

УДК 621.921.34-2

**Н. В. Новиков**, акад. НАН Украины, **Г. П. Богатырева**, д-р техн. наук, **Ю. И. Никитин**,  
**Г. А. Петасюк**, кандидаты технических наук, **В. Г. Полторацкий**

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

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО РАЗРАБОТКЕ СПОСОБОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ШЛИФПОРОШКОВ ИЗ СИНТЕТИЧЕСКИХ АЛМАЗОВ ОДНОРОДНОГО ЗЕРНОВОГО СОСТАВА С ПОВЫШЕННЫМИ АБРАЗИВНЫМИ СВОЙСТВАМИ И ПРОЧНОСТЬЮ**

*The methods and technological scheme of production of special grinding powders (AC6 and AC15) of demand grit sizes are presented in this article. These powders possess high strength and high abrasive properties in combination with high content of main fraction as well as high uniformity of grit composition. Optimal operating regimes for non-standard equipment have been chosen, sieves with narrow module ( $m = 1.189$ ) have been applied. According to suggested technology the initial product to produce grinding powders is concentrated product of diamond synthesis as well as composite compacts from undersize particles including ultradispersed diamond (UDD). The diamond grinding powders produced according to this technological scheme are recommended to produce numerous nomenclature of grinding and polishing tools including single-layer tools.*

Специалистами ИСМ НАН Украины выполнен комплекс научно-исследовательских работ и разработаны способы [1; 2] изготовления шлифпорошков из синтетических алмазов (АС) однородного зернового состава с повышенными абразивными свойствами и прочностью. В основу научно-технических разработок было положено применение высокоэффективных аппаратов для избирательного дробления, сортировки, воздушной и ситовой классификаций, а также плетеных проволочных сит с различными модулями и формами отверстий ситового полотна [1; 2].

Разработана рациональная схема переработки исходных алмазов на примере марок АС6 и АС15. Такая схема обеспечивает изготовление дефицитных высококачественных шлифпорошков зернистостью 160/125–63/50 с помощью сит узкого диапазона: 150/125–75/63. Для контроля качества исходных, промежуточных и конечных продуктов применяли методики определения зернового состава ситовым анализом, размеров, геометрических параметров и однородности алмазных зерен, абразивных характеристик и прочности порошков, их площади удельной поверхности, насыпной плотности с утряской и при свободной засыпке, сыпучести (коэффициентов текучести). Основная задача исследований заключалась в достижении максимальной однородности зерен, которая является важным признаком качества шлифпорошков АС и коррелирует с их прочностью.

Результаты исследований показали [3; 4], что обобщенный показатель однородности шлифпорошков АС составляет 0,52–0,64. Такие порошки наиболее однородны по максимальному линейному размеру зерен (0,68–0,80), а наименее однородны по прочности при статическом сжатии зерен (0,33–0,52). Однородность по коэффициенту формы зерен занимает промежуточное положение и составляет 0,43–0,68. При сравнении двух шлифпорошков СА как дисперсных материалов более качественным будет тот, однородность которого ближе к единице, поскольку однородность идеально однородного порошка принята равной единице.

Важным для понимания сущности разработанного в ИСМ НАН Украины системно-критериального метода количественной оценки однородности и созданной на его основе методики [3] является тот факт, что методика не предписывает использование исключительно обобщенного показателя однородности, т. е. полного (по всем базовым характеристикам) ее

анализа. В зависимости от конкретной ситуации и поставленных задач можно частично анализировать однородность, т. е. использовать частные показатели [4].

