

9. Gallagher J., Scanlon P., Nailer S. G. Characterisation techniques for the study of high-strength, coarse diamond // *Indust. Diamond Division*. – 2006. – N 3. – P. 59–64.
  10. ДСТУ 3292–95. Порошки алмазні синтетичні. Загальні технічні умови. – К.: Держстандарт України, 1995.
  11. Девин Л. Н., Сулима А. Г. Применение пакета Power Graph для исследования процесса резания / *ПиКАД: Промышленные измерения, контроль, автоматизация, диагностика*. – 2008. – № 3. – С. 24–26.
  12. Пат. 23804 Україна, G01 N 29/04. П'єзоелектричний перетворювач / Л. М. Девін, А. Г. Найдено, Т. В. Німченко. – Заявл. 12.01.07, Опубл. 11.06.07, Бюл. № 8.
  13. Тимошенко С. П. Сопротивление материалов. В 2 т. – М.: Наука, 1965. – Т. 2. – 480 с.
- Поступила 21.05.10*

УДК 621.921.34-492.2:536.421.5:539.89

**С. Н. Назарчук; А. А. Бочечка**, д-р. техн. наук; **В. С. Гаврилова; Л. А. Романко**, канд. техн. наук; **В. Н. Ткач**, канд. физ.-мат. наук; **И. А. Свешников**, д-р. техн. наук; **С. Д. Заболотный**

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

### **КОМПОЗИТ АЛМАЗ – КАРБИД ВОЛЬФРАМА ДЛЯ БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА**

*Composite diamond-tungsten carbide based on diamond powders of different dispersity was created. The optimal number of large diamond powder in the composite was determined. The structure of the composite, its physical-mechanical and operational properties are investigated.*

#### **Введение**

Создание композиционного материала на основе алмазных шлиф- и микропорошков с высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами перспективно для применения в качестве рабочего элемента в буровом инструменте. В этой связи повышение эффективности спекания алмазных порошков является актуальной задачей.

При воздействии высокой температуры и высокого давления на порошки алмаза происходит графитизация алмазных частиц в процессе спекания, которая препятствует прочной взаимосвязи алмазных частиц и формированию прочного и твердого поликристалла [1]. Для порошков с зернами размером менее 100 нм (нанопорошков) графитизация осуществляется в основном через газовую фазу при взаимодействии алмаза с кислородом или кислородсодержащими соединениями [2]. Поэтому перед спеканием алмазных нанопорошков предпочтительно проводить их дегазацию с герметизацией рабочего объема аппарата высокого давления (АВД) [2].

Также в спеченных поликристаллах нет сплошных границ между алмазными частицами, контакты между частицами носят точечный характер, прочность таких поликристаллов низкая. Введение в рабочий объем добавки карбида вольфрама препятствует графитизации композитов [3] и приводит к образованию сплошных границ путем реакционного спекания между алмазной матрицей и армирующей составляющей, что повышает физико-механические характеристики композитов [4]. Проблема гомогенности структуры спеченных композитов и равномерного распределения добавки по объему решается при введении добавки в алмазные порошки химическим путем [5].

Цель настоящей работы – установить оптимальные состав, структуру, параметры спекания, физико-механические и эксплуатационные свойства поликристаллического композиционного материала на основе алмазных порошков различной дисперсности.

### Методика исследования

Для приготовления образцов использовали алмазные микропорошки статического синтеза АСМ5 1/0, АСМ 28/20, алмазный шлифпорошок АС6 160/125, а также алмазный порошок, синтезированный в системе Mg–Zn–C (без классификации по зернистости). В смесь алмазных порошков вводили добавку порошка вольфрама.

Десорбцию газов из спрессованных из смесей компактов проводили путем термообработки в вакууме при температуре 500 °С до давления остаточных газов  $10^{-3}$  Па. Герметизацию рабочего АД осуществляли механически. Спекание проводили в АД типа «тороид» с диаметром центрального углубления 20 мм [1] при начальном давлении 8 ГПа в течение 20 с при термобарических условиях стабильности алмаза. Плотность спеченных поликристаллов определяли гидростатическим взвешиванием в дистиллированной воде [6]. Твердость образцов определяли методом индентирования с нагрузкой на индентор Кнупа 10 Н [7]. Трещиностойкость образцов определяли методом индентирования с нагрузкой на индентор Виккерса 48 Н. При надежности 0,95 погрешность определения твердости по Кнупу составляет  $\pm 4$  ГПа, трещиностойкости  $\pm 0,5$  МПа·м<sup>1/2</sup>. Износостойкость определяли по высоте площадки износа при строгании песчаника на стенде, созданном на базе поперечно-строгального станка 7В36, на пути строгания 20 м. Структуру композитов изучали методами электронной микроскопии.

