

УДК 537.528 : 621.762.3

**О.Н. Сизоненко, Н.А. Олейник, Г.Д.Ильницкая, Г.А. Петасюк, Г.А. Базалий,
В.С.Шамраева, А.С. Торпаков, А.Д. Зайченко, Е.В. Липян**
**НОВОЕ В ИЗГОТОВЛЕНИИ МИКРОПОРОШКОВ СИНТЕТИЧЕСКОГО АЛМАЗА С
ПОВЫШЕННОЙ АБРАЗИВНОЙ СПОСОБНОСТЬЮ**

Представлены результаты исследования влияния импульсной обработки высоковольтными электрическими разрядами и адгезионно-магнитного разделения на адсорбционно-структурные характеристики, магнитные свойства, абразивную способность микропорошков синтетического алмаза

Ключевые слова: микропорошки синтетического алмаза, импульсная обработка высоковольтными электрическими разрядами, адсорбционно-структурные характеристики, магнитные свойства, абразивная способность
Табл. 3. Рис. 3. Лит. 9.

**О.М. Сизоненко, Н.О. Олійник, Г.Д. Ільницька, Г.А. Петасюк, Г.А. Базалій, В.С. Шамраєва,
О.С. Торпаков, А.Д. Зайченко, Є.В. Липян**
**НОВЕ У ВИГОТОВЛЕННІ МІКРОПОРОШКІВ СИНТЕТИЧНОГО АЛМАЗУ З
ПІДВИЩЕНОЮ АБРАЗИВНОЮ ЗДАТНІСТЮ**

Наведено результати дослідження впливу імпульсної обробки високовольтними електричними розрядами і адгезійно-магнітного розподілу на адсорбційно-структурні характеристики, магнітні властивості, абразивну здатність мікропорошків синтетичного алмазу

Ключові слова: мікропорошки синтетичного алмазу, імпульсна обробка високовольтними електричними розрядами, адсорбційно-структурні характеристики, магнітні властивості, абразивна здатність

**O. Sizonenko, N. Oliinyk, G. Ilnitskaya, G. Petasuk, G. Bazaliy,
V. Shamraeva, A. Torpakov, A. Zaichenko, Y. Lypian**
**NEW IN MANUFACTURING SYNTHETIC DIAMOND MICROPOWDERS WITH HIGH
ABRASIVE CAPACITY**

The results of study of the effect of high voltage electrical discharge pulse treatment on the adsorption-structural characteristics, magnetic properties and abrasive capacity of synthetic diamond micropowders are presented

Keywords: micropowders of synthetic diamond, pulse treatment of high voltage electrical discharges, adsorption-structural characteristics, magnetic properties, abrasive capacity

Постановка проблемы. Микропорошки синтетических алмазов (СА) применяют для обработки труднообрабатываемых материалов инструментом на металлических и органических связках, пастами и суспензиями. Это позволяет повысить качество, надежность и долговечность обрабатываемых поверхностей. Проблемам создания научных основ изготовления высококачественных микропорошков посвящен ряд работ отечественных ученых, например, работа [1]. Однако до настоящего времени актуально исследование и разработка новых способов, позволяющих повысить качество микропорошков СА.

Анализ последних исследований и публикаций. Сырьем для изготовления микропорошков служит класс крупности -40 мкм, образующийся после классификации и сортировки шлифпорошков, и специально синтезируемые алмазы. Серийное изготовление микропорошков включает тонкое измельчение на электромагнитной мельнице, химическую очистку, многоступенчатую классификацию по размерам в стаканчиковых и суперцентрифугах, сушку и контроль качества порошка. Качество микропорошков характеризуют абразивной способностью, содержанием основной фракции, массовой долей примесей и влаги.

Для получения порошков с повышенной абразивной способностью применяют способы, в основу которых положено многостадийное (не менее 3-х стадий) избирательное измельчение продуктов классификации, а также методы овализации зерен. Повышение абразивной способности обусловлено повышением прочностных характеристик зерен порошка и содержания зерен изометричной формы [1, 2]. Попытки применить импульсную обработку высоковольтными разрядами (ВЭР) для изготовления микропорошков известны с 70-х годов прошлого века [1, 3]. Однако только в последнее время большой интерес приобрел метод измельчения путем создания "плазменного шнура" в суспензии измельчаемых частиц посредством высоковольтного электрического разряда [4-6]. Такая обработка приводит к хрупкопластичной деформации и разрушению частиц порошка. Известно, что импульсная обработка высоковольтными электрическими разрядами позволяет изменять зерновой состав и морфометрические характеристики микропорошков алмаза (шероховатость поверхности) [7].

