователей определяет количество активных (режущих) зерен различными экспериментальными методами. При выводе того или иного уравнения для расчета количества зерен на поверхности инструментов, изготовленных методом спекания, одной из

основных характеристик является их форма. В одних случаях ее принимают в виде шара, в других – в виде эллипсоида вращения, в третьих – как реализацию случайной функции берут совокупность синусоид с характеристиками, подобранными по экспериментальным данным. Действительная форма зерна отличается от указанных моделей и зависит от марки алмазов.

Все описанные методы расчета количества зерен не универсальны. Они разработаны для частных случаев исследований, с учетом особенностей изготовления рассматриваемых объектов [2–8].

В работе использовали расчетно-экспериментальный метод определения количества активных АЗ со статистически равномерным их распределением в объеме композиционного материала, разработанным в [9]. При разработке метода исходили из предположения, что абразивные зерна – это совокупность частиц произвольной формы и различной дисперсности, распределенные в объеме материала статистически равномерно со случайной пространственной ориентацией.

При моделировании шлифования важно использовать форму абразивных зерен в качестве базовой модели. В научных литературных источниках приводятся различные взгляды на выбор таких моделей: в виде конуса с закругленной вершиной, шара, эллипсоида вращения, цилиндра, куба. С учетом этих различий сравнивали различные модели и выбирали их по степени приближения к экспериментальным данным.

Находящееся на плоскости зерно в ряде случаев располагается так, что размеры, видимые в плане и принимаемые за длину и ширину, меньше третьего размера, условно

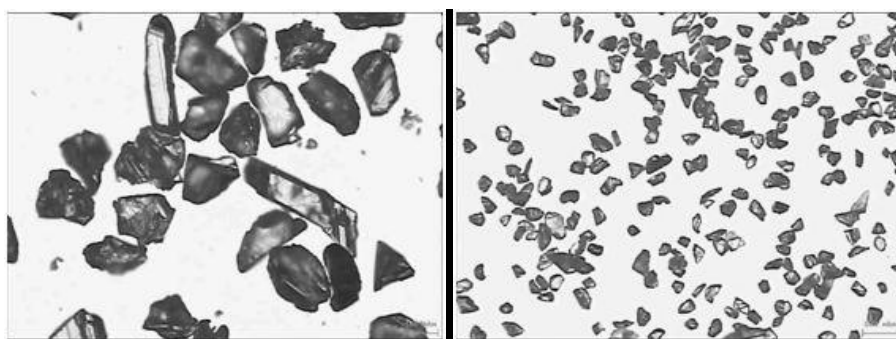


Рис. 1. Электронные фотографии зерен шлифпорошков из природных алмазов зернистостью: а – 125/100; б – 50/40

называемого высотой и наблюдаемого на второй проекции. Следовательно, для выбора геометрической модели формы реального алмазного зерна необходимо наиболее точно определять линейные размеры зерна по объемным измерениям в двух проекциях.

Результаты исследований и их обсуждение

Необходимые для моделирования процедуры контрольного ситового отсева размерные характеристики зерен определялись по двум проекциям, полученным с помощью растрового электронного микроскопа РЭМ XL-20 (Philips) в режиме вторичных электронов. Линейные размеры оценивали по трем взаимно перпендикулярным направлениям. В качестве длины зерна принимался его наибольший размер, видимый на одной из двух проекций (рис. 1). Измерение длины и ширины проекции зерен, их высоты проводили по РЭМ-фотографиям.

Как известно, коэффициент формы K_f отдельного зерна определяется как отношение длины его проекции к ширине. Изометричность зерен (в процентах), согласно методике стандарта [10], определяли по формуле

$$u = \frac{u_1}{n} \cdot 100,$$

где u_1 , n – соответственно количество зерен изометричных и измеренных.

Количество изометричных зерен n_i определяли по результатам вычисления коэффициента формы. Зерно принимается изометричным, если $K_f \leq 1,3$. Полученные таким образом значения изометричности зерен исследованных порошков приведены в таблице.

