

Получение, структура, свойства

УДК 621.9:621.928.4

**В. И. Лавриненко, Г. Д. Ильницкая, Г. А. Петасюк,
В. Н. Ткач, В. В. Смоквина, В. С. Шамраева,
И. Н. Зайцева** (г. Киев)
Д. Г. Музыка (г. Днепродзержинск)

Влияние физико-механических характеристик синтетических алмазных порошков марки АС6 на износостойкость шлифовального инструмента

Рассмотрены физико-механические характеристики шлифпорошков марки АС6 на основе алмазов, синтезированных в системах Ni–Mn–C и Fe–Si–C. Такие алмазы различаются по магнитным свойствам, механическим характеристикам и содержанию примесей и внутрикристаллических включений. Показаны возможности использования результатов исследования морфометрических характеристик алмазных порошков для их эффективного применения в шлифовальном инструменте. Установлена взаимосвязь этих характеристик с износостойкостью шлифовального инструмента при алмазном шлифовании.

Ключевые слова: физико-механические характеристики, порошки синтетических алмазов, магнитные свойства, морфологические характеристики, износостойкость.

ВВЕДЕНИЕ

В машиностроении широко применяются порошки алмазные синтетические марки АС6. Синтез таких алмазов, как правило, происходит кратковременно и при больших скоростях роста. Для снижения высоких p , T -параметров синтеза применяют сплавы-растворители углерода. При этом обычно кристалл алмаза в процессе роста захватывает примеси и включения сплава-растворителя, присутствующие в реакционной камере и оказывающие в дальнейшем сильное влияние на эксплуатационные характеристики порошков алмаза. Многочисленные работы по изучению процесса синтеза алмаза в основном выполнены с применением сплавов-растворителей системы Ni–Mn. Свойства таких алмазных порошков широко и разносторонне исследованы. В частности, отмечается [1–3] взаимосвязь магнитных свойств порошков синтетического алмаза с внутрикристаллическими примесями. Например, в шлифпорошках марки АС2 зернистости 125/100, разделенных в магнитном

© В. И. ЛАВРИНЕНКО, Г. Д. ИЛЬНИЦКАЯ, Г. А. ПЕТАСЮК, В. Н. ТКАЧ, В. В. СМОКВИНА, В. С. ШАМРАЕВА,
И. Н. ЗАЙЦЕВА, Д. Г. МУЗЫЧКА, 2013

поле на магнитную фракцию с удельной магнитной восприимчивостью $\chi = 35,2 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ и немагнитную фракцию с $\chi = 7,8 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, внутрикристаллические включения составляют 3,221 и 1,721 % (по массе) соответственно. Установлено, что содержание примесей азота, бора и внутрикристаллических включений сплава-растворителя в шлифпорошках зависит от термодинамических параметров процесса синтеза, скорости роста кристаллов алмаза, количества центров кристаллизации, типа растворителя углерода и других технологических факторов [1, 2]. В последние годы возрос интерес к использованию при синтезе, ориентированном на получение алмазных порошков марки АС6, сплава-растворителя Fe–Si [3].

На процесс обработки материалов очень сильно влияют физико-механические характеристики используемых в инструменте абразивных порошков. Большое воздействие на показатели процесса обработки материалов и качество обработанной поверхности оказывают и морфометрические характеристики абразивных порошков, используемых при изготовлении инструмента [4]. Обычно под морфометрическими характеристиками подразумевают совокупность морфологических, размерных и геометрических характеристик зерен абразивных порошков [5]. В области алмазно-абразивной обработки большое значение придают характеристикам рельефа контура проекции зерен, в частности выступам, которые интерпретируются как режущие кромки. Как правило, режущие кромки абразивных порошков характеризуются их количеством, углами заострения и радиусами закругления. Экспериментальными исследованиями показано, что углы заострения режущих кромок влияют на толщину и глубину среза при обработке алмазным инструментом твердых и хрупких материалов [6], на режущие свойства зерен алмазных и абразивных порошков [7–9], их прочность.

