

УДК 621.891

**ИССЛЕДОВАНИЕ НА ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
НЕВОСТРЕБОВАННЫХ ПОРОШКОВ ПРИРОДНОГО АЛМАЗА**© 2020 М.Н. Сафонова<sup>1</sup>, О.С. Олесова<sup>2</sup><sup>1</sup> Северо-Восточный федеральный университет им. М.К.Аммосова, г. Якутск, Россия<sup>2</sup> Якутский сельскохозяйственный техникум, г. Якутск, Россия

Статья поступила в редакцию 02.12.2020

Переработка технических алмазов сводится к извлечению из них кондиционных порошков различных классов зернистости. В настоящее время глубина такой переработки ограничивается мелкозернистыми микронными и субмикронными порошками, которые в результате попадают в разряд отходов. В действительности же это полноценные и пригодные для использования алмазные порошки. Однако в силу отмечавшихся выше причин они сейчас и возможно на неопределенное время оказались не востребуемыми, к тому же еще и с тенденцией к накоплению. В статье рассмотрена проблема решения вопроса использования не востребуемых порошков природного алмаза, и исследованы перспективы их использования.

*Ключевые слова:* алмазный порошок, природные алмазы, мелкодисперсные порошки, технические алмазы, алмазный инструмент.

DOI: 10.37313/1990-5378-2020-22-6-27-30

**ВВЕДЕНИЕ**

Технология переработки природных алмазов включает предварительное разделение (сортировку) их на ювелирные и технические [1]. На финишной стадии этой операции образуется остаток алмазного порошка, дальнейшая переработка которого в силу тех или иных причин (главным образом экономического характера, конъюнктурой рынка) нецелесообразна. В действительности же это полноценные и пригодные для использования алмазные порошки. К ним добавляются и мелкодисперсные порошки, появляющиеся при сортировке алмазного сырья на ювелирные и технические алмазы, а также при раскалывании, обдирке и распиловке ювелирных алмазов на операции их огранки [2].

Поэтому актуальной является задача вовлечения этих не востребуемых (неходовых) порошков природного алмаза (НППА) в сферу экономически выгодного практического использования, в частности в шлифовальном инструменте и пастах. Именно в этом и состояла цель настоящей работы.

Одним из направлений в решении данной проблемы является проведение научно-исследовательских и экспериментальных работ по компактированию НППА методом его спекания в газотермическом реакторе установки физико-химического синтеза при

температуре 1100° – 1200° С и давлении ниже атмосферного с последующим изготовлением из полученных компактов шлифпорошков всей гаммы зернистостей – от 630/500 до 50/40 и –40 мкм. У авторов имеется практический опыт решения подобной задачи для неходовых зернистостей микронных и субмикронных порошков синтетического алмаза кубического нитрида бора [3]. С учетом этого в Институте сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины (ИСМ) были проведены работы по получению достаточно прочных компактов, пригодных для изготовления шлифпорошков, разработке технологических схем изготовления компактов на опытной установке, избирательного их дробления, классификации и сортировки изготовленных шлифпорошков. Результаты выполненных работ будут содействовать комплексному решению проблемы вовлечения в сферу практического использования накопившихся НППА.

С целью изучения перспектив и путей решения проблемы использования в инструментальном производстве шлифпорошков из компактированных НППА были определены их физические свойства, элементный состав примесей, морфометрические и эксплуатационные характеристики. Исследовались также морфометрические и эксплуатационные характеристики изготовленных из компактированных НППА шлифпорошков. Физико-химические исследования проводились на имеющемся в ИСМ современном оборудовании с использованием разработанных оригинальных методик, а также методик действующих стандартов.

*Сафонова Мария Николаевна, кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой «Прикладная математика». E-mail: marisafon\_2006@mail.ru*  
*Олесова Ольга Семеновна, преподаватель.*

## МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИСХОДНЫХ НППА

Исследовались три образца НППА. Два из них (НППА-1, НППА-2) представляли собой продукты переработки природного алмаза. Третий образец (НППА-3) был получен из образца НППА-1 путем дополнительной его химической очистки. Общее содержание примесей и включений в исследуемых образцах НППА и их элементный состав измеряли методом микроанализа на базе растрового электронного микроскопа EVO 550 XVP фирмы „ZEISS” (Германия), укомплектованного энергодисперсионным анализатором рентгеновских спектров INCA 450 с детектором INCA Penta FETx3 450 рабочей площадью 30 мм<sup>2</sup> и системой HKL CHANNEL-5 для дифракции отраженных электронов фирмы „Oxford” (Великобритания). На этом же микроскопе получали РЭМ-фотографии исследуемых образцов НППА. Результаты этих исследований приведены в таблице 1 и на рис. 1. С использованием прибора типа „Магнит” методом Фарадея определяли удельную магнитную восприимчивость  $\chi$ . Определялось также удельное электросопротивление  $\rho$ . Методы определения этих характеристик описаны в работах [4, 5]. По методике стандартов [6,7] проводили испытания на абразивную способность.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИСХОДНЫХ НППА