**Анализ адекватности выбора базовой модели зерен синтетического (SD)
и природного (ND) алмаза**

Зернистость, мкм	Материал шлиф-порошка	Геометрическая модель зерна					Изометричность, %
		Прямоугольный параллелепипед	эллипсоид	сфероид	куб	октаэдр	
50/40	SD	0,16	0,11	0,09	0,13	0,08	57,62
	ND	0,18	0,11	0,12	0,123	0,13	26,3
80/63	SDI	0,17	0,08	0,12	0,16	0,114	52,14
	ND	0,13	0,14	0,17	0,12	0,14	41,81
125/100	SD	0,185	0,127	0,16	0,19	0,14	75,6
	ND	0,21	0,19	0,23	0,156	0,17	49,3
315/250	SD	0,17	0,14	0,13	0,16	0,13	74
	ND	0,25	0,19	0,27	0,19	0,18	39,5

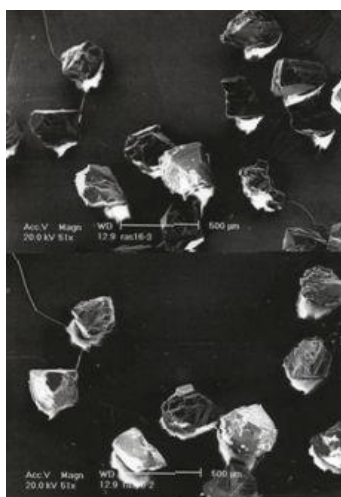


Рис. 2. РЭМ-изображения зерен алмазных шлифпорошков для моделирования зерен по двум проекциям

РЭМ-фотографии зерен исследованных алмазных шлифпорошков показаны на рис. 2.

Как видим зерна природных алмазов являются совокупностью осколочных частиц неправильной формы, произвольное сечение которых в подавляющем большинстве случаев можно считать четырех- или пятиугольниками, как и в других несферических порошках.

При визуальном рассмотрении зерен шлифпорошков алмаза установили, что зерна шлифпорошка из синтетических алмазов имеют округлую форму, зерна из природных алмазов в основном пластинчатой и игольчатой форм, некоторые кристаллы с четкой огранкой и острыми ребрами.

Таким образом, исследованные шлифпорошки существенно различаются коэффициентом формы (рис. 3, 4). Распределение этой характеристики в случае порошков синтетического алмаза имеет меньший вариационный размах значений и более высокую частотность, модальное ее значение составляет 1,2–1,3. Для порошков природного алмаза наблюдается обратная картина: вариационный размах значений шире, частотность меньше, а модальное ее значение лежит в области коэффициента формы $K_f > 1,3$. Следствием этого является существенное различие изометричности зерен. Изометричности зерен шлифпорошков синтетического алмаза значительно выше, чем шлифпорошков природного алмаза (см. таблицу).

Выводы

1. Всего было изучено по 250–300 зерен каждой разновидности исследованных алмазных шлифпорошков. Находящееся на плоскости зерно иногда располагается так, что видимые в плане и принимаемые за длину и ширину размеры меньше третьего размера, условно называемого высотой и наблюдаемого на второй проекции. Следовательно, для выбора геометрической модели формы реального алмазного зерна необходимо наиболее точно

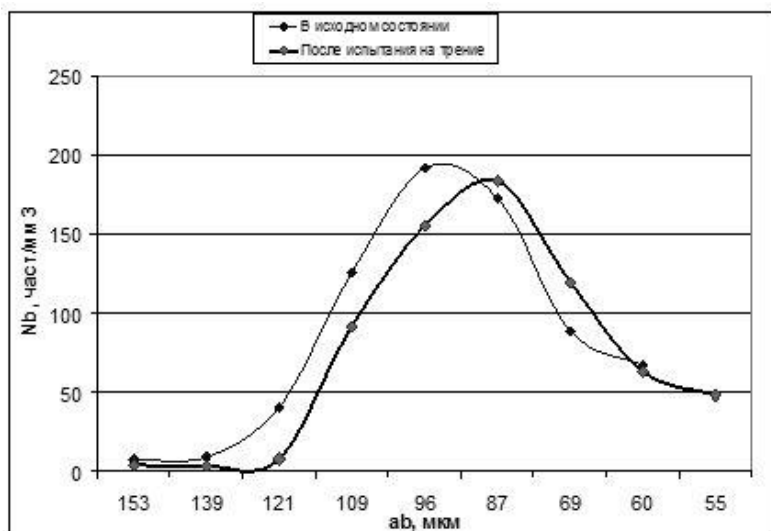


Рис. 4. Кривые распределение частиц алмаза по их размерам на рабочей поверхности композита с 40% весовым содержанием природных алмазных шлифпорошков зернистостью 80/63 мкм в исходном состоянии и после испытания

