

## Литература

1. Никитин Ю. И. Технология изготовления и контроль качества алмазных микропорошков. – К.: Наук. думка, 1984. – 264 с.
2. К вопросу однородности алмазных микропорошков по морфометрическим характеристикам / Г.П. Богатырева, Г.А. Петасюк, Г.А. Базалий, В.С. Шамраева // Сверхтв. матер. – 2009. – № 2. – С. 71–81.
3. Порошки и пасты из синтетических алмазов / Ю. И. Никитин, С. М. Уман, Л. В. Коберниченко, Л. М. Мартынова – К.: Наук. думка, 1992. – 284 с.
4. Оваллизация микропорошков синтетических алмазов химическим методом / Г. П. Богатырева, Н. А. Олейник, Г. Д. Ильницкая и др. // Синтез, спекание и свойства сверхтвердых материалов: сб. науч. тр. ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины; редкол. Н.В. Новиков (глав. ред.) и др. – К.: Логос, 2010. – С. 41–47.
5. Влияние высоковольтных импульсных разрядов