Целью настоящей работы было сравнительное исследование физико-механических характеристик шлифпорошков марки АС6 на основе алмазов, синтезированных в разных ростовых системах, и их влияния на износостойкость шлифовальных кругов при алмазном шлифовании труднообрабатываемых материалов.

МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Исследования проводили на шлифпорошках марки АС6 зернистости 160/125 на основе алмазов, синтезированных в системах Ni–Mn–C и Fe–Si–C [10]. Порошки разделяли в магнитном поле разной напряженности на магнитные фракции, различающиеся между собой по величине удельной магнитной восприимчивости. В полученных фракциях определяли прочность P по разрушающей нагрузке при статическом сжатии зерен [11], однородность по прочности [12] и абразивную способность A [13]. Измерения магнитной восприимчивости χ производили по методике, разработанной в Институте сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины [14]. С помощью растровой электронной микроскопии (РЭМ) проводили оценку содержания примесей и внутрикристаллических включений в алмазах с различной магнитной восприимчивостью [15]. Выполненные измерения удельной магнитной восприимчивости и определения элементного состава примесей и включений позволили рассчитать магнитную восприимчивость внутрикристаллических металлических включений в алмазных порошках разных фракций [16]. Автоматизированную диагностику морфометрических характеристик порошков алмаза выполняли на приборе DialInspect.OSM [17]. Методом автоматической математической обработки данных, полученных в результате

DiaInspect-диагностики, определяли средние значения морфометрических характеристик шлифпорошков марки АС6 и оценивали их адекватность по индексу стабильности [18]. Количество режущих кромок зерен и среднее значение углов их заострения, а также другие геометрические параметры рельефа определяли расчетным путем. Расчетные зависимости и алгоритм такого определения изложены в [19].

После определения морфометрических характеристик алмазные порошки использовали для изготовления шлифовальных кругов. В процессе испытания этих кругов по известным методикам [20] была исследована их работоспособность по удельному расходу q_v алмазных порошков, который является критерием износостойкости кругов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Порошки на основе алмазов, синтезированных в системах Ni–Mn–C и Fe–Si–C, были разделены в магнитном поле разной напряженности на четыре фракции, отличающиеся между собой по величине удельной магнитной восприимчивости. Из алмазных порошков этих фракций были изготовлены образцы 1, 2, 3 и 4. Результаты измерений удельной магнитной восприимчивости всех образцов и расчетов значений удельной магнитной восприимчивости внутрикристаллических включений для образцов 1 и 4 представлены в табл. 1.

Таблица 1. Магнитные свойства шлифпорошка АС6 зернистости 160/125 на основе алмазов, синтезированных в системе Ni–Mn–C и Fe–Si–C

Ростовая система	Фракции разделения	Образец	Удельная магнитная восприимчивость χ , $\cdot 10^{-8}$ м ³ /кг	
			алмаза	включений*
Ni–Mn–C	магнитная 1	1	90,3	2635
	магнитная 2	2	60,5	–
	магнитная 3	3	22,1	–
	немагнитная	4	8,8	437
Fe–Si–C	магнитная 1	1	1327,0	18034
	магнитная 2	2	871,0	–
	магнитная 3	3	425,0	–
	немагнитная	4	132,0	6200

* Расчетные значения удельной магнитной восприимчивости внутрикристаллических включений в синтетических алмазах.

Как следует из табл. 1, образцы порошков на основе алмазов, синтезированных в системах Ni–Mn–C и Fe–Si–C, различаются между собой по магнитным свойствам. Удельная магнитная восприимчивость образцов 1 и 4 обеих систем отличается в ~ 10 раз.

Установлено, что алмазы, полученные в системе Fe–Si–C, обладают хорошо выраженными магнитными свойствами – удельная магнитная восприимчивость алмазов и их включений для образца 1 составляет $\chi = 1327 \cdot 10^{-8}$ и $18034 \cdot 10^{-8}$ м³/кг соответственно.