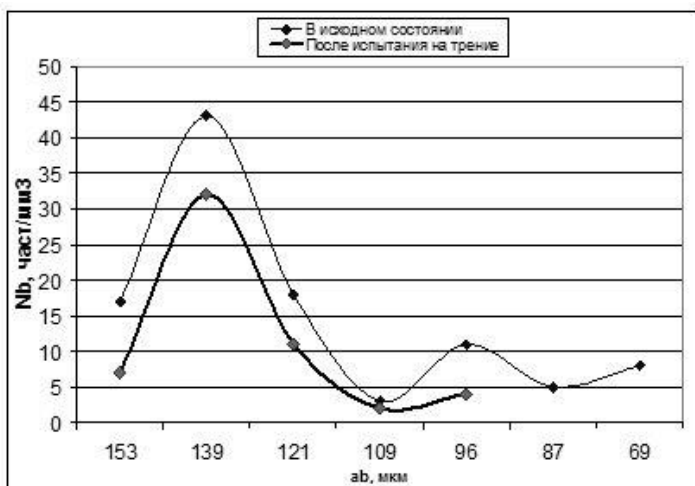


Рис. 3. Кривые распределение частиц алмаза по их размерам на рабочей поверхности композита с 40% весовым содержанием природных алмазных шлифпорошков зернистостью 125/100 мкм в исходном состоянии и после испытания

определять линейные размеры зерна по объемным измерениям в двух проекциях. Правильный выбор базовой модели абразивных зерен оптимизирует процесс шлифования.

2. Результаты исследований показали, что при испытаниях образцов на трение концентрация активных зерен шлифпорошков из синтетических и природных алмазов средней зернистости (125/100 мкм) не изменяется; остальные исследованные шлифпорошки – мелкой и крупной зернистости – отличаются меньшей стабильностью количества активных зерен в металлической матрице связующего.

Безпосередньому практичному використанню алмазних порошків передусе встановлення значень їх експлуатаційних властивостей або характеристик, іменоване для стислості діагностикою. Результати діагностики в однаковій мірі важливі як для виробників порошків, так і споживачів. Для перших вони потрібні для ідентифікації порошку за певним нормативним документом. Споживачам вони важливі для ефективного і раціонального використання при виготовленні алмазно-абразивного інструменту та розробці алмазосодержащих композиційних матеріалів.

Однак передбачені діючими стандартами традиційні методи діагностика багатьох характеристик порошків надтвердих матеріалів (ВТМ) трудомісткі, а їх практична реалізація вимагає тривалого часу. Як

показують результати аналізу новітніх публікацій з цієї тематики, інтенсифікація цього процесу передбачає вдосконалення технічних засобів діагностики. Зокрема, автоматизацію випробувань, знімання даних і їх первинної обробки. Значні успіхи тут досягнуті для розмірних, геометричних і морфологічних (сукупно морфометричних) характеристик завдяки використанню комп'ютерно-цифровій обробці зображень. Розробка нових, орієнтованих на сучасні технічні засоби отримання вихідних даних, високоінформативних методичних засобів діагностики характеристик і оцінювання якості алмазних порошків і порошків інших СТМ, є важливою і актуальною науково-прикладною задачею.

Ключові слова: надтверді матеріали, алмазні порошки, абразивні інструменти, активні зерна, композиційні матеріали, діагностика

DIAGNOSIS OF PERFORMANCE CHARACTERISTIC OF DIAMOND POWDERS

Direct practical use of diamond powders precedes the procedure for determining the values of their exploitation properties or characteristics for a short time which currently uses the term "diagnosis". Diagnostic results are equally important for both producers of powders and their consumers. First they need to identify the powder on a standard. Consumers are important for efficient and effective use in the manufacture of diamond abrasive tools and developing diamond composites.

However, the standards prescribed by the traditional methods of diagnosing many characteristics of powders of superhard materials are labor intensive, and their practical implementation requires a long period of time. The intensification of this process, as shown by the analysis of the latest publications relating to this topic, goes on a journey to improve technical diagnostic tools. In particular, test automation data removal and their primary processing. The significant advances achieved here for dimensional, geometric and morphological (morphometric) characteristics through the use of computer and digital image processing. Development of new, advanced technology-oriented benchmarking, highly methodical diagnostic characteristics and evaluation of the quality of diamond powders and powders other superhard materials is important and relevant scientific-applied task.

Key words: ultrahard materials, diamond powders, grinding tool, active grains, composite materials, diagnostic testing.

