

УДК 621.9:621.928.4

В. И. Лавриненко, д-р техн. наук, **Г. Д. Ильницкая**, канд. техн. наук,
Г. П. Богатырева, д-р техн. наук, **Г. А. Петасюк**, канд. техн. наук, **В. В. Смоквина**

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

ВЛИЯНИЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОРОШКОВ СИНТЕТИЧЕСКОГО АЛМАЗА МАРКИ АС6 НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ШЛИФОВАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

Рассмотрены вопросы режущей способности синтетического алмаза марки АС6, синтезированного в системе Fe–Si–C. Показаны возможности исследования морфометрических характеристик алмазов как средства для эффективного их применения в шлифовальном инструменте. Установлена связь этих характеристик с износостойкостью шлифовального инструмента при алмазном шлифовании.

Ключевые слова: *удельная магнитная восприимчивость, элементный состав, алмазное шлифование, удельный расход алмазов, износостойкость инструмента.*

Введение

В настоящее время в промышленности при обработке изделий из твердого сплава, керамики, стекла и других хрупких материалов широко применяют порошки синтетического алмаза низкопрочных марок АС4 и АС6. Известно, что на показатели процесса обработки материалов и качество обрабатываемой поверхности существенно влияют морфологические, размерные и геометрические (совокупно морфометрические) характеристики абразивных порошков, используемых при изготовлении инструмента. При алмазно-абразивной обработке большое значение придается также характеристикам рельефа контура проекции зерен, в частности выступам, которые интерпретируются как режущие кромки. Как правило, режущие кромки абразивных порошков характеризуются количеством, углами заострения и радиусами закругления. Результаты экспериментальных исследований показали, что углы заострения режущих кромок влияют на толщину и глубину среза при обработке алмазным инструментом твердых и хрупких материалов [1], а также на режущие свойства зерен алмазных и абразивных порошков [2;3], и прочность зерен [4].

Цель настоящей работы исследовать морфометрические характеристики алмазов невысокой прочности и их влияние на износостойкость шлифовальных кругов при алмазном шлифовании труднообрабатываемых материалов.

Методика исследований и исходные материалы

Исследовали шлифпорошок алмаза марки АС6 зернистостью 160/125, синтезированные в системе Fe–Si–C. Алмазы разделяли в магнитном поле разной напряженности на четыре магнитные фракции, различающиеся прочностью и удельной магнитной восприимчивостью. Прочность шлифпорошков алмаза (P , Н) по разрушающей нагрузке при статическом сжатии зерен определяли по методике, приведенной в ДСТУ 3292-95. Магнитную восприимчивость ($\chi \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$) измеряли по методике, разработанной в ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины [5]. Автоматизированную диагностику морфометрических характеристик порошков алмаза осуществляли с помощью прибора DiaInspect.OSM [6]. Методом автономной математической обработки полученного в результате DiaInspect-диагностики xls-файла определяли средние значения полученных данных и оценивали их адекватность по индексу стабильности [7].

После определения морфометрических характеристик порошки алмаза использовали для изготовления шлифовальных кругов. В процессе испытания этих кругов по методике, приведенной в [8], исследовали эксплуатационные показатели работоспособности в виде

удельного расхода алмазов (q_p). При этом удельный расход алмазов взяли в качестве критерия износостойкости кругов.

Результаты исследований и их обсуждение

Результаты разделения синтезированных в системе Fe–Si–C, шлифпорошков алмаза марки АС6 зернистостью 160/125 в магнитном поле приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты разделения синтезированных в системе Fe–Si–C порошков синтетического алмаза марки АС6 в магнитном поле

Название фракции разделения	Номер образца	Удельная магнитная восприимчивость, $\chi \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$	Прочность, Р, Н
Магнитная 1	1	1211	12,7
Магнитная 2	2	252	7,7
Магнитная 3	3	202	4,6
Магнитная 4 (немагнитная)	4	123	3,1

Из данных табл. 1 следует, что в результате разделения получены порошки алмаза, различающиеся удельной магнитной восприимчивостью от $1211 \cdot 10^{-8} - 123 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ и прочностью 12,7 – 3,1 Н. Из каждой магнитной фракции отобрали образцы для исследования морфометрических характеристик.