Применяя методы сортировки порошка по дефектности поверхности, например флотацию, можно выделить фракции порошка с высоким содержанием основной фракции и абразивной способностью [1, 8]. Для сортировки алмазных шлифпорошков нашел применение адгезионно-магнитный (АМ) способ сортировки, который основан на целенаправленном создании контрастности магнитных свойств зерен и последующем их разделении по степени дефектности поверхности в полиградиентном магнитном поле на фракции [9].

Нерешенные части проблемы. В литературных источниках нами не обнаружены результаты систематических исследований влияния способов изготовления, обработки и разделения алмазных микропорошков в силовых полях на характеристики их качества.

Целью работы является исследование влияния обработки ВЭР и АМ способа разделения на характеристики микропорошков алмаза.

Методика проведения исследований. Исследование проведено согласно схеме (см. рис.1) на микропорошках алмаза АСМ 20/14, изготовленных по традиционной технологии, а также порошках АСМ 20/14, изготовленных по традиционной технологии после обработки ВЭР [1].

Обработку ВЭР суспензии порошка в дистиллированной воде при соотношении Т:Ж=1:10 осуществляли в экспериментальном стенде, подробно описанном в [3]. Параметры обработки обеспечивали давление в канале разряда от 260 до 800 МПа, а суммарную энергию обработки - от 425 до 1600 кДж. АМ разделение исследуемых микропорошков в виде 0,5% водной суспензии осуществляли в полиградиентном магнитном поле в экспериментальной электромагнитной установке при силе тока 1 А, 3 А и 5 А, используя металлические шары. Контрастность магнитных характеристик частиц создавали за счет закрепления ионов, содержащих железо, на поверхности частиц. По окончании разделения на четыре продукта, полученные фракции порошков химически очищали, высушивали.

При определении характеристик порошков, исходных и изготовленных с применением ВЭР обработки, были использованы известные ситовой, магнитный и гравиметрический методы. Определение адсорбционно-структурных характеристик порошка проведено путем анализа изотерм низкотемпературной адсорбции азота (газоадсорбционный анализатор NOVA 2200 «Quantachrome», USA).

Определение абразивной способности (А, мг/г), содержания основной фракции (α , %), массовой доли примесей (н.о., %), удельной магнитной восприимчивости ($\chi \cdot 10^{-8}$, м³/кг), удельной площади поверхности ($S_{БЭТ}$, м²/г), адсорбционного потенциала ($A_{п.}$, Дж/м²), удельного объема пор ($V \cdot 10^{-3}$, см³/г), выхода фракций порошка от разделяемой массы (γ , %) дефектности поверхности в виде коэффициента поверхностной активности (K_a , %) проводили по методикам [9]. Определение морфометрических характеристик проводили на приборе DiaInspect.OSM.