Полученные результаты для образцов НППА-1 и НППА-2 согласуются с данными для микро- и ультрадисперсных порошков природного алмаза [4]. Анализ данных табл. 1 показывает, что общее содержание примесей и включений в образцах исходных НППА находится на уровне 1% или незначительно превышает его. Это говорит о приемлемом уровне чистоты НППА.

На примере образца НППА-1 это небольшое количество примесей путем химической очистки убирается (образец НППА-3). Наличие кислорода можно объяснить присутствием на поверхности алмазных зерен карбонильных и

гидроксильных групп, а также адсорбированной из воздуха влаги. Сопутствующим этому фактором является большая развитость поверхности, которая характерна для мелкодисперсных алмазных порошков, включая и порошки субмикронного диапазона. На РЭМ-фотографиях образцов НППА (рис. 1) четко видны как зерна до 2–3 мкм, так и более мелкие зерна (0,1 мкм и мельче), причем в процентном отношении количество мелких зерен превалирует.

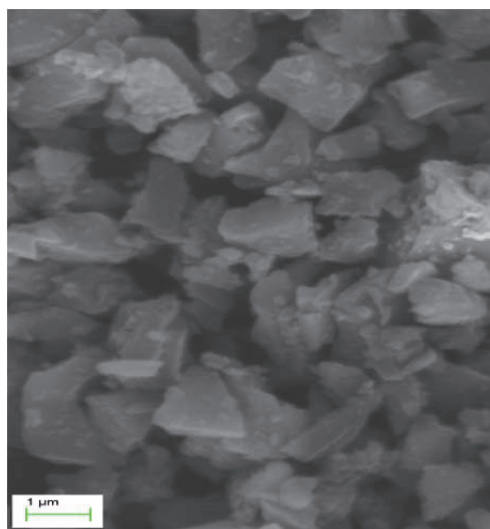


Рис. 1. РЭМ-фотография НППА-3 (образец 1) при увеличении  $\times 25000$

По технологии ИСМ из порошка НППА-1 были выделены фракции 7/5, 3/2 и субмикропорошок с преобладанием фракций 1/0 и 0,5/0 (до 5%). Затем были проведены исследования физических и эксплуатационных свойств как полученных микро- и субмикропорошков, так и исходного продукта НППА-1. Результаты этих исследований представлены в табл. 2.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для сравнения в табл. 2 приведены заимствованные из [8] значения абразивной способности наиболее близких по зернистости аналогов среди стандартных микропорошков синтетического алмаза марки АСМ. Уменьшение удельной магнитной восприимчивости  $\chi$  и

Таблица 1. Химический состав образцов исходных (1, 2) и очищенных (3) ОГП

Номер образца	Содержание химических элементов, весовые %				Итого
	C	O	Si	Fe	
ОГП-1	96,30	2,64	0,70	0,36	100,00
ОГП-2	97,49	2,12	0,39	--	100,00
ОГП-3 (очищенный)	95,45	4,55	--	--	100,00

**Таблица 2.** Физико-геометрические и эксплуатационные характеристики образца НППА-1, выделенных из него микро- и субмикророшков и наиболее близких по зернистости аналогов среди стандартных микророшков синтетического алмаза марки АСМ

Наименование	Характеристики				Абразивная способность	
	размер частиц, мкм	$\chi$ $10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$	$\rho$ , Ом·м	несгораемый остаток, %		
НППА-1	40 – 0	62,1	$83,1 \cdot 10^9$	5,7	2,86	3,6 (АСМ 60/40) – 1,5 (АСМ 5/3)
фракция 7/5	7 – 0	64,0	$50,2 \cdot 10^9$	3,1	1,9	2,0 (АСМ 7/5)
фракция 3/2	3 – 0	73,7	$5,0 \cdot 10^9$	2,9	0,57	0,0 (АСМ 3/2)
субмикро- порошок (УДПА)	3 – 0, с преобладанием фракций 1/0 и 0,5/0 (до 5%)	80	$3 \cdot 10^9$	2,1	не дали съема	–