DiaInspect-фотографии зерен алмаза марки АС6 зернистостью 160/125 крайних магнитных фракций разделения, различающихся магнитными и прочностными свойствами, показаны на рис. 1.

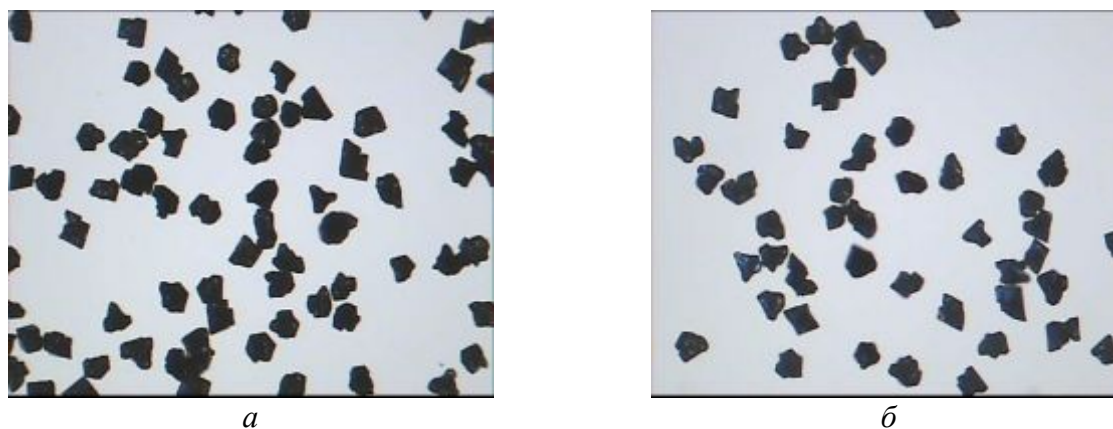


Рис. 1. Внешний вид зерен алмаза марки АС6 зернистостью 160/125 после разделения в магнитном поле: а – образец 1, б – образец 4

Для полученных образцов определили следующие характеристики рельефа контура проекции зерен: количество режущих кромок (n), среднее значение углов их заострения (φ , град.), глубину впадин (C_n , мкм), высоту основания режущих кромок (h_n , мкм) и их ширину (Δ_n , мкм), эквивалентный диаметр зерен алмаза (d_n , мкм). Результаты определения указанных морфометрических характеристик всех образцов алмазов марки АС6 приведены в табл. 2.

При этом эквивалентный диаметр зерен определяли непосредственно прибором DiaInspect.OSM, остальные характеристики – по известной методике [9].

Как следует из данных табл. 2, зерна алмаза в образцах различаются морфометрическими характеристиками. Так, наиболее прочные зерна алмаза образца 1 имеют больше режущих кромок при меньшей глубине впадин. Наблюдается тенденция к

уменьшению количества режущих кромок и угла их заострения по мере снижения прочности порошка и его удельной магнитной восприимчивости.

Таблица 2. Результаты определения морфометрических характеристик образцов алмазов марки АС6, синтезированных в системе Fe–Si–C

Номер образца	n	φ	C_n	h_n	Δ_n	d_3
1	11	102,8	11,847	39,800	49,876	186,271
2	10	101,4	12,228	41,609	50,860	182,610
3	10	99,8	12,851	43,972	52,234	182,269
4	9	96,9	13,516	47,039	53,056	177,616

Таблица 3. Средние значения морфометрических характеристик шлифпорошков алмаза марки АС6 зернистостью 160/125

Характеристика	Наименование образца			
	№1	№2	№3	№4
F_{\max}	225,57	223,86	226,59	221,86
F_{\min}	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
A_t , мк	27622	26983	27125	25126
P_r , мкм	684,00	678,33	683,62	666,51
p_c , мкм	634,39	629,03	632,71	615,68
$P_{уд}$, 1/мкм	0,0251	0,0259	0,0262	0,0269