Следует отметить, что определять прочность алмазных шлифпорошков по стандартным методикам сложно. Для анализов требуется много времени и, что наиболее существенно, дефицитные, дорогостоящие установки (приборы). С использованием созданных в ИСМ НАН Украины методических и программных средств получены эмпирические математические модели и разработана методика [5] расчета статической прочности шлифпорошков СА всех марок по среднему объему зерен ( $V_c$ , мкм<sup>3</sup>) и насыпной плотности ( $\rho$ , г/мкм<sup>3</sup>) для большинства стандартных зернистостей (ДСТУ 3292-95). Относительная погрешность расчета статической прочности шлифпорошков не превышает 8 % при допустимом согласно стандарту относительном случайном отклонении результатов расчета до 20 %. Методика косвенного определения статической прочности, разработанная на основе математических моделей, позволяет идентифицировать марку шлифпорошка СА без разрушения алмазных зерен. Например, установленная связь статической прочности  $P$  шлифпорошка зернистостью 160/125 с его насыпной плотностью  $\rho$  и средним объемом зерен  $V_c$  выражается зависимостью:

$$P = \left[ 0,4335\sqrt{V_c} - 0,1323\rho^2\sqrt{\rho} \right]^{-1} \quad (1)$$

Несмотря на то, что шлифпорошки марок АС6 и АС15 существенно отличаются по прочности и абразивным свойствам, перерабатывать их можно по единой технологической схеме благодаря универсальности применяемого оборудования, обеспечивающего изменение его рабочих параметров в широком диапазоне [6].

Рекомендуемая схема комплекса аппаратов для изготовления дефицитных зернистостей шлифпорошков марок АС6, АС15 с высокой однородностью свойств и повышенными прочностными и абразивными свойствами показана на рис. 1.

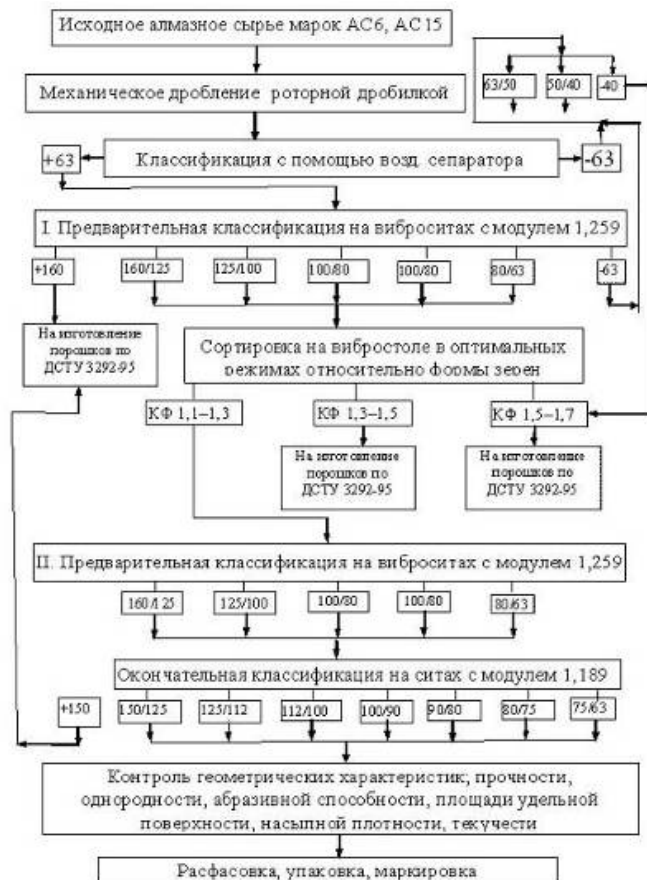


Рис. 1. Технологическая схема изготовления шлифпорошков марок АС6, АС15 с высокой однородностью свойств и повышенными абразивными свойствами и прочностью.

В результате исследований установлено, что наиболее эффективным аппаратом для дробления синтетических алмазов при производстве шлифпорошков является дробилка роторного типа. Согласно этому принципу в ИСМ НАН Украины с учетом недостатков применяемых ранее роторных дробилок разработана и изготовлена универсальная дробилка непрерывного действия, предназначенная для дробления и корректировки формы зерен синтетических, природных алмазов и других твердых и хрупких материалов [7].