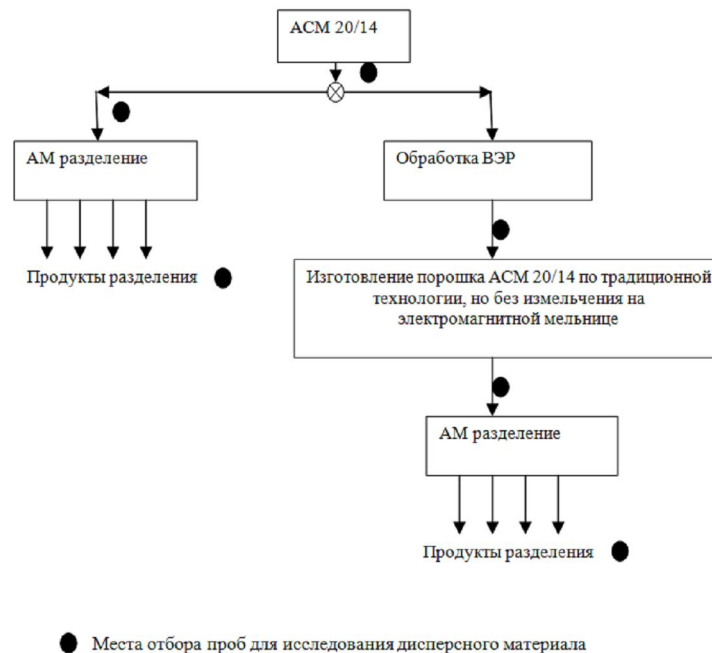


Рис. 1. Схема подготовки образцов материала для исследования

Основные результаты исследования. Распределение частиц порошка до и после обработки ВЭР представлено на рис.2.

Как следует из рис.2, импульсная обработка ВЭР приводит к изменению распределения по крупности частиц исходного порошка (кривая 1). С увеличением выделенной в процессе обработки энергии распределение смещается в область более мелких размеров (кривая 2, 3).

Полученные результаты согласуются с результатами исследования влияния ВЭР обработки на характеристики порошковых композиций [5]. Результаты могут быть объяснены тем, что несплошности структуры имеют большое значение в разрушении частиц порошка. Дефекты, пористость, наличие примесей в частицах порошка в процессе их циклического нагружения при обработке ВЭР инициируют образование трещин .

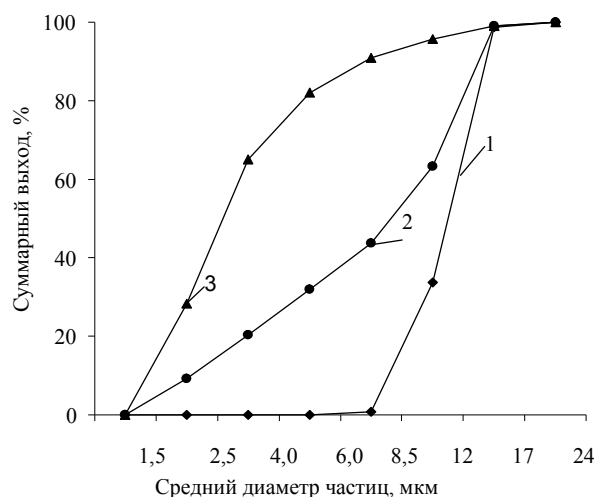


Рис. 2 Распределение по крупности частиц алмаза порошка марки АСМ 20/14
1 – исходный порошок; 2 – после импульсной обработки ВЭР при 425 кДж; 3 – после импульсной обработки ВЭР при 1560 кДж

Характеристики микропорошка АСМ 20/14 исходного и изготовленного после обработки ВЭР по традиционной технологии, но без измельчения, представлены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики микропорошка АСМ 20/14 исходного и изготовленного после обработки ВЭР по традиционной технологии, но без измельчения

Способ изготовления	Характеристики								
	А, мг/г	α, %	н.о., %	$\chi, \cdot 10^{-8}, \text{ м}^3/\text{кг}$	$S_{\text{БЭТ}}, \text{ м}^2/\text{г}$	$A_{\text{п.}}, \text{ Дж}/\text{м}^2$	$V, \cdot 10^{-3}, \text{ см}^3/\text{г}$	Ка, %	
Традиционная технология	4,84	67	0,57	9,3	1,74	0,80	2,40	1,35	
Обработка ВЭР + традиционная технология	5,54	70	0,3	2,0	1,83	0,92	5,75	1,45	

Как видно из результатов, представленных в табл.1, абразивная способность и содержание основной фракции порошка, полученного с применением обработки ВЭР, возрастают на 14,5 % и 4,5 %, соответственно, массовая доля примесей снижается на 47,4 % в сравнении с исходным порошком. Применение обработки ВЭР приводит к увеличению удельной площади поверхности, адсорбционного потенциала, возрастанию пористости, снижению удельной магнитной восприимчивости.