При выполнении работы кроме упоминавшегося эквивалентного диаметра зерен дополнительно анализировали следующие морфометрические характеристики зерен алмаза марки АС6 зернистостью 160/125, синтезированных с применением феррокремния в виде сплава-растворителя: площадь проекции зерна, периметры истинного (фактического) и выпуклого его контуров, максимальный и минимальный диаметры Feret, форм-факторы выпуклого и фактического изображения проекции зерна, эллиптичность, Feret-удлинение и шероховатость зерен. Подробное описание и геометрическая интерпретация этих и других морфометрических характеристик, диагностируемых прибором DiaInspect.OSM, приведено в [10]. Средние значения диагностировавшихся характеристик приведены в (табл. 3), их адекватность по стабильности в (табл. 4). Методом математического моделирования [11] определяли так же зерновой состав (табл. 5) исследуемых порошков алмаза согласно ДСТУ 3292-95.

Как показывают данные табл. 3, по шероховатости зерен R алмазы образцов существенно не различаются. Относительно зернового состава по показателям мелкой и основной фракций все четыре образца удовлетворяют требованиям ДСТУ 3292-95.

Таблица 4. Показатели стабильности характеристик шлифпорошков алмазов марки АС6

Характеристика	Значение для образца			
	№1	№2	№3	№4
F_{\max}	0,35427	0,33355	0,32932	0,41792
F_{\min}	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_c	0,54873	0,52039	0,51780	0,52182
R_g	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
A_t , мк	0,19474	0,22478	0,18781	0,29324
P_r , мкм	0,30870	0,32849	0,29212	0,42627
p_c , мкм	0,34976	0,34904	0,32257	0,44720
$P_{уд}$, 1/мкм	0,39585	0,13637	0,09770	0,43735

Показатели крупной фракции всех образцов, за исключением 4, несколько превышают норму указанного стандарта. Однако это превышение соизмеримо с погрешностью расчетного метода.

Таблица 5. Показатели зернового состава (%) по количеству (N) и массе (M) зерен (ДСТУ 3292-95) исследуемых образцов шлифпорошков марки АС6

№ п/п	Граница размерных интервалов, мкм		Показатели зернового состава							
			1		2		3		4	
			N	M	N	M	N	M	N	M
1	14	20	–	–	0,00	0,00	0,00	0,00	–	–
2	20	28	–	–	0,23	0,00	0,20	0,00	–	–
3	28	40	–	–	0,17	0,00	0,33	0,00	–	–
4	40	50	–	–	0,00	0,00	0,00	0,00	–	–
5	50	63	0,00	0,00	0,06	0,001	0,07	0,00	0,00	0,00
6	63	80	0,17	0,03	0,11	0,02	0,47	0,08	0,40	0,08
7	80	100	0,78	0,24	0,79	0,23	0,93	0,29	1,09	0,40

8	100	125	7,89	5,00	7,70	4,14	7,48	4,73	14,95	10,26
9	125	160	78,86	74,62	80,63	77,42	78,10	75,55	76,44	77,36
10	160	200	11,70	17,50	10,92	16,73	12,02	17,84	7,03	11,57
11	200	250	0,43	1,38	0,34	1,16	0,33	1,06	0,10	0,33
12	250	315	0,09	0,43	0,06	0,29	0,07	0,44	0,00	0,00
13	315	400	0,09	0,81	0,00	0,00	0,00	0,00	–	–

Из анализа данных табл. 4 следует, что по размерным характеристикам наиболее однородны порошки образца 4, хотя по значениям характеристик уступают зернам других образцов. В то же время по характеристикам формы зерен и развитости их поверхности наиболее однородными являются зерна образца 1. Средние значения указанных характеристик этого образца меньше, чем других образцов. Это свидетельствует о том, что зерна образца 1 имеют более совершенную форму по сравнению с формой зерен других образцов.