Роторная дробилка предложенной конструкции полностью удовлетворяет условия дробления алмазов для получения шлифпорошков с заданными свойствами, а именно избирательности и управляемости процесса дробления, т. е. высокой производительности и непрерывности процесса дробления и, как следствие, низкой трудоемкости передела.

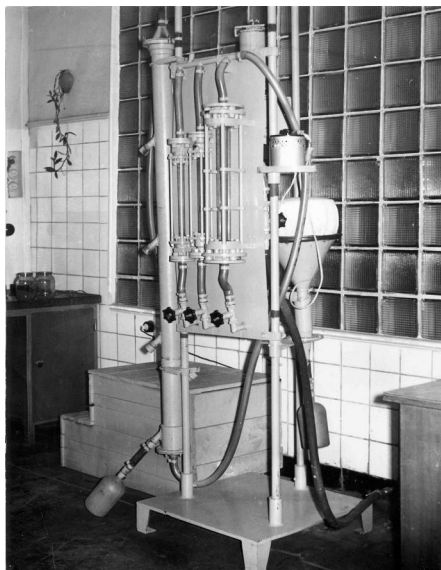


Рис. 2. Внешний вид воздушного сепаратора ВК-100 конструкции ИСМ

Продукты дробления роторной дробилки классифицируют с помощью воздушного сепаратора с псевдооживлением ВК-100 (рис. 2) на классы  $\pm 63$  мкм [8].

Псевдооживлением называется превращение слоя сыпучего материала в псевдогомогенную систему под воздействием потока сжижающего агента (в рассматриваемом случае воздуха). Псевдооживленный слой алмазного порошка приобретает некоторые свойства капельной жидкости, в частности текучесть.

Принцип классификации заключается в том, что в псевдооживленном слое сепаратора осуществляется агрегация частиц различной крупности: более крупные частицы концентрируются в нижней части, мелкие накапливаются в верхней, откуда выносятся из слоя.

Основным узлом аппарата конструкции ИСМ НАН Украины является классификационная колонна диаметром 100 и высотой 1800 мм, внутри которой расположены сетчатые тарелки. В нижней части колонны находится пористая распределительная перегородка, через которую подводится сжижающий агент (воздух). Исходный продукт с помощью герметического вибрационного питателя и системы пневмотранспорта непрерывно подается в среднюю часть колонны и распределяется на две фракции: мелкую, выносимую воздушным потоком из колонны и улавливаемую специальным устройством, и крупную, выгружаемую в герметичный сборник из нижней части колонны. Устройство для улавливания мелкого продукта состоит из циклона и установленного за ним рукавного фильтра. Порошок класса +63 мкм поступает в приемный бункер, расположенный в нижней части классификационной колонны сепаратора.

Установлено, что содержание порошка класса  $-63$  мкм в продуктах механического дробления в зависимости от марки алмаза составляет 10–15 %. Наличие в крупном продукте мелких частиц значительно затрудняет, а иногда делает невозможным рассев шлифпорошков на ситах на зернистости, поэтому целесообразно предварительно отделить от продукта дробления мелкий порошок класса  $-63$  мкм.

При разделении продукта дробления по граничному зерну 63 мкм оптимальная скорость воздушного потока в сепараторе классификатора составляет 4–5 м/ч.

После классификации с помощью воздушного сепаратора порошок класса +63 мкм поступает для предварительной классификации с помощью сит с модулем ячеек ситового полотна 1,259 в целях разделения шлифпорошков на дефицитные зернистости 160/125, 125/100, 100/80, 80/63.

Для классификации исходных продуктов по зернистости шлифпорошков, пригодных для достижения поставленной цели, применяли вибросита конструкции ИСМ НАН Украины (рис. 3), в которых вибрация осуществляется с помощью эксцентрикового механизма [9].