Таблица 2. Общий и элементный состав примесей и внутрикристаллических включений в образцах шлифпорошка марки АС6 зернистости 160/125 на основе алмазов, синтезированных в системе Ni–Mn–C

Образец	Общее содержание примесей и включений, % (по массе)	Элементный состав примесей и включений в алмазе, % (по массе)				
		магнитных			немагнитных	
		всего	Ni–Mn	Fe	всего	Si
1	3,631	3,427	3,337	0,070	0,204	0,112
2	3,102	2,870	2,806	0,044	0,232	0,187
3	2,643	2,643	2,340	0,011	0,286	0,255
4	2,014	2,014	1,569	–	0,445	0,386

Таблица 3. Общий и элементный состав примесей и внутрикристаллических включений в образцах шлифпорошка марки АС6 зернистости 160/125 на основе алмазов, синтезированных в системе Fe–Si–C

Образец	Общее содержание примесей и включений, % (по массе)	Элементный состав примесей и включений в алмазе, % (по массе)			
		магнитных		немагнитных	
		всего	Fe	всего	Si
1	7,360	6,866	6,828	0,494	0,193
2	2,864	2,513	2,470	0,346	0,184
3	2,356	2,074	2,007	0,282	0,146
4	2,129	1,794	1,733	0,319	0,182

Примечание. Содержание Si в сплаве – 7 % (по массе).

С помощью РЭМ определили содержание примесей и включений и их элементный состав в алмазах образцов 1–4, синтезированных в обеих ростовых системах (табл. 2 и 3).

Из табл. 2, 3 следует, что для алмазов обеих ростовых систем во включениях преобладают элементы сплава-растворителя: 77,9–84,0 % от общего количества имеющихся включений в образце 4 и 94,5–93,1 % – в образце 1.

Установлено, что содержание элементов сплава-растворителя во включениях и примесях алмазов, синтезированных в обеих системах (Ni и Mn в системе Ni–Mn–C и Fe в системе Fe–Si–C), больше в образце 1, чем в образце 4. Это достигается разделением алмазного порошка в магнитном поле по содержанию внутрикристаллических включений элементов сплава-растворителя. Полученные результаты хорошо согласуются с выше указанными данными для порошков марки АС2, полученных из алмазов, синтезированных в ростовой системе Ni–Mn–C [2].

Результаты изменения прочности образцов 1 и 4 шлифпорошка марки АС6 обеих систем представлены в табл. 4. Анализ данных показывает, что прочность порошков на основе алмазов, полученных в системах Ni–Mn–C и Fe–Si–C, соответственно в 1,2 и 3,1 раза выше в образце 1, чем в образце 4. При этом после разделения порошков в магнитном поле на ряд фракций с разной удельной магнитной восприимчивостью увеличивается однородность

порошков по прочности: для алмазов, синтезированных в системе Ni–Mn–C, возрастает в 1,2–1,5 раз, а в системе Fe–Si–C – в 1,9–2,3 раза.

Таблица 4. Механические и эксплуатационные характеристики образцов порошка марки АС6 зернистости 160/125 на основе алмазов, синтезированных в системах Ni–Mn–C и Fe–Si–C

Ростовая система	Образец	Прочность P , Н	Абразивная способность A , мг	Удельный расход алмазов q , мг/г
Ni–Mn–C	1	7,2	284,7	2,25
	4	6,0	286,9	2,33
Fe–Si–C	1	12,7	276,5	1,1
	4	4,1	250,2	1,4

Абразивная способность шлифпорошка на основе алмазов, синтезированных в системе Fe–Si–C, выше для образца 1 по сравнению с образцом 4, а для синтезированных в системе Ni–Mn–C различия для образцов 1 и 4 не обнаружено. Абразивная способность порошка на основе алмазов, синтезированных в системе Ni–Mn–C, немного выше, чем синтезированных в системе Fe–Si–C (см. табл. 4).