Определение морфометрических характеристик порошка до и после обработки, результаты которого приведены в таблице 2, показало, что в результате обработки порошок представлен частицами с повышенной шероховатостью и развитой поверхностью. Механизм процесса измельчения порошка алмаза при обработке ВЭР изучен еще недостаточно. По нашему мнению значительное уменьшение размеров частиц, снижение содержания включений, повышение шероховатости в результате обработки ВЭР можно объяснить циклическим воздействием ударных волн, которые формируется при высоковольтном разряде

Таблица 2. Средние значения морфометрических характеристик формы, шероховатости и площади поверхности частиц исходного порошка АСМ 20/14 и порошка после импульсной обработки ВЭР при суммарной энергии 1600 кДж

Название характеристики	Обозначение	Способ изготовления микропорошка АСМ 20/14	
		Обработка ВЭР + традиционная технология, но без измельчения	Традиционная технология
Компактность (форм-фактор)	C_r	1,3272	1,3067
Эллиптичность	E	1,3763	1,3743
Шероховатость	R_g	1,0561	1,0522
Внешняя удельная поверхность	Фуд., м ² /кг	392,54	385,38

между погруженными в жидкость электродами. При взаимодействии частицы порошка и фронта ударной волны в объеме частицы формируется напряженное состояние. Растягивающие напряжения вызывают развитие микротрещин, на их поверхности абсорбируются молекулы жидкости, которые не позволяют смыкаться краям микротрещин. Это способствует измельчению, а также механохимической активации поверхности частиц. Если напряжения не превышают прочность материала, происходит накопление усталостных напряжений и последующее разрушение, в первую очередь, слабых дефектных зерен.

При воздействии ВЭР в жидкости также возникают мощные гидротоки и объемная микрокавитация, которые способствуют измельчению частиц. Одновременно с этим происходит локальное разложение воды плазменным каналом разряда с образованием возбужденных и ионизированных атомов водорода и кислорода, которые приводят к окислительно-восстановительным реакциям на поверхности частиц. Поверхность частиц активируется за счет очищения поверхности от примесей, и от нарушения структуры поверхностного слоя, который способствует увеличению шероховатости поверхности частиц, возрастает адсорбционный потенциал и пористость частиц порошка, повышается абразивная способность порошка.

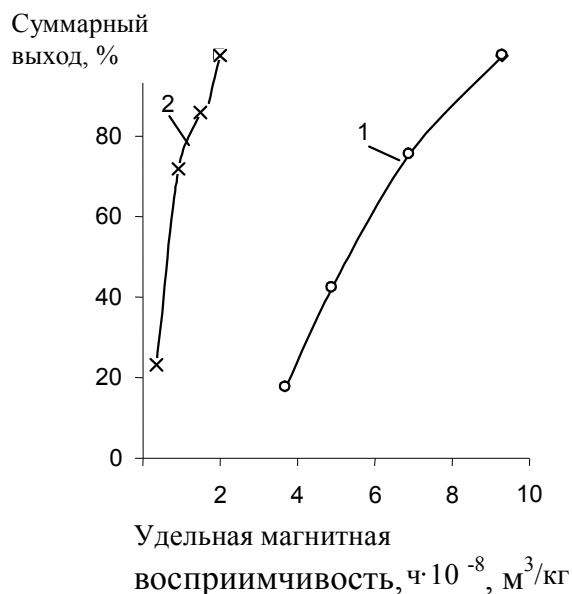


Рис. 3. Распределение частиц алмаза микропорошка АСМ 20/14 в соответствии с магнитными свойствами по результатам АМ разделения:

1 – исходный порошок, 2 – порошок, полученный с применением обработки ВЭР

Разделение исследуемых микропорошков (исходного и после обработки ВЭР) с адсорбированными ионами железа в магнитном поле позволило получить распределение частиц порошков в соответствии с их магнитными свойствами, в частности, удельной магнитной восприимчивостью χ (см. рис. 3) и выделить четыре фракции микропорошков, различающиеся по своим характеристикам (см. табл. 3).

Из рис. 3 видно различие магнитных характеристик порошков полученных различными способами. Полученные распределения частиц микропорошка АСМ 20/14, позволяют определить количество порошка с заданной удельной магнитной восприимчивостью, которое можно выделить в зависимости от способа разделения.