Принцип работы вибросита заключается в эллипсоидальном движении стола с комплектом сит и одновременным периодическим поворотом их на строго определенный угол, что способствует рациональному использованию ситового полотна за счет равномерного распределения порошка на рабочих поверхностях сит. При этом обеспечиваются также более высокая производительность и качество отсева. Комплект сит, ось которых перемещается по заданному контуру, дважды за один цикл перемещается и сталкивается с ударниками, которые ударяют по ситам поочередно с двух противоположных сторон (сила удара постоянна). Такая конструкция позволяет повысить качество отсева зерен по размерам и обеспечить совпадение результатов [10].

В Украине для отсева алмазных порошков используют проволочные сита, размеры которых рассчитаны по ряду предпочтительных чисел, представляющему собой геометрическую прогрессию со знаменателем  $\sqrt[10]{10} = 1,259$ . Аналогично построена шкала сит по стандартам Германии и Франции, однако она существенно отличается от стандартов Великобритании и США, имеющих знаменатель  $\sqrt[4]{2} = 1,189$  [11].

В процессе исследований были установлены оптимальные режимы классификации на виброситах предварительных и окончательной классификаций. Шлифпорошки каждой зернистости, полученные после первой предварительной классификации, подвергаются сортировке с помощью вибрационного стола конструкции ИСМ НАН Украины. В результате получают три класса шлифпорошков с коэффициентом формы  $K_{\phi}$ , равным 1,1–1,3; 1,3–1,5; 1,5–1,7.

При сортировке с помощью вибростала угол наклона его деки составляет в среднем 10–15° относительно направления колебаний. Напряжение вибратора деки составляет 90–100 В, напряжение, подаваемое на вибратор питателя, – 70–90 В.

Фракция шлифпорошков с  $K_{\phi} = 1,3–1,5$  может использоваться для изготовления шлифпорошков по стандарту ДСТУ 3292-85, фракция с  $K_{\phi} = 1,5–1,7$  – для изготовления инструментов с ориентированными зернами или последующего дробления, измельчения и изготовления микропорошков, фракция с  $K_{\phi} = 1,1–1,3$  подвергается второй предварительной классификации на виброситах с модулем отверстий ячеек сит 1,259 в целях устранения закрупления и замельчения шлифпорошков. Полученные продукты отсева направляются для окончательной классификации на вибросита с модулем отверстий ячеек сит 1,189, после чего достигаются необходимая высокая однородность шлифпорошков данных зернистостей, высокая основная фракция, повышенные абразивные свойства и прочность, максимальная насыпная плотность, минимальные коэффициент текучести и площадь удельной поверхности. Для определения насыпной плотности алмазных шлифпорошков используют приборы (волюмометры) различной конструкции со свободной засыпкой и уплотнением. Насыпная плотность  $\text{г/см}^3$  определяется по формуле:

$$\gamma_n = \frac{m}{V}, \quad (2)$$

где  $m$  – масса навески порошка, г;  $V$  – объем навески,  $\text{см}^3$ . Для определения насыпной плотности при свободной засыпке предварительно взвешенную емкость известного объема пол-



Рис. 3. Общий вид вибросита конструкции ИСМ НАН Украины

ностью заполняют порошком. Избыток срезают линейкой (шпателем), емкость с навеской взвешивают.

В результате исследований на различных типах оборудования, предусмотренных схемой цепи аппаратов, по подбору оптимальных параметров при переработке исходного алмазного сырья различных партий, соответствующих режимов синтеза, применения сит с модулем 1,189, всестороннего анализа и контроля качества была получена конечная продукция – шлифпорошки узкого диапазона с высоким содержанием зерен основной фракции (табл. 1). При окончательной классификации по предложенной схеме получены продукты отсева зернистостей 160/125, 125/112, 112/100, 100/90, 90/80, 80/75, 75/63, рекомендуемых для однослойного инструмента, подвергали контролю зернового состава на стандартных контрольных ситах с модулем 1,259.