Литература

1. Новиков Н. В., Богатырева Г. П. Наноалмазы статического и детонационного синтеза и перспективы их применения // Сверхтвердые матер. – 2008. – № 2. – С. 3–12.
2. Петасюк Г. А., Сирота Ю. В. Аналитическое определение количества зерен в одном карате алмазного порошка на основе экстраполяционно–аффинной 3D модели зерна // Сверхтвердые матер. – 2012. – № 3. – С. 70–82.
3. Петасюк Г. А. Інтерпретаційні і прикладні аспекти деяких морфологічних характеристик порошків надтвердих матеріалів // Сверхтвердые матер. – 2010. – № 2. – С. 80–95.
4. Onodera A., Furuno K., Yazu S. Synthetic Diamond as a Pressure Generator // Sci. – 1986. – 232. – P. 1419–1420.
5. List E., Vollstaedt H., Frenzel J., Counting Particles per Carat by Means of TwoDimensional Image Analysis // 5th Zhengzhou Int. Superhard Materials and Related Products Conf., Henan, China, 5–7 Sept. 2008.
6. Engels A. The Role of Particles Per Carat in Diamond Tool Behavior // Industrial diamond rev. – 2003. – 63. – N 2. – P. 39–45.
7. Влияние морфометрических характеристик порошков синтетического алмаза марки АС6 на износостойкость шлифовального инструмента / В. И. Лавриненко, Г. П. Богатырева, Г. Д. Ильницкая и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины. – 2011. – Вып. 15. – С. 484–490.

8. Seiri Matsui. Statistical approach to grinding mechanism influence of the distribution in depth for the position of grain tip angles // Techn. Rep. Tohoku Univer. – 1978. –32. – N 2. – P. 297–312.
9. Сафонова М. Н., Сыромятникова А. С., Шиц Е. Ю. Расчетно–экспериментальный метод определения количества активных зерен в абразивном композиционном материале // Трение и износ. – 2007. – 28. – № 5. – С. 471–476.
10. ГОСТ 9206–80. Порошки алмазные. Технические условия. – М.: Изд–во стандартов, 1981.

Поступила 14.06.17

УДК 621.921.343-492.2.:541.128.13

Н. А. Олейник, Г. Д. Ильницкая, кандидаты технических наук,
В. Н. Ткач, д-р физ.-мат. наук, **Г.А. Базалий**¹;
О. Н. Сизоненко, д-р техн. наук²

¹*Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев,*

²*Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины, г. Николаев*

ВЛИЯНИЕ УДАРНО-ВОЛНОВОЙ ОБРАБОТКИ НАНОПОРОШКОВ СИНТЕТИЧЕСКОГО АЛМАЗА НА ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРУПНОСТИ

Показана возможность получения нанопорошков алмаза детонационного синтеза с различными характеристиками крупности, величиной их среднего диаметра, однородностью по размеру. При совместной ударно-волновой обработке суспензии нанопорошков твердого сплава ВК6 и алмаза марки АСУД75 можно получать тонкодисперсные слабоагрегированные порошки с длительным сохранением размеров частиц и стабильности характеристик крупности.

Ключевые слова: *нанопорошки синтетического алмаза, ударно-волновая обработка, характеристики крупности, тонкодисперсные слабоагрегированные порошки.*

Введение

Одно из перспективных направлений материаловедения – создание новых наноматериалов, содержащих нанопорошки синтетических алмазов детонационного синтеза.

Нанопорошки алмаза применяют для создания композиционных, керамических и полимерных материалов, клеев, паст, суспензий, адсорбентов, катализаторов, электродов, носителей лекарственных препаратов и др.

Для изготовления этих материалов необходимы однородные нанопорошки (с узким диапазоном распределения частиц) с минимальным размером частиц, максимальной удельной площадью поверхности и незначительной агрегативной способностью.

Одним из способов изготовления нанопорошков алмаза является детонация взрывчатых веществ с отрицательным кислородным балансом с образованием продукта сложного состава, содержащего нанокристаллы алмаза (около 4 нм), которые агрегируют в кластеры размером 30–40 нм и агрегаты порядка сотен нанометров, с последующей сложной химической переработкой продукта [1–3].

К наиболее эффективным и экологически безопасным методам воздействия на различные дисперсные системы относятся физические методы обработки, способствующие изменению распределения частиц порошка по размерам, например, ультразвуковая обработка [4; 5] или обработка низкотемпературным охлаждением [6]. Установлено, что в результате