Различия в физико-механических свойствах алмазных порошков обеих систем нашли отражение в их морфометрических характеристиках. Для полученных образцов были определены следующие характеристики рельефа контура проекции зерен: количество n и среднее значение углов заострения ϕ режущих кромок, их высота h_n и ширина основания Δ_n (табл. 5).

Таблица 5. Результаты определения характеристик режущих кромок зерен шлифпорошков марки АС6, полученных из алмазов, синтезированных в системах Ni–Mn–C и Fe–Si–C

Образец	n	ϕ	h_n	Δ_n
Ni–Mn–C				
1	9	96,812	46,940	52,880
2	9	95,293	48,520	53,223
3	9	95,084	49,053	53,611
4	9	97,331	47,341	53,821
Fe–Si–C				
1	11	102,8	39,800	49,876
2	10	101,4	41,609	50,860
3	10	99,8	43,972	52,234
4	9	96,9	47,039	53,056

Как следует из табл. 5, зерна алмазов, синтезированных в разных системах, отличаются между собой по характеристикам режущих кромок. Алмазы магнитных фракций, синтезированные в системе Fe–Si–C, с более прочными зернами и высокой абразивной способностью имеют большее число режущих кромок при меньшей их высоте и ширине основания. По мере уменьшения количества режущих кромок и угла их заострения наблюдается тенденция уменьшения прочности порошка и его удельной магнитной восприимчиво-

сти. Для алмазов, синтезированных в системе Ni–Mn–C, такой закономерности не обнаружено.

Также анализировали следующие морфометрические характеристики зерен шлифпорошка марки АС6 160/125: площадь проекции зерна, периметры фактического (p_f) и выпуклого (p_c) его контуров, максимальный (F_{\max}) и минимальный (F_{\min}) диаметры Фере, средний (d_c) и эквивалентный (d_3) диаметры, форм-фактор (C_r) фактического изображения проекции зерна, эллиптичность (El), Feret-удлинение (F_e) и шероховатость (Rg) зерен. Подробное описание и геометрическая интерпретация этих и других морфометрических характеристик, диагностируемых прибором DiaInspect.OSM, имеются в [21]. Ниже приводятся средние значения диагностировавшихся характеристик (табл. 6) и показатели адекватности этих средних значений по критерию стабильности (табл. 7). Кроме того, методом математического моделирования [22] определяли значения показателей зернового состава (табл. 8) исследуемых алмазных порошков по стандарту [11].

Таблица 6. Средние значения морфометрических характеристик шлифпорошков АС6 зернистости 160/125

Морфометрическая характеристика	Образец			
	1	2	3	4
F_{\max} , МКМ	225,57	223,86	226,59	221,86
F_{\min} , МКМ	175,437	173,08	173,01	166,57
C_r	1,3582	1,3706	1,3878	1,4188
El	1,2418	1,2480	1,2663	1,2902
F_e	1,2911	1,2988	1,3178	1,3393
Rg	1,0770	1,0774	1,0794	1,0817
d_c , МКМ	200,50	198,47	199,80	194,22
d_3 , МКМ	186,72	184,38	184,75	178,16
$P_{уд}$, МКМ ⁻¹	0,0251	0,0259	0,0262	0,0269

Как показывают данные табл. 6, по шероховатости Rg зерен алмазные порошки различных образцов существенно не отличаются между собой. Что касается зернового состава, то по показателям мелкой и основной фракций все четыре образца удовлетворяют требованиям стандарта [11]. Показатели крупной фракции всех образцов, за исключением образца 4, несколько превышают норму указанного стандарта. Однако это превышение соизмеримо с погрешностью расчетного метода.

Анализ данных табл. 6 показывает, что для порошков на основе алмазов, синтезированных в системе Fe–Si–C, наиболее однородным по размерным (F_{\max} , F_{\min} , d_c , d_3) характеристикам зерен является образец 4, хотя сами значения размерных характеристик меньше, чем у других образцов. В то же время по характеристикам формы зерен (C_r , El , F_e) и развитости их поверхности

(Rg , $P_{уд}$) наиболее однородными являются зерна образца 1, а средние значения указанных характеристик зерен этого образца меньше, чем других образцов. Это говорит о том, что зерна образца 1 имеют более совершенную форму по сравнению с зернами других образцов.