Таблица 1. Зерновой состав шлифпорошков марок АС6 и АС15, получаемых после всех стадий классификации на ситах с различным модулем  $m$ .

Марка микропорошка и зернистость, мкм	Содержание зерен по фракциям, %			
	Крупной	Основной	Мелкой	Средний размер зерна, мкм
Первая предварительная классификация, $m = 1,259$				
АС6 160/125	9	63	28	142,0
АС15 160/125	8	65	27	143,0
АС6 125/100	10	62	28	112,5
АС15 125/100	9	64	27	112,5
АС6 100/80	9	61	30	90,0
АС15 100/80	7	62	31	90,0
АС6 80/63	10	60	30	71,0
АС15 80/63	9	63	28	72,0
Вторая предварительная классификация, $m = 1,259$				
АС6 160/125	6	83	11	
АС15 160/125	5	85	10	
АС6 125/100	6	82	12	
АС15 125/100	6	83	11	
АС6 100/80	7	81	12	
АС15 100/80	6	82	12	
АС6 80/63	8	80	12	
АС15 80/63	8	81	11	
Окончательная классификация, $m = 1,189$				
150/125	0	90	10,0	137,5
150/125	0	91	9,0	137,5
112/100	0	91	9,0	106,0
112/100	0	92	8,0	107,0
90/80	0,5	88	11,5	85,0
90/80	0	89	11,0	85,0
75/63	1,0	87	12,0	68,0
75/63	0,5	88	12,5	69,0

Физико-механические характеристики шлифпорошков марок АС6 и АС15 зернистостей 160/125, 125/100, 100/80, 80/63, полученных на основе применения патентов Украины № 70816 А и 4821, по предложенной технологической схеме изготовления шлифпорошков с высокой однородностью и повышенной абразивной способностью, приведены в табл. 2.

Таблица 2. Физико-механические характеристики шлифпорошков марок АС6 и АС15 с высокой однородностью и повышенной абразивной способностью (зернистости порошков соответствуют ситам с модулем  $m = 2,59$ ).

Марка шлифпорошка		АС15				АС6			
Зернистость, мкм		160/125	125/100	100/80	80/63	160/125	125/100	100/80	80/63
Однородность		0,88	0,81	0,79	0,75	0,84	0,73	0,75	0,71
Прочность, Н		14,8	14,1	12,9	11,8	7,9	6,8	5,9	5,4
Абразивная способность		265	236	231	227	238	225	221	218
Площадь удельной поверхности, м <sup>2</sup> /г		0,029	0,037	0,046	0,057	0,042	0,047	0,063	0,069
Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>	без утряски	1,76	1,78	1,80	1,82	1,70	1,71	1,72	1,74
	с утряской	2,01	2,05	2,08	2,12	1,95	1,96	1,97	2,0
Коэффициент текучести		0,91	0,93	0,94	0,95	0,96	1,01	1,05	1,08

По разработанной схеме можно успешно перерабатывать порошки, не соответствующие стандарту (при этом первые две операции схемы (см. рис. 1) не применяются) [12]. Результаты перспективных исследований целесообразно применить при изготовлении высококачественных шлифпорошков из дробленых композиционных компактов из алмазов, в том числе ультрадисперсных, и кубического нитрида бора, в частности кубонита.

### Литература

1. Спосіб виготовлення шліфпорошків із синтетичних алмазів. /М.В. Новіков, Ю.І. Нікітін, Г.П. Богатирьова, В.Г. Полторацький, А.І. Ігнатуша . Патент України № 70816 А від 15.10.04; Бюл. № 10.
2. Деклараційний патент на корисну модель 4821. Україна, МПК С01В 31/06. Спосіб виготовлення шліфпорошків із надтвердих матеріалів / М. В. Новіков, Ю.І. Нікітін, Г. П. Богатирьова, Г. А. Петасюк, В. Г. Полторацький, А. І. Ігнатуша, О. М. Гавриленко - Заявл. 27.04.04; Опубл. 15.02.05. Промислова власність; Бюл. № 2.
3. Никитин Ю.И., Петасюк Г.А. Новое поколение компьютеризированных методик диагностики качества алмазных порошков // Сверхтвердые инструментальные материалы на рубеже тысячелетий: получение, свойства, применение: Сб. науч. тр. ИСМ НАН Украины. К., 2001, с. 257–258.

