

7. Луцак Е. М., Бочечка О. О., Ткач В. М., Білявина Н. М. Вивчення взаємодії в системах Cu–Ti–алмаз і Co–W–алмаз при змочуванні алмазних полікристалів та просочуванні алмазного нанопорошку УДА в умовах високого тиску і температури // Сверхтвердые материалы. – 2014. – № 1. – С. 33-39.

Надійшла 21.07.15

УДК 621.921.34-492.544.023.5:539.215

В. Г. Полторацкий, канд. техн. наук¹, **В. И. Лавриненко**, д-р. техн. наук¹, **М. Н. Сафонова**, канд. техн. наук², **Г. А. Петасюк**¹, **А. А. Девицкий**, кандидаты технических наук¹, **В. С. Шамраева**¹

¹Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев

²Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия

**НОВЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ АБРАЗИВНЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ
НЕВОСТРЕБОВАННЫХ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ МИКРОПОРОШКОВ
ПРИРОДНОГО АЛМАЗА И ШЛИФПОРОШКОВ СИНТЕТИЧЕСКОГО АЛМАЗА:
ПОЛУЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ**

Приведены результаты изучения возможностей использования компактированных углеродной связкой разнодисперсных порошков синтетического и природного алмаза в шлифовальных кругах при обработке твердых сплавов. Показано, что при частичной (50%) или полной замене синтетических алмазов компактированными порошками существенно (более чем в 3 раза) повышается износостойкость алмазных шлифовальных кругов.

Ключевые слова: углеродная связка, порошки якутского природного алмаза, компакты, шлифпорошки, шлифовальные круги, износостойкость.

Введение

Комплексная переработка добываемых природных алмазов предусматривает операции классификации (сортировки) на ювелирные и технические природные алмазы, раскалывания, распиливания и обдирки ювелирных алмазов, разделения и диспергирования технических природных алмазов в целях выделения кондиционных порошков природного алмаза различных классов зернистости [1]. На финишной стадии этих операций получают конечный продукт (непереработанный остаток алмазного порошка), дальнейшая переработка которого в силу определенных причин (преимущественно экономического характера) нецелесообразна. Обычно глубина такого извлечения кондиционных порошков природного алмаза ограничивается мелкими зернистостями микронных и субмикронными порошками, которые переходят таким образом в разряд отходов. Такое название в значительной мере условно. Фактически это пригодные для дальнейшего использования алмазные порошки. Однако в силу указанных ранее причин они на неопределенное время остались не востребованными, к тому же с тенденцией к накоплению. Поэтому актуальной является задача вовлечения этих не востребованных (неходовых) порошков природного алмаза (НППА) в сферу экономически выгодного практического использования. Решение этой задачи связано с поиском способов и сфер эффективного применения таких порошков-отходов.

Одним из направлений в решении обозначенной проблемы является компактирование НППА методом их 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 – 630/500–50/40 и –40 мкм [2].

В целях изучения перспектив и путей решения проблемы использования в инструментальном производстве шлифпорошков из компактированных НППА были определены их физические свойства,

элементный состав примесей, а также технологические свойства непосредственно НППА как абразивного материала. Исследовали также их размерные и геометрические характеристики, характеристики формы проекции зерен (совокупно морфометрические характеристики). Методики экспериментальных исследований исходных НППА и полученные результаты подробно изложены в [2]. По результатам исследований констатируем, что представленные субмикронные НППА пригодны для изготовления из них компактов методами физико-химического синтеза при давлении ниже атмосферного.

Изготовление опытных образцов композиционных материалов на основе НППА

Композиционный материал на основе НППА получили спеканием в газотермическом реакторе установки физико-химического синтеза при температуре 1100–1200 °С и давлении ниже атмосферного в среде углеродсодержащего газа – метана (CH₄). Методика приготовления порошковых композиций и осуществления физико-химического синтеза подробно описаны в [2]. На основании полученных результатов экспериментальных исследований установили оптимальные технологические режимы компактирования НППА указанным методом. Изготавливали первичные компакты прессованием при комнатной температуре. В качестве связки исследовали несколько поверхностно активных веществ, оптимальными из которых оказались растворы клея БФ в этиловом спирте и желатина в дистиллированной воде.



Рис. 1. Внешний вид компактов из НППА

В результате получили компакты в форме цилиндра диаметром 12–15 мм и высотой 15 мм (рис. 1).