увеличение удельного электросопротивления  $\rho$ , фракций 3/0 и 1/0 видимо является следствием присутствия в этих фракциях частиц железа, наличие которого (0,36 массовых %) подтверждается данными, табл.1. Полученные результаты свидетельствуют о том, что исследованные микророшки 7/5, 3/2 и субмикророшки по зерновому составу и содержанию примесей соответствует требованиям стандартов [6,7] на алмазные порошки. Исследование размерных, геометрических и морфологических (совокупно морфометрических) характеристик на приборе DiaInspect.OSM фирмы VOLLSTADT DIAMANT GmbH [9], показали, что в составе порошка преобладают зерна осколочной формы. Такая форма зерен характерна для порошков природного алмаза. По абразивной способности исследованные микророшки соответствуют марке АСМ.

### ВЫВОДЫ

Для опосредованной оценки размера зерен фракции субмикророшки была измерена их полная удельная поверхность. Измерение проводили на приборе «Avtosorb» методом низкотемпературной адсорбции. По полученной величине этой поверхности ( $S_{\text{БЕТ}} = 5,5 \text{ м}^2/\text{г}$ ) и исходя из зерна в форме сферы определяли эквивалентный диаметр зерен. Он оказался равным  $d \approx 2,86 \text{ мкм}$ . Как показано в [10], 3D модель зерна порошков природного алмаза в форме сферы дает более чем в два раза заниженное значение удельной поверхности. Поэтому полученное оценочное значение  $d$  должно быть уменьшено, по крайней мере, в два раза. С учетом этого получаем окончательное оценочное значение среднего размера зерен  $d \approx 1,43 \text{ мкм}$

На основании проведенных исследований можно констатировать, что представленный субмикронный образец НППА пригоден для изготовления из него компактов методами физико-химического синтеза при атмосферном давлении или поликристаллов при высоких давлениях и температуре.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маршинцев В.К., Дудко Е.А. Технические алмазы и производство алмазного инструмента в РС (С) // «Кундэл» (Научно-информационный сборник НИИЦ алмазов): Якутск, 2003. С. 21–24.
2. Исследование зернового состава и морфологических характеристик шлифпорошков синтетического и природного алмаза / М.Н. Сафонова, Г.А. Петасюк, А.С. Сыромятникова, А.А. Федотов // Сверхтвердые материалы. 2011. №4. С. 78–89.
3. Целенаправленное получение композиционных алмазных материалов с углеродной связкой и дифференциальными свойствами / Н. В. Новиков, Ю. И. Никитин, В. Г. Полторацкий и др. // Сверхтвердые материалы. 1995. №3. С. 13–19.
4. Синтез алмазов / Н. В. Новиков, Д. В. Федосеев, А. А. Шульженко, Г. П. Богатырева. Киев: Наук. думка, 1987. 160 с.
5. Физические свойства алмаза / Под ред. Н. В. Новикова. Киев: Наук. думка, 1987. 187 с.
6. ДСТУ 3292–95. Порошки алмазні синтетичні. Загальні технічні умови. – Введ. 01.01.1996.– Київ: Держстандарт України, 1995. 71 с.
7. ГОСТ 9206-80. Порошки алмазные. Технические условия – М.: Из-во стандартов, 1981.
8. Порошки и пасты из синтетических алмазов / Ю.И. Никитин, С.М. Уман, Л.В. Коберниченко и др. Киев: Наук. думка, 1992. 284 с.

9. List E., Frenzel J, Vollstadt H. A new system for single particle strength testing of grinding powders // Industrial diamond review. 2006. №1. P. 42–47.
10. Сафонова М.Н., Петасюк Г.А. Количественный анализ адекватности 3D моделей зерна порошков природного алмаза // Материаловедение. 2013. №5. С. 13.

## RESEARCH OF USING UNCLAIMED NATURAL DIAMOND POWDERS ON THE PROSPECTS

© 2020 M.N. Safonova<sup>1</sup>, O.S. Olesova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk, Russia

<sup>2</sup>Yakutsk Agricultural College, Yakutsk, Russia

The processing of industrial diamonds is reduced to the extraction of conditioned powders of various grain sizes from them. At present the depth of such processing is limited to the fine-grained micron and submicron powders; as a result, which fall into the waste category. In reality, these are complete and usable diamond powders. However, due to the above mentioned reasons, they may be unclaimed for an indefinite period of time at the moment, and moreover with a tendency to accumulate. The article deals with the problem of using unclaimed natural diamond powders and explores the prospects for their use.

*Keywords:* diamond powder, natural diamonds, fine powders, industrial diamonds, diamond tool.

DOI: 10.37313/1990-5378-2020-22-6-27-30