Таблица 7. Показатели стабильности морфометрических характеристик образцов шлифпорошка марки АС6

Морфометрическая характеристика	Стабильность морфометрической характеристики образца			
	1	2	3	4
F_{max} , мкм	0,35427	0,33355	0,32932	0,41792
F_{min} , мкм	0,31896	0,39597	0,30716	0,47407
C_r	0,51118	0,55850	0,53584	0,50574
El	0,47652	0,43255	0,41517	0,43702
F_e	0,54873	0,52039	0,51780	0,52182
Rg	0,80744	0,77813	0,82776	0,79016
d_c , мкм	0,34258	0,36434	0,32398	0,46326
d_3 , мкм	0,38672	0,37499	0,34647	0,47336
$P_{уд}$, мкм ⁻¹	0,39585	0,13637	0,09770	0,43735

Для порошков, изготовленных из алмазов, синтезированных в системе Ni–Mn–C, наиболее однородным оказался образец 3 как по размерным характеристикам, так и по характеристикам формы зерен и развитости их поверхности. Если сравнивать порошки по развитости поверхности зерен, то при близких ее показателях порошки на основе алмазов, синтезированных в системе Fe–Si–C, существенно более однородны.

Порошки марки АС6 зернистости 160/125 на основе алмазов, синтезированных в разных системах, после разделения в магнитном поле разной напряженности (образцы 1 и 4) были использованы для изготовления экспериментальных шлифовальных кругов на металлической связке марки М1-10 формы 12А2-45° 100×5×3×32. Испытания этих кругов проводили на базе модернизированного универсального заточного станка мод. 3В642 при шлифовании образцов твердого сплава марки ВК8 размером 63×15×7. Производительность обработки была 200 мм³/мин. Износостойкость экспериментальных кругов определяли по удельному расходу q_v алмазного порошка.

Изменение q_v для образцов 1 и 4 на основе алмазов, синтезированных в разных системах, показано в табл. 4. Как видно, q_v шлифпорошка марки АС6 образца 1 на основе алмазов, синтезированных в системе Fe–Si–C, при обработке твердого сплава марки ВК8 приблизительно на 25 % ниже по сравнению с q_v шлифпорошка образца 4. Удельный расход шлифпорошка АС6, на основе алмазов, синтезированных в системе Ni–Mn–C, значительно выше. Так, q_v шлифпорошка образца 1 при обработке твердого сплава марки ВК8 составляет 2,25 мг/г, а образца 4 – 2,33 мг/г. Если связать этот факт с характеристиками рельефа контура проекции зерен, то можно констатировать, что эти характеристики связаны с удельным расходом алмазных порошков. Ха-

рактер данной взаимосвязи таков, что меньший удельный расход обеспечивают более крупные зерна с менее выраженной рельефностью контура (большой угол заострения режущих кромок при меньшей их высоте, ширине основания и величине углубления). Все это приводит к снижению потерь алмазного порошка при обработке твердого сплава ВК8 и, как следствие, способствует повышению износостойкости инструмента.

Таблица 8. Показатели зернового состава (ДСТУ 3292–95) исследуемых образцов шлифпорошка марки АС6 зернистости 160/125

Граница размерных интервалов, мкм		Показатель зернового состава, % (по массе) в образце			
		1	2	3	4
14	20	0	0	0	0
20	28	0	0	0	0
28	40	0	0	0	0
40	50	0	0	0	0
50	63	0	0,001	0	0
63	80	0,03	0,02	0,08	0,08
80	100	0,24	0,23	0,29	0,40
100	125	5,00	4,14	4,73	10,26
125	160	74,62	77,42	75,55	77,36
160	200	17,50	16,73	17,84	11,57
200	250	1,38	1,16	1,06	0,33
250	315	0,43	0,29	0,44	0
315	400	0,81	0	0	0

Таким образом, выполненные исследования являются перспективными, так как позволяют связать режущую способность зерен шлифпорошка из синтетических алмазов с его качеством и значением морфометрических характеристик.