Изготовление порошков из композиционных компактов

Порошки из компактированных НППА изготавливали на соответствующем дробильно-классификационном оборудовании и вибростолах на оптимальных режимах. Морфометрические характеристики композиционных шлифпорошков, изготовленных из компактированных НППА, которые структурированы наноглеродом, диагностировали с помощью прибора Dialnspect.OSM [3]. Определяли площадь проекции зерна (A_t , мкм²), периметры фактического его контура (p , мкм), максимальный (F_{max} , мкм) и минимальный (F_{min} , мкм) диаметры Feret, эквивалентный (d_e , мкм) диаметр зерна, форм-фактор фактического изображения проекции зерна (f_r), Feret-удлинение (F_e), шероховатость (Rg) и коэффициент уплощения зерен ($f_{упл}$). Интерпретация геометрической сущности перечисленных выше морфометрических характеристик и более полное их описание приведены в [4].

Такие технологические свойства, как внешняя удельная поверхность, количество зерен в одном карате порошка, количество и среднее значение углов заострения режущих кромок, определяли по данным Dialnspect-диагностики морфометрических характеристик с использованием разработанных в ИСМ оригинальных компьютерно-аналитических методик [4, 5]. Результаты диагностики приведены в таблице 1.

Таблица 1. Средние значения ($C_{знач.}$) и однородность (Однор.) морфометрических характеристик и технологические свойства шлифпорошков зернистостей 125/100 и 160/125, изготовленных из компактированных НППА

| Характеристика | Компакт-А* | | | | Компакт-Б** | | | |
|-----------------|------------|--------|------------|--------|-------------|--------|------------|--------|
| | 160/125 | | 125/100 | | 160/125 | | 125/100 | |
| | $C_{знач}$ | Однор. | $C_{знач}$ | Однор. | $C_{знач}$ | Однор. | $C_{знач}$ | Однор. |
| F_{max} , мкм | 215,5 | 0,6345 | 164,7 | 0,5938 | 213,7 | 0,6775 | 179,2 | 0,6921 |
| F_{min} , мкм | 160,6 | 0,6463 | 116,8 | 0,5968 | 163,8 | 0,7323 | 134,8 | 0,7232 |

Окончание таблицы 1.

| | | | | | | | | |
|-------------------------------|--------|--------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| f_r | 1,3241 | 0,7187 | 1,4642 | 0,5603 | 1,3963 | 0,6418 | 1,3940 | 0,6627 |
| F_e | 1,3480 | 0,5563 | 1,4167 | 0,5173 | 1,3099 | 0,5887 | 1,3418 | 0,5745 |
| $f_{упл}$ | 0,5794 | 0,8103 | 0,5892 | 0,7804 | 0,5788 | 0,8265 | 0,6271 | 0,8206 |
| Rg | 1,0725 | 0,6799 | 1,0949 | 0,5629 | 1,0936 | 0,5224 | 1,0854 | 0,6028 |
| d_3 , мкм | 177,6 | 0,6480 | 129,7479 | 0,6513 | 176,8 | 0,7495 | 146,2 | 0,7140 |
| A_t , мкм ² | 25959 | 0,4984 | 13844 | 0,5019 | 25025 | 0,5659 | 17263 | 0,6310 |
| p , мкм | 641,0 | 0,6362 | 491,15 | 0,5871 | 655,8 | 0,6689 | 542,0 | 0,7157 |
| $F_{уд}$, м ² /кг | 28,60 | - | 41,32 | - | 28,55 | - | 36,01 | - |
| N , шт. | 25467 | - | 65063 | - | 27505 | - | 50166 | - |
| n , шт. | 9,6 | - | 11,5 | - | 11,7 | - | 10,6 | - |
| φ , ° | 94,5 | - | 106,24 | - | 101,39 | - | 100,21 | - |

* Порошки из субмикророшка НППА-3 (3–0 мкм).

** Порошки из смеси субмикророшка НППА-3 (3–0 мкм) и стандартного шлифпорошка АС6 160/125 в равных пропорциях.

Испытание шлифпорошков из композиционного материала на основе НППА в инструменте

В последнее время в сфере алмазно-абразивной обработки значительное внимание уделяют именно порошкам из композиционных СТМ [6, 7]. Обусловлено это тем, что, с одной стороны, в них сочетаются свойства составляющих композиционного материала, с другой – есть возможность воздействовать на свойства получаемого композиционного материала путем выбора процентного соотношения компонентных составляющих, параметров и условий синтеза материала. Использование таких абразивных порошков открывает новые перспективы в сфере алмазно-абразивной обработки.