Порошки алмаза марки АС6 зернистостью 160/125 (образцы 1 и 4), полученные после разделения в магнитном поле разной напряженности, использовали для изготовления экспериментальных шлифовальных кругов формы 12А2-45° 100×5×3×32 на металлической связке марки М1-10. Испытывали эти круги на базе модернизированного универсального заточного станка модели ЗВ642 при шлифовании образцов твердого сплава марки ВК8 размером 63×15×7. Производительность обработки составила 200 мм³/мин. Исследовали также износостойкость экспериментальных кругов по удельному расходу алмазов (q_p).

Изменение удельного расхода алмазов для образцов 1 и 4. показано на рис. 2.

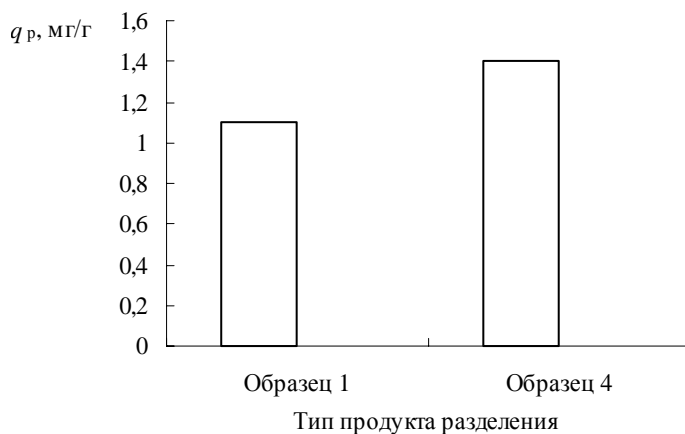


Рис. 2. Удельный расход алмазов марки АС6 (образцы 1 и 4) при обработке твердого сплава марки ВК8

Как следует из данных рис. 2, удельный расход алмазов марки АС6 образца 1 при обработке твердого сплава марки ВК8 приблизительно на 25% ниже удельного расхода алмазов марки АС6 образца 4. Связывая этот факт с характеристиками рельефа контура проекции зерен, можно констатировать, что эти характеристики взаимосвязаны с удельным расходом алмазов. Характер взаимосвязи такой, 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 алмазов при обработке образцов твердого сплава марки ВК8 и как следствие способствует повышению износостойкости инструмента.

Таким образом, выполненные исследования перспективны, так как позволяют согласовать режущую способность синтетических алмазов с их морфометрическими характеристиками и качеством порошка.

Выводы

Установлена взаимосвязь морфометрических характеристик синтетических алмазов, отвечающих за форму зерен и развитость их поверхности, а также характеристик рельефа

контура проекции с эксплуатационными показателями работы шлифовального инструмента. На примере алмазов марки АС6, синтезированных в системе Fe–Si–C, показано, что за счет использования в инструменте алмазных порошков с оптимальными указанными характеристиками можно достичь снижения удельного расхода алмазов при работе шлифовального круга, что приведет к повышению его износостойкости. Получение выводов на уровне нормативно-практических рекомендаций требует большего объема информации о показателях работы инструмента, изготовленного из алмазных порошков с предварительно установленными морфометрическими характеристиками и характеристиками рельефа контура проекции зерен, и такая работа выполняется.

Розглянуто питання різальної здатності синтетичного алмазу марки АС6, синтезованого в системі Fe–Si–C. Показано можливості дослідження морфометричних характеристик алмазів як засобу для ефективного їх використання у шліфувальному інструменті. Встановлено зв'язок цих характеристик зі зносостійкістю шліфувального інструменту при алмазному шліфуванні.

Ключові слова: *питома магнітна сприйнятливість, елементний склад, алмазне шліфування, відносні витрати алмазів, зносостійкість інструменту.*

The questions of cutting ability the synthetic diamond of mark АС6 synthesized in system Fe–Si–C are considered in article. 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.