ВЫВОДЫ

Шлифпорошки на основе алмазов, синтезированных в системах Ni–Mn–C и Fe–Si–C, имеют различные магнитные свойства. Магнитная и немагнитная фракции алмазных порошков отличаются по величине удельной магнитной восприимчивости в ~ 10 раз.

Для алмазов обеих систем синтеза элементы сплава-растворителя во включениях преобладают и составляют в порошках немагнитной фракции – 77,9–84,0 %, а магнитной – 94,5–93,1 % от общего количества имеющихся включений.

Механические характеристики (прочность и абразивная способность) шлифпорошков синтетических алмазов магнитных фракций, содержащих больше внутрискристаллических примесей и включений, выше по сравнению с этими же характеристиками немагнитных фракций.

Установлена взаимосвязь морфометрических характеристик порошков синтетического алмаза, отвечающих за форму зерен и развитость их поверхности, а также характеристик рельефа контура проекции с эксплуатационными показателями работы шлифовального инструмента. На примере шлифпорошка марки АС6 на основе алмазов, синтезированных в системе Fe–Si–C, показано, что за счет использования в инструменте алмазного порошка с оптимальными значениями указанных характеристик можно достичь снижения его удельного расхода при работе шлифовального круга, что приводит к повышению его износостойкости.

Розглянуто фізико-механічні характеристики шліфпорошків марки АС6 на основі алмазів, синтезованих в системах Ni–Mn–C та Fe–Si–C. Такі алмази різняться за магнітними властивостями, механічними характеристиками і вмістом в зернах алмазу внутрішньокристалічних домішок і включень. Показано можливості використання результатів дослідження морфометричних характеристик алмазних порошків як засобу їх ефективного застосування в шліфувальному інструменті. Встановлено взаємозв'язок цих характеристик із зносостійкістю шліфувального інструменту при алмазному шліфуванні.

Ключові слова: фізико-механічні характеристики, порошки синтетичних алмазів, магнітні властивості, морфологічні характеристики, зносостійкість.

The hysicomechanical characteristics of synthetic diamonds marks АС6 synthesized in systems Ni–Mn–C and Fe–Si–C on are considered in article. The lead researches have shown, that the diamonds synthesized in systems Ni–Mn–C and Fe–Si–C, differ among themselves to magnetic properties, mechanical characteristics and also under the contents in grains of diamond of impurity and intracrystal inclusions. Opportunities of research morfometrical characteristics of diamonds are shown for their effective application in the grinding tool. The interrelation of these characteristics with wear resistance of the grinding tool is established at diamond grinding.

Keywords: hysicomechanical characteristics, synthetic diamonds, magnetic properties, morfometrical characteristics, wear resistance.

1. Шульженко А. А., Соколов А. Н., Гаргин В. Г. и др. Влияние условий кристаллизации алмаза в системе карбид бора–углеродсодержащее вещество на содержание в нем примеси бора // Углерод: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, технология. – Москва, Троицк, 2012. – С. 458–462.
2. Подзярей Г. А., Начальная Т. А., Шульженко А. А. и др. О зависимости концентрации примеси азота от условий синтеза алмазов // Физико-химические проблемы синтеза сверхтвердых материалов. – Киев: ИСМ АН УССР, 1978. – С. 23–26.
3. Боримский А. И., Делеви В. Г., Нагорный П. А. Кинетика образования и роста алмазов в системе Fe–Si–C // Сверхтв. материалы. – 1999. – № 3. – С. 9–14.
4. Лавриненко В. И., Петасюк Г. А., Сухарев Д. В. Морфометрические характеристики монокристаллов синтетического алмаза как критерий равномерности износа прецизионных алмазных правящих роликов // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. – Харьков, 2012. – Вып. 81. – С. 162–169.
5. Петасюк Г. А. Діагностика морфометричних характеристик порошків надтвердих матеріалів засобами цифрової обробки зображень // Відбір і обробка інформації. – 2009. – Вип. 30 (106) – С. 138–145.
6. Хрульков В. А., Головань А. Я. Обрабатываемость алмазным инструментом твердых и хрупких материалов // Обработка машиностроительных материалов алмазным инструментом. – М.: Наука, 1966. – С. 93–99.