4. Патент на винахід 53964. Україна, МПК (2006) G01N 33/40. Спосіб оцінки однорідності абразивного порошку / М. В. Новіков, Ю. І. Нікітін, Г. П. Богатирьова, Г. А. Петасюк. – Заявл. 29.03.02; Опубл. 15.02.06. Промислова власність; Бюл. № 2.
5. Новиков Н. В., Никитин Ю. И., Петасюк Г. А. Компьютеризированные методы неразрушающего контроля прочностных свойств алмазных шлифпорошков // Инструмент. світ. –2006. – № 3(31). – С. 4–6.
6. Никитин Ю. И. Технология изготовления и контроль качества алмазных порошков. – К.: Наук. думка, 1984. – 264 с.
7. Устройство для овализации абразивных зерен/ Ю.И. Никитин, А.Н. Бакаленко, Н.В. Цыпин. –А.с. СССР № 304977 от 15.09.70.
8. Аппарат для разделения сыпучих материалов по крупности/ Ю.И. Никитин, С.М. Уман, Е.М. Мошковский. –А.с. СССР № 366891, МКИ<sup>4</sup> В07В 4/08 от 23.01.73; Бюл. № 8.
9. Никитин Ю.И. Порошки из синтетических алмазов // Инструмент. світ.– 1999.– № 4-5.– С. 20–23.
10. Сепаратор для разделения сыпучих материалов по форме зерен/ Ю.И. Никитин, А.Г. Бруква, Г.Д. Сарховский, Г.С. Грищенко. –А.с. СССР № 1279686, МКИ<sup>4</sup> В07В 13/11 от 30.12.86; Бюл. № 48.
11. Порошки и пасты из синтетических алмазов / Ю. И. Никитин, С. М. Уман, Л. В. Коберниченко, Л. М. Мартынова. – К.: Наук. думка, 1992. – 284 с.

Поступила 28.05.09

УДК 621.921.34-2

**Н. В. Новиков**, акад. НАН Украины, **Ю. И. Никитин**,  
**Г. А. Петасюк**, кандидаты технических наук, **В. Г. Полторацкий**

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

### **ПЕРСПЕКТИВЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ ШЛИФПОРОШКОВ КУБОНИТА С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ОСНОВНОЙ ФРАКЦИИ И ОДНОРОДНОСТЬЮ СВОЙСТВ**

*The results of studies for development of production process of precision grinding powders from cBN with grit size and strength uniformity and high content of main fraction are presented. Advanced scheme of processing of concentrated synthesis product of cBN developed on the basis of non-standard equipment (designed by ISM NASU) is shown. Equipment succession consists of the following devices: universal rotor impactor of continuous operation, pneumatic and vibration classifiers with sieves of narrow module and round opening for separation of grits by form. Grinding powders of 200/160, 160/125, 125/100, 100/80, 80/50 grit sizes produced by this technology are recommend for production of numerous nomenclature of instrument assigned for lapping and precise finishing of steels and Fe-based alloys including tool steels.*

Использовать для изготовления инструментов продукты синтеза кубического нитрида бора (КНБ, торговая марка - кубонит) после обогащения, в виде друз и в первичном виде, нецелесообразно, поскольку это конгломераты и сrostки крупностью 1-3 мм, которые состоят из зерен различных размеров и форм, имеют различные прочностные и абразивные свой-