### Результаты и их обсуждение

После определения оптимальных термобарических условий спекания композитов на основе алмазного порошка АСМ 1/0 с оптимальным количеством добавки вольфрама [5, 8] следующим этапом является введение в композит крупных алмазных порошков в целях повышения износостойкости.

Особенность спекания алмазных порошков в ячейке АД заключается в том, что нагревание осуществляется после воздействия на порошки высокого давления при комнатной температуре. Основной причиной дробления является взаимное индентирование частиц [9]. В то же время порошки из частиц размером  $\leq 1$  мкм при воздействии давления 8 ГПа не разрушаются [9]. При прессовании алмазных порошков в стальных пресс-формах (при давлении до 0,41 ГПа) происходит значительное уплотнение, связанное с дроблением. При этом достигается плотность компакта, которая несущественно изменяется при повышении давления до 8 ГПа [10]. Средний размер частиц порошка также уменьшается незначительно (рис. 1).

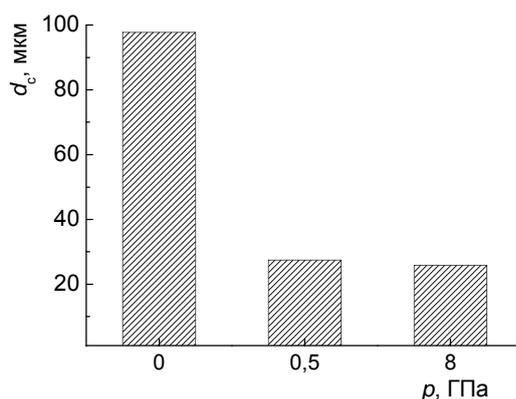


Рис. 1. Диаграмма изменения среднего размера зерна после воздействия высокого давления на алмазный порошок, синтезированный в системе Mg–Zn–C

При воздействии высокого давления в ячейке АД на алмазный шлифпорошок АС6 160/125 изменяется зерновой состав порошка – увеличивается количество мелких частиц (рис. 2).

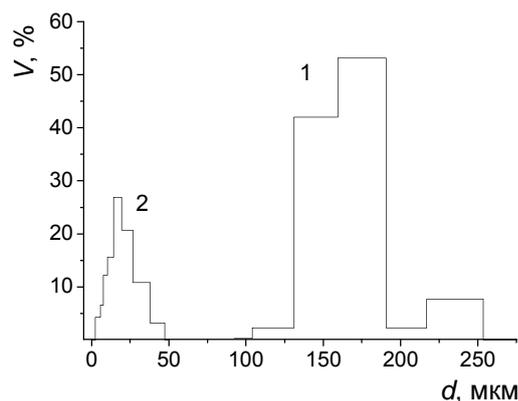


Рис. 2. Гистограммы распределения по размерам частиц алмазного порошка АС6 160/125 исходного (1) и после воздействия давления 8 ГПа в ячейке АВД (2):  $d$  – средний размер частицы,  $V$  – относительный объем частиц данного размера

Для выбора оптимального соотношения крупных и мелких частиц в алмазном композите определили зависимость показателя дробления крупной составляющей смеси алмазных порошков при действии давления 0,5 ГПа от состава исходной смеси (рис. 3). В качестве показателя дробления  $k$  приняли отношение потери из-за дробления массы крупного порошка  $\Delta m$  к его исходной массе  $m$ :

$$k = \frac{\Delta m}{m}$$

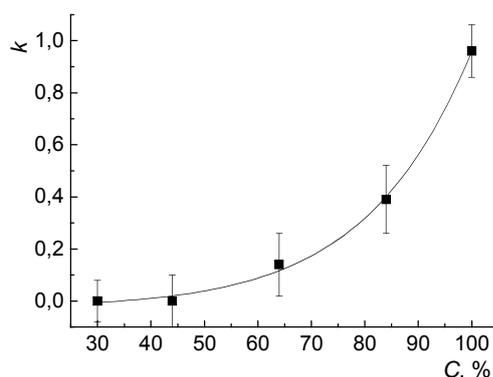


Рис. 3. Зависимость показателя дробления крупной составляющей от ее содержания в исходной смеси алмазных порошков АС6 160/125 и АСМ 1/0 при воздействии давления 0,5 ГПа

В соответствии с полученной зависимостью, потери крупной составляющей от дробления становятся существенными, если ее содержание в смеси превышает 65 %. Однако даже при содержании 90 % сохраняется около 50 % (по массе) крупных частиц.