7. Кузнецов А. М., Голосов И. П. Влияние геометрических параметров синтетических алмазных зерен на их режущие свойства // Станки и инструмент. – 1964. – № 12. – С. 28–29.
8. Лавриненко В. И., Ильницкая Г. Д., Боримский А. И. и др. Низкопрочные синтетические алмазы на основе феррокремния в шлифовальном инструменте // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнарод. зб. наук. праць. – Донецьк: ДонНТУ, 2010. – Вип. 40. – С. 99–104.
9. Пивоваров М. С. Особенности геометрических параметров синтетических алмазов // Алмазы. – 1971. – Вып. 7. – С. 8–9.
10. Лавріненко В. І., Ільницька Г. Д., Смоквіна В. В. Застосування синтетичних алмазів, отриманих у ростовій системі Fe–Si–C, у шліфувальному інструменті // Сверхтв. материалы. – 2011. – № 4. – С. 60–69.
11. ДСТУ 3292–95. Порошки алмазные синтетические. – Киев: ГОССТАНДАРТ Украины, 1996. – 70 с.
12. Новиков Н. В., Невструев Г. Ф., Ильницкая Г. Д. и др. Оценка качества порошков сверхтвердых материалов. Часть 1. Теоретические основы метода оценки характеристик качества // Сверхтв. материалы. – 2006. – № 5. – С. 74–83; Часть 2. Практическое применение нового метода оценки характеристик качества // Сверхтв. материалы. – 2006. – № 6. – С. 58–67.
13. М88 Украины 28.5–267:2006. Определения абразивной способности шлифпорошков синтетических алмазов с применением специального шлифовального состава. – ИСМ НАН Украины, 2006. – 8 с.
14. М88 Украины 90.256–2004. Методика определения удельной магнитной восприимчивости порошков сверхтвердых материалов (СТМ). – ИСМ НАН Украины, 2004. – 9 с.
15. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ. – М.: Мир, 1979. – 582 с.
16. Физические свойства алмаза: Справ. – Киев: Наук. думка, 1987. – С. 85–89.
17. List E., Frenzel J., Vollstadt H. A new system for single particle strength testing of grinding powders // Ind. Diamond Rev. – 2006. – N 1. – P. 42–47.
18. Новиков Н. В., Богатырева Г. П., Петасюк Г. А. К вопросу повышения информативности морфологических характеристик порошков из сверхтвердых материалов, определяемых на видео-компьютерных диагностических комплексах // Сверхтв. материалы. – 2005. – № 3. – С. 73–85.
19. Петасюк Г. А. Інтерпретаційні і прикладні аспекти деяких морфологічних характеристик порошків надтвердих матеріалів // Там же. – 2009. – № 2. – С. 79–94.
20. Шепелев А. О., Дуброва О. Є. Оцінка експлуатаційних показників якості шліфувальних кругів із надтвердих матеріалів // Сучасні процеси механічної обробки інструментами із НТМ та якість поверхні деталей машин. – Київ: ІНМ НАН України, 2006. – С. 89–96.
21. Богатырева Г. П., Петасюк Г. А., Базалий Г. А., Шамраева В. С. К вопросу однородности алмазных микропорошков по морфометрическим характеристикам // Сверхтв. материалы. – 2009. – № 2. – С. 71–81.
22. Петасюк Г. А. Обобщенная математическая модель процедуры ситовой классификации порошков сверхтвердых материалов // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – Киев: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2007. – Вып. 10. – С. 212–216.

Ин-т сверхтвердых материалов
им. В. Н. Бакуля НАН Украины
Днепродзержинский государственный
технический ун-т МОН Украины

Поступила 14.03.13