Key words: *magnetic susceptibility, elemental composition, diamond grinding, the specific consumption of diamond, tool wear.*

Литература

1. Хрульков В. А., Головань А. Я. Обрабатываемость алмазным инструментом твердых и хрупких материалов // Обработка машиностроительных материалов алмазным инструментом. – М.: Наука, 1966. – С. 93–99.
2. Кузнецов А. М., Голосов И. П. Влияние геометрических параметров синтетических алмазных зерен на их режущие свойства // Станки и инструмент. – 1964. – № 12. – С. 28–29.
3. Низкопрочные синтетические алмазы на основе феррокремния в шлифовальном инструменте. / В. И. Лавриненко, Г. Д. Ильницкая, А. И. Боримский и др. // Прогресивні технології і системи машинобудування: між народ. зб. наук. пр. – Донецьк: ДонНТУ, 2010. – Вип. 40. – С. 99–104.
4. Пивоваров М.С. Особенности геометрических параметров синтетических алмазов // Алмазы. – 1971. – Вып. 7. – С. 8–9.
5. М88 Украины 90.256-2004. Методика определения удельной магнитной восприимчивости порошков сверхтвердых материалов. К.: – ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2004. – 9 с.
6. E. List, J. Frenzel, H. Vollstadt A new system for single particle strength testing of grinding powders // Industrial diamond rev. – 2006. – № 1. – P. 42–47.
7. 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 // Сверхтвердые матер. – 2005. – № 3. – С. 73–85.
8. Справочник по алмазной обработке металлорежущего инструмента. Под общей редакцией В. Н. Бакуля. – К.: Техніка, 1971. – 208 с.

9. Петасюк Г.А. Інтерпретаційні і прикладні аспекти деяких морфологічних характеристик порошків надтвердих матеріалів // Сверхтвердые матер. – 2009. – № 2. – С. 79–94.
10. Богатырева Г. П., Петасюк Г. А., Базалий Г. А., Шамраева В. С. К вопросу однородности алмазных микропорошков по морфометрическим характеристикам // Сверхтвердые матер. – 2009. – № 2. – С. 71–81.
11. 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. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины. – 2007. – Вып. 10. – С. 212–216.

Поступила 28.05.12

УДК 621.891

М. Н. Сафонова¹, канд. техн. наук, **П. П. Тарасов¹**,
А. С. Сыромятникова², канд. физ.-мат. наук, **А. А. Федотов¹**

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

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

ВЛИЯНИЕ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ФАЗЫ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ОЛОВЯНИСТОЙ БРОНЗЫ

Проанализирована проблема разработки и эксплуатации абразивных инструментов – определение структуры композитных материалов с наполнителями из порошков сверхтвердых материалов. Исследовано влияние добавок алмазных микропорошков на физико-механические свойства порошкового сплава.

Ключевые слова: твердость, плотность, микропорошок, оловянистая бронза, алмазный инструмент.

В настоящее время большой интерес вызывает изучение наноструктурированных материалов, среди которых особое место занимают кластеры углерода.

В Институте сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины разработаны технологические процессы получения из продукта детонационного синтеза фирмы «Алит» нескольких марок синтетических алмазов детонационного синтеза (ДНА) различного функционального назначения [1]. Разнообразие принципиально новых свойств этих материалов позволяет использовать их для качественно новых приложений в различных отраслях промышленности, в том числе при разработке алмазных инструментов.

Одним из перспективным направлений решения этой задачи является применение ДНА для получения металлической матричной композиции буровых коронок, содержащей нанодисперсные алмазы в качестве дисперсно-упрочняющих частиц малого размера [2].

Серийно выпускаемые промышленностью буровые коронки с матрицами, состоят преимущественно из спеченного порошка карбида вольфрама [3]. Несмотря на значительное количество таких коронок, различающихся составом и областями применения, перспективен поиск новых составов матриц, которые будут обеспечивать высокую износостойкость коронок и производительность буровых коронок и алмазных инструментов. К перспективным направлениям относится применение нанодисперсных добавок в качестве дисперсно-упрочняющих частиц малого размера. Введение в материалы небольшого