Таким образом, определили количество алмазных порошков крупной составляющей с учетом максимального заполнения пор между крупными частицами композитом алмаз – карбид вольфрама на основе микропорошка АСМ 1/0. При заполнении промежутков снижаются контактные напряжения между частицами крупной составляющей, что, в свою очередь, снижает их разрушение в процессе сжатия при нагрузке ячейки до высокого давления ( $p = 8$  ГПа).

По данным электронной микроскопии в композите, спеченном из алмазного порошка АСМ 1/0 с добавкой вольфрама, добавка распределяется равномерно (рис. 4.), с образованием карбида вольфрама между алмазными зернами формируются сплошные границы.

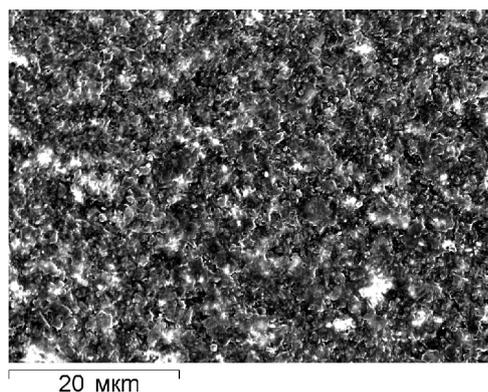


Рис. 4. Электронное изображение композита алмаз–карбид вольфрама на основе микропорошка АСМ 1/0

Спекание алмазного порошка с добавлением вольфрама приводит к реакционному взаимодействию. В процессе химической реакции вольфрам с углеродом образует карбид вольфрама, который заполняет промежутки между алмазными частицами и в результате повышаются твердость и трещиностойкость материала ( $H_K = 24$  ГПа,  $K_{Ic} = 6,5$  МПа·м<sup>1/2</sup>).

В композите на основе АСМ 1/0 с дополнительно введенным порошком крупной зернистости крупные частицы равномерно распределяются по объему образца, формируются сплошные границы между частицами, большая часть частиц крупной составляющей соответствует исходным, а также наблюдается небольшое количество осколков разрушенных частиц (рис. 5, 6).

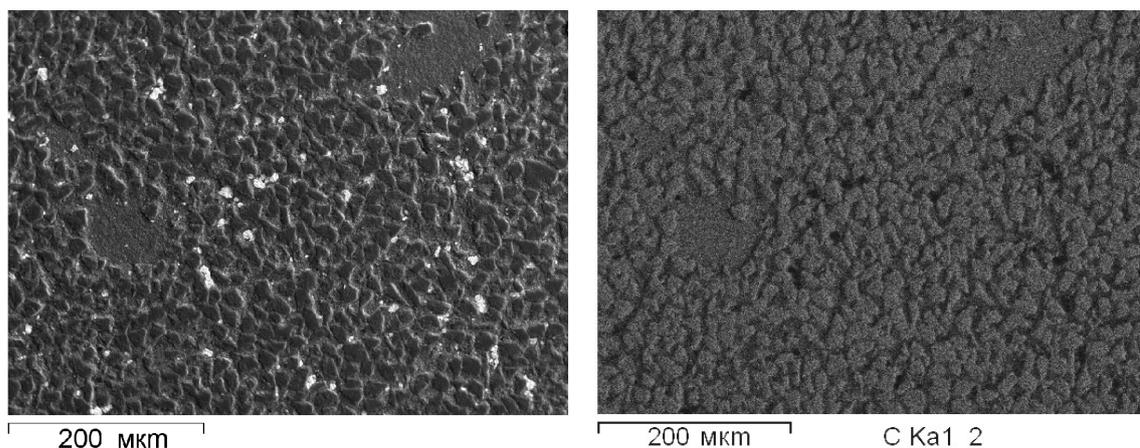


Рис. 5. Электронное изображение композита алмаз – карбид вольфрама на основе микропорошков АСМ 1/0 и АСМ 28/20

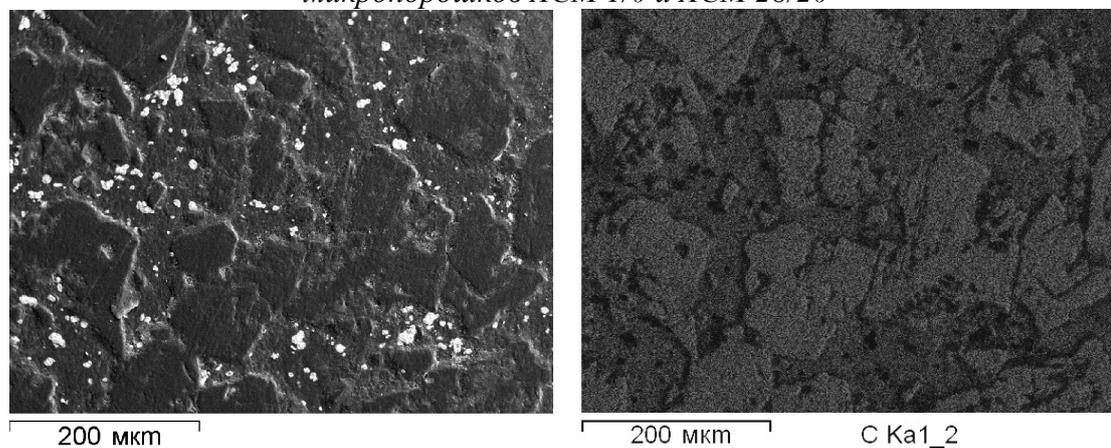


Рис. 6. Электронное изображение композита алмаз – карбид вольфрама на основе микропорошка АСМ 1/0 и шлифпорошка АС6 160/125

Благодаря выбору оптимального содержания добавки, а также добавлению крупных алмазных частиц достигается высокая износостойкость спеченных композитов. Как показали результаты экспериментов, сохранение крупных частиц в структуре поликристаллического алмазного композита при прочих равных условиях способствует повышению в 2–3 раза его износостойкости, определенной при строгании блоков кварцевого песчаника.

### **Выводы**

Потери крупной составляющей от дробления значительны в том случае, если ее количество в смеси превышает 65 %, но даже при 90 % сохраняется около 50 % (по массе) крупных частиц.

Определено количество крупного алмазного порошка для максимального заполнения пор между крупными частицами композитом алмаз – карбид вольфрама на основе микропорошка АСМ 1/0. При заполнении промежутков снижаются контактные напряжения между крупными частицами, что, в свою очередь, снижает их разрушение в процессе сжатия при нагрузке ячейки до высокого давления.

В композите на основе АСМ 1/0 с дополнительно введенным порошком крупной зернистости крупные частицы равномерно распределяются по объему образца, формируются сплошные границы между частицами путем реакционного спекания, большая часть крупных частиц соответствует исходным, наблюдается небольшое количество осколков разрушенных частиц.

Благодаря выбору оптимального содержания добавки, а также добавлению крупных алмазных частиц достигается высокая износостойкость спеченных образцов композита. Сохранение крупных частиц в структуре поликристаллического алмазного композита при прочих равных условиях способствует повышению в 2–3 раза его износостойкости.

Авторы выражают благодарность кандидату технических наук Л. И. Александровой за исследования физико-механических свойств композита.

### **Литература**

1. Шульженко А. А., Гаргин В. Г., Шишкин В. А., Бочечка А. А. Поликристаллические материалы на основе алмаза. – К.: Наук. думка, 1989. – 192 с.
2. Бочечка А. А., Романко Л. А., Гаврилова В. С. и др. Особенности спекания алмазных порошков различной дисперсности в условиях высокого давления // Сверхтвердые матер. – 2007. – № 1. – С. 24–31.
3. Пат. 3145690 ФРН, МКІЗ С 04 В 39/00. Verfahren zum Herstellen von Drahtziehstein - Presskörpern, insbesondere Diamantpress-körpern und das Produkt des Verfahrens / H. S. Cho. – Опубл. 26.08.83.
4. Бочечка А. А., Романко Л. А., Шаповалов Д. Ю., Назарчук С. Н. Влияние карбидов переходных металлов на получение композитов на основе алмазного нанопорошка детонационного синтеза // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: Изд-во ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2006. – Вып. 9. – С. 190–196.
5. Назарчук С. М., Білявина Н. М., Гаврилова В. С. та ін. Спiкання нанопорошків алмазу детонаційного синтезу з добавками тугоплавких металів та їхніх оксидів // Синтез, спекание и свойства сверхтвердых материалов. – К.: Логос, 2010. – С.101–107.
6. Кивилис С. С. Плотномеры. – М.: Энергия, 1980. – 280 с.
7. Григорович В. К. Твердость и микротвердость металлов. – М.: Наука, 1976. – 230 с.
8. Бочечка А. А., Гадзыра Н. Ф., Назарчук С. Н. и др. Композит алмаз – карбид вольфрама на основе алмазного порошка АСМ 1/0 // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: Изд-во ИСМ им. В. Н. Бакуля, ИПЦ АЛКОН НАН Украины, 2009. – С. 244–247.

9. Бочечка А. А. Разрушение частиц алмазного порошка под воздействием высокого давления // Сверхтвердые матер. – 1993. – № 5. – С. 9–14.
10. Назарчук С. Н., Бочечка А. А., Петасюк Г. А. Уплотнение алмазных порошков под воздействием высокого давления // Физика и техника высоких давлений. – 2009. – 19. – № 3. – С 7–11.

Поступила 29.06.09

УДК 621.926.538.1

**Н. А. Олейник**, канд. техн. наук

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

## **ХАРАКТЕРИСТИКИ КРУПНОСТИ ДИСПЕРСНЫХ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ**

*Results of the description of character of distribution of particles of a disperse product of synthesis of diamond after various kinds of processing, raw materials, powders in the form of total characteristics of the sizes approximated by eksponentsialno-sedate dependence Rozina-Rammlera are presented.*

### **Введение**

Алмазные порошки получают в процессе переработки продукта синтеза (ПС), который образуется в виде спеков при синтезе. Спекы – это композиционные материалы технологического назначения, представляющие собой многофазные и прочные конгломераты, содержащие алмаз, металлическую и графитовую составляющие.

Переработка ПС включает дробление спеков, растворение металлической составляющей, окисление графита, финишную очистку, сортировку и классификацию порошка. В процессе переработки ПС крупность материала существенно изменяется, концентрация материала в узком диапазоне размеров (однородность материала) влияет на эффективность переработки.

Математическое описание крупности (гранулометрического состава) материала, представленное суммарными характеристиками крупности, необходимо в целях обоснования и разработки процессов для применения в структурной схеме переработки ПС.

Цель настоящей работы – проверить возможность описания суммарных характеристик крупности дисперсного ПС после различных видов воздействия, алмазного сырья и порошков с помощью экспоненциально-степенного уравнения Розина – Раммлера.

### **Методика и результаты исследования**

Исследования проводили на полученном в ростовой системе Ni–Mn–C, ПС, предназначенном для изготовления шлифпорошков марки АС15 и выше.

Образцы для исследования получили путем последовательных операций: стадийного дробления исходных спеков и химической обработки ПС. Дробили спекы в щековой дробилке. Дезинтеграцию материала после растворения металлической составляющей выполняли параллельно тремя методами: первый – термохимическая обработка; второй – механическое дробление в роторной дробилке конструкции Института сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины и в конусной инерционной дробилке (КИД); третий – импульсная обработка высоковольтным электрическим разрядом (ВЭР) в жидкости (выполняли в ИИПТ НАН Украины, г. Николаев).

Образцы материала, подготовленные согласно рис. 1 подвергли ситовому анализу.

По результатам ситового анализа рассчитывали выход материала (%) различных классов крупности по формуле

$$\Gamma = \frac{100 G_{\text{кл. крупн.}}}{G_{\text{исх.}}}, \quad (1)$$

где  $G_{\text{кл. крупн.}}$  – масса материала, прошедшая сито с отверстиями размером  $-d$  (мм) и задержавшаяся на сите с отверстиями размером  $+d$  (мм), г;  $G_{\text{исх.}}$  – масса материала, поступившая на рассев, г.