Особого внимания заслуживают компакты, состоящие из алмаза, окруженного сверхтвердой оболочкой [2]. В отличие от технологических покрытий зерен СТМ такая оболочка позволяет повысить прочность удержания компакта в связующем, поскольку поверхность зерна становится более развитой. Она также обеспечивает возможность доставки необходимых элементов непосредственно в зону резания зерном, и это позволяет изменять контактные процессы в указанной зоне. Было установлено

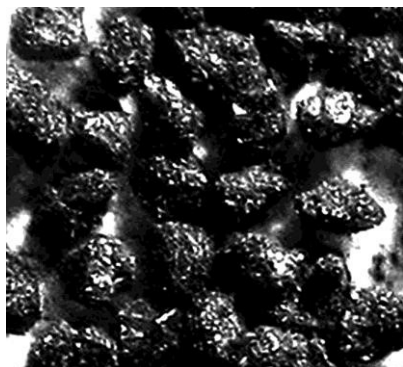


Рис. 2. Фотография шлифпорошков КЯ 160/125 из компактов на основе НППА 3/0, увеличение $\times 100$

[8, 9], что подобные покрытия изменяют характер контактных процессов в зоне обработки и тем самым непосредственно влияют на показатели шлифования. При этом в зоне контакта инструмента с деталью наблюдается электризация вследствие фрикционного контакта абразивного слоя шлифовального круга с обрабатываемой поверхностью. Выявлена определенная связь возникающей при шлифовании электризации с износостойкостью абразивного инструмента [8]. Одним из путей регулирования уровня электризации является введение в рабочий слой шлифовальных кругов дополнительных примесей (компактов), а также применение покрытий зерен СТМ.

В этой связи изучали целесообразность использования шлифпорошков зернистостью 160/125 (КЯ 160/125, рис. 2) из полученного нового композиционного материала в шлифовальных кругах. Исследовали физико-механические и электрофизические свойства, технологические и морфометрические характеристики шлифпорошков

КЯ 160/125 и стандартных шлифпорошков АС6 125/100 и АС6 160/125 (табл. 2).

Таблица 2. Физико-механические и электрофизические свойства, технологические и морфометрические характеристики стандартных шлифпорошков СА и шлифпорошков из компактов на основе НППА

| Характеристика абразивного порошка | Значение для порошка | | |
|---|----------------------|------------|----------------|
| | АС6 125/100 | КЯ 160/125 | АС6 160/100 |
| Прочность, Н | 5,8 | 5,3 | 5,9 |
| Удельное электросопротивление, Ом·м | $5 \cdot 10^8$ | 0,20 | $5 \cdot 10^8$ |
| Абразивная способность, мг, по меди | 83,5 | 66,3 | 93,7 |
| Потеря массы на воздухе при 900 °С, % | 2,9 | 0,7 | 3,0 |
| Термостабильность, аргон, 1000 °С, 10 мин | 0,87 | 0,93 | 0,89 |
| f_r | 1,3232 | 1,2751 | 1,2418 |
| d_3 , мкм | 156,54 | 176,76 | 186,72 |
| R_g | 1,0746 | 1,0936 | 1,0770 |
| A_t , мкм ² | 19463 | 25025 | 27622 |
| p , мкм | 579,12 | 655,84 | 684,00 |
| $F_{уд}$, м ² /кг | 43,11 | 28,55 | 34,88 |
| n , шт. | 10 | 11,7 | 11 |
| φ , ° | 99,3 | 101,4 | 102,8 |

Результаты анализа данных табл. 2 свидетельствуют, что некоторым характеристикам шлифпорошки из компакта на основе НППА находятся посередине между двух зернистостей алмазов. Они, естественно, выше, чем у шлифпорошков АС6 125/100, но уступают аналогичным параметрам шлифпорошков АС6 160/125. Однако при этом по трем показателям шлифпорошки из компактированных НППА отличаются существенно: шероховатость зерен компактов сильнее, внешняя удельная площадь поверхности меньше, а количество режущих кромок – наибольшее. Логично предположить, что в вследствие этого должна повыситься прочность удержание зерен этих шлифпорошков в связке и снизиться электризация при обработке. Эти предположения подтверждены экспериментально [8].