Таблица 3. Характеристики микропорошков АСМ 20/14, изготовленных различными способами

Способ изготовления	№ фракции	Характеристики					
		γ , %	$\chi \cdot 10^{-8}$, м ³ /кг	A, мг/г	α , %	н.о., %	Ка, %
традиционная технология + АМ разделение	1	17,6	3,7	5,12	70	0,30	1,20
	2	24,7	5,7	5,05	68	0,37	1,29
	3	33,1	9,5	4,75	65	0,56	1,42
	4	24,6	16,7	4,55	63	0,60	1,42
	Исходный порошок	100,0	9,3	4,84	67	0,57	1,35
+ обработка ВЭР+ традиционная технология, но без измельчения + АМ разделение	1	23,2	0,35	6,00	73	0,05	1,33
	2	48,6	1,2	5,75	70	0,1	1,42
	3	14,0	4,4	5,50	69	0,33	1,60
	4	14,2	5,1	4,11	62	0,39	1,60
	Исходный порошок	100,0	2,0	5,54	70	0,3	1,45

Анализируя характеристики фракций микропорошка, полученного с помощью АМ разделения и сравнивая их с характеристиками исходного порошка видно, что применение обработки ВЭР, а также последовательное применение обработки ВЭР и АМ разделения позволяет существенно улучшить качество микропорошков алмаза (табл. 3). Выход порошка с характеристиками качества выше, чем порошка, поступающего на разделение, зависит от способа изготовления порошка. Для порошка, изготовленного по традиционной технологии с АМ разделением, выход составляет 42,3 %, для порошка изготовленного после обработки ВЭР и АМ разделения – 71,8 %.

Выводы. Экспериментально установлено, что применение обработки ВЭР в технологии изготовления микропорошков позволяет улучшать характеристики качества микропорошков (абразивную способность, содержание основной фракции, содержание примесей) приводит к увеличению значений адсорбционно-структурных характеристик. Последующее применение АМ разделения позволяет дополнительно улучшить характеристики качества микропорошков.

1. *Никитин Ю.И.* Порошки и пасты из синтетических алмазов / Ю.И.Никитин, С.М Уман., Л.В. Коберниченко, Л.М. Маргынова. – К.: Наук. думка, 1992. – 284 с.
2. Патент на корисну модель № 42050, Україна, МПК В24Д 3/06, С01В 31/06. Спосіб виготовлення мікропорошків синтетичного алмазу / Г.П. Богатирьова, Г.Д. Ільницька, М.А. Марініч, та ін. Опубл. 25.06.2009. Бюл. № 12.
3. *Никитин Ю.И.* Технология изготовления и контроль качества алмазных порошков / Ю.И. Никитин – К.:Наук.думка, 1984. – 264 с.
4. *Сизоненко О. Н.* Разрядно-импульсная технология абразивных материалов / О.Н. Сизоненко, П.П. Малюшевский, Г. Г. Горovenko // Основные проблемы разрядноимпульсной технологии. – К.: Наук. думка, 1980. – С. 12–20.
5. *Райченко А. И.* Анализ изменения состояния порошковых композиций при электроразрядном воздействии (обзор) / А.И. Райченко, О. Н. Сизоненко, А. В. Деревянко и др. // Вісник українського матеріалознавчого товариства: Науково-технічний журнал. – 2012. – Вип. № 1 (5) – С.49–56.
6. *Макклиток Ф.* Деформация и разрушение материалов / Ф. Макклиток, А. Аргон. – М.: Мир, 1970. – 443 с.
7. *Сизоненко О.Н.* Влияние высоковольтных импульсных разрядов на морфометрические характеристики алмазных микропорошков / О.Н. Сизоненко, Г.П. Богатырева, А.Л. Майстренко, Н.А.Олейник и др. // Вісник українського матеріалознавчого товариства: Науково-технічний журнал. – 2010. – Вип. 3. – С. 23 – 32.
8. Синтез, спекание и свойства сверхтвердых материалов: Сб. науч. тр. / Отв. ред. Н.В. Новиков. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2005. – 255 с.
9. Методические рекомендации по изучению физико-химических свойств СТМ / Под ред. Г.П.Богатыревой. – К.: ИСМ АН Украины, 1992. – 40 с.

© О.Н. Сизоненко, Н.А. Олейник, Г.Д. Ильницькая, Г.А. Петасюк, Г.А. Базалий, В.С. Шамраева, А.С. Торпаков, А.Д. Зайченко, Е.В. Липян