В настоящей работе изучали также особенности шлифования твердого сплава ВК6 шлифовальными кругами формы 12А2-45° типоразмера 125×5×3×32 на полимерном связующем В2-08 при 100%-й относительной концентрации порошка в рабочем слое. Такие круги изготавливали с рабочим слоем двух вариантов: на основе стандартного шлифпорошка АС6 125/100 и шлифпорошков из компактов на основе НППА, полученных из указанного стандартного шлифпорошка и субмикронных фракций порошков природного якутского алмаза в равных пропорциях. Зернистость этих шлифпорошков (см. рис. 2) составляла 160/125. Шлифование проводилось на модернизированном универсальном заточном станке 3В642 при различной производительности обработки без охлаждения. Для изучения особенностей контактных процессов в зоне шлифования экспериментальными кругами определяли напряженность электростатического поля продуктов шлифования (шлама), шероховатость обрабатываемой поверхности, а также рассчитывали линейным методом (в соответствии с ГОСТ 16181-82) относительный расход зерен порошка из сверхтвердых материалов.

В результате исследований установили, что с введением в рабочий слой круга смеси из алмазного порошка АС6 125/100 и шлифпорошка условной марки КЯ 160/125 в равных пропорциях снижается электризация и соответственно износ шлифовального круга. Данные относительно шлифования кругом со смесью в рабочем слое указанных шлифпорошков (по 50%) приведены в табл. 3.

Таблица 3. Эксплуатационные показатели процесса шлифования твердого сплава ВК8 кругами с различным рабочем слоем

| Характеристики рабочего слоя шлифовального круга | Q , мм ³ /мин | E , кВ/м | q_p , мг/г | Ra , мкм |
|---|----------------------------|------------|--------------|------------|
| АС6 125/100–В2-08–100 | 200 | -0,2 | 4,23 | 0,32 |
| | 300 | -0,6 | 9,98 | 0,30 |
| | 400 | -1,4 | 18,27 | 0,42 |
| | 500 | -2,0 | 23,84 | 0,44 |
| КЯ 160/125–В2-08–100 | 200 | -0,1 | 2,19 | 0,42 |
| | 300 | -0,3 | 5,39 | 0,43 |
| | 400 | -1,4 | 11,85 | 0,54 |
| | 500 | -1,6 | 12,78 | 0,64 |
| Смесь [АС6 125/100–50% +КЯ 160/125–50%]–В2-08–100 | 200 | -0,1 | 1,81 | 0,31 |
| | 300 | -0,2 | 4,65 | 0,30 |
| | 400 | -1,2 | 6,33 | 0,43 |
| | 500 | -1,2 | 6,49 | 0,47 |

Как показали результаты сравнительного анализа при низкой производительности шлифования ($Q=200-300$ мм³/мин) электризация E уменьшается несущественно. Соответственно, износ круга со смесью в рабочем слое абразива снижается на 15–20%. При высокой производительности обработки (400–500 мм³/мин) электризация уменьшается существенно (с 1,6 до 1,2 кВ/м). Соответственно, и износ круга (q) снижается почти в 2 раза.

Графическая интерпретация полученных результатов представлена на рис. 3.

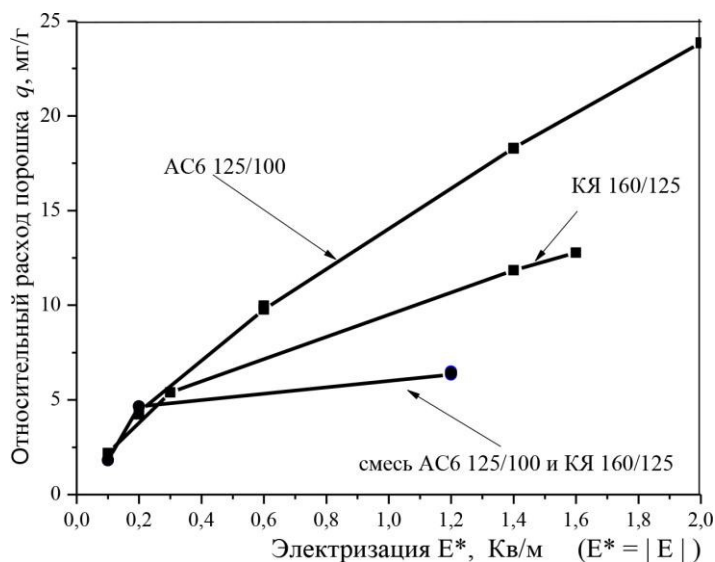


Рис. 3. Кривые взаимосвязи относительного расхода зерен СТМ и абсолютного значения напряженности электростатического поля (E^*) шлама при шлифовании твердого сплава ВК8 для различных сочетаний абразивов в рабочем слое круга

Эти данные подтверждают вывод о том, что напряженность электростатического поля является определенным оценочным критерием, по которому можно непосредственно судить о характере шлифования, в том числе износе алмазно-абразивного инструмента. При этом характер указанной связи зависит от абразива в рабочем слое. Также следует заметить, что шероховатость Ra обработанной поверхности твердого сплава ВК8 после шлифования абразивными кругами с введением в абразивный слой порошков из компактов на основе НППА и порошков синтетического алмаза несколько повышается

(табл. 3) по сравнению с обработкой поверхности стандартным алмазным кругом. В случае введения смеси алмазов и компактов при низкой производительности шлифования (200–300 мм³/мин)

шероховатость обработанной поверхности остается такой же, как и в случае обработки стандартными алмазными кругами, а при более высокой производительности несколько повышается (см. табл. 3).

На основании экспериментальных данных с использованием компьютерно-программной системы многовариантного построения и анализа эмпирических математических моделей LrAprox [10] получили аппроксимирующие зависимости, описывающие взаимосвязь относительного расхода абразивных зерен при обработке и абсолютного значения напряженности электростатического поля шлама для различных кругов:

для круга АС6 125/100–В2-08–100

$$y = \sqrt{2 - x}; \quad (2)$$

для круга КЯ 160/125–В2-08–100

$$y = \frac{1}{\left[0,078 + \frac{0,183}{\sqrt{x}}\right]^2}; \quad (3)$$

смеси [АС6 125/100–50+ Я 160/125–50] – В2-08–100

$$y = \frac{1}{1,3363 + 0,007x^{2,75}}. \quad (4)$$

Маркировка кругов соответствует указанной в табл. 3.

Выводы

1. В результате исследования установлено, что образующиеся при переработке природного алмаза невостребованные мелкодисперсные порошки пригодны для изготовления из них компактов физико-химическим синтезом при давлении ниже атмосферного. Из компактированных невостребованных порошков природного алмаза как абразивного инструментального материала избирательным дроблением и последующей виброситовой классификацией можно готовить шлифпорошки широкой гаммы зернистости.

2. Изучены физико-механические и морфометрические характеристики порошков, полученных из невостребованных мелкодисперсных природных алмазов, а также эксплуатационные показатели процесса шлифования твердого сплава ВК8 изготовленными из них кругами.

3. Напряженность электростатического поля является определенным оценочным критерием, по которому можно непосредственно судить о характере процесса шлифования, в том числе износе алмазно-абразивного инструмента.

4. С точки зрения износостойкости шлифовальных кругов и качества обработанной поверхности детали в целом при шлифовании твердого сплава ВК8 целесообразно применять круги в рабочем слое со смесью в равных пропорциях стандартного шлифпорошка АС6 125/100 и шлифпорошка КЯ 160/125–50 на основе мелкодисперсного порошка якутских природных алмазов. В сравнении со стандартным инструментом износостойкость таких кругов при высокой производительности обработки повышается более чем в 3 раза.

Наведено результати вивчення можливостей застосування компактованих вуглецевою зв'язкою різнодисперсних порошків синтетичного та природного алмазу у шліфувальних кругах при обробленні твердих сплавів. Показано, що за часткової (50%) або повної заміни синтетичних алмазів компактованими порошками суттєво (більш як втричі) підвищується зносостійкість алмазних шліфувальних кругів.

Ключові слова: *вуглецева зв'язка, мікропорошки якутського природного алмазу, компакти, шліфпорошки, шліфувальні круги, зносостійкість.*

The results of studying the possibilities of using a bunch of different compacted carbon powders dispersed synthetic and natural diamond grinding wheels in the machining of hard alloys are presented. Displaying that the partial (50%) or total replacement of synthetic diamonds on compacted powders can significantly (by more than 3-fold)

increase the wear resistance diamond grinding wheels.

Key words: carbon bunch, micropowders of Yakut natural diamond, compacts, grinding powders, grinding wheels, wear resistance.

Литература

1. Маршинцев В. К. Технические алмазы и производство алмазного инструмента в РС (С) / В. К. Маршинцев, Е.А. Дудко // «Кундэл»: (Науч.-информ. Сб. НИИЦ алмазов). – Якутск, 2003. – С. 21–24.
2. Новый композиционный абразивный материал из неостребованных порошков природного алмаза / В. Г. Полторацкий, Г. А. Петасюк, М. Н. Сафонова и др. // Сверхтвердые матер. – 2014. – № 2. – С. 93–104.
3. List E. A new system for single particle strength testing of grinding powders / E. List, J. Frenzel, H. Vollstadt // Industrial diamond rev. - 2006. - №1. - p. 42–47.
4. Сафонова М. Н. Компьютерно-аналитические методы диагностики эксплуатационных характеристик алмазных порошков и композиционных материалов на их основе / М. Н. Сафонова, Г. А. Петасюк, А. С. Сыромятникова. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2013.–223 с.
5. Петасюк Г.А. Інтерпретаційні і прикладні аспекти деяких морфологічних характеристик порошків надтвердих матеріалів / Г.А. Петасюк // Сверхтвердые матер. – 2010. – № 2. – С. 80–95.
6. Композити на основі мікропорошків КНБ, структурованих вуглецевою зв'язкою, як функціональні елементи в структурі робочого шару алмазно-абразивного інструмента. Повідомлення 1. Шліфпорошки з композитів як абразивні елементи / В.І. Лаврінченко, Б.В. Ситник, В.Г. Полторацький та ін. // Сверхтвердые матер. – 2014. – № 3. – С. 65–72.
7. Композити на основі мікропорошків КНБ, структурованих вуглецевою зв'язкою, як функціональні елементи в структурі робочого шару алмазно-абразивного інструмента. Повідомлення 2. Композити як опорні елементи / В.І. Лаврінченко, Б.В. Ситник, В.Г. Полторацький та ін. // Сверхтвердые матер. – 2014. – № 5. – С. 53–60.
8. Підвищення ефективності шліфування матеріалів кругами з НТМ врахуванням електричних явищ, що супроводжують абразивну обробку // Автореф. дис. ... канд. техн. наук / О.А. Девицький. – К.: ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, 2014. – 20 с.
9. Вплив функціональних домішок у робочому шарі кругів з надтвердих матеріалів та покриттів зерен на процеси електризації при шліфуванні / В.І. Лаврінченко, О.А. Девицький, Б.В. Ситник та ін. // Процеси механічної обробки в машинобудуванні : зб. наук. пр. ЖДТУ. – Житомир : ЖДТУ, 2010. – Вип. 9. – С. 92–98.
10. Петасюк Г.А. Компьютерно-программная система многовариантного построения и анализа эмпирических математических моделей L_gArгох для применения в научно-прикладных задачах материаловедения / Г.А. Петасюк, О.У. Петасюк // Порошковая металлургия : республ. межвед. сб. науч. тр.– Минск, 2008. – Вып. 31. – С. 58–63.

Поступила 20.05.15

УДК 661.657.5;621.762.5

М. П. Беженар¹, д-р техн. наук, , **С. М. Коновал**¹, **Т. О. Гарбуз**¹, **В. Т. Весна**², кандидати технічних наук, **В. М. Ткач**¹, д-р фіз.-мат. наук; **Я. М. Романенко**¹

¹Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, м. Київ

²Науково-виробнича фірма „Арвіна”, м. Київ, Україна

ОДЕРЖАННЯ НАДТВЕРДИХ КОМПОЗИТИВ З ОДНОРІДНОЮ СТРУКТУРОЮ ПРИ СПІКАННІ В УМОВАХ ВИСОКОГО ТИСКУ ПОРОШКІВ cBN, ВКРИТИХ ТИТАНОМ

Одержано надтвердий матеріал PCBN з однорідною структурою шляхом спікання за високого тиску порошків cBN, попередньо покритих титаном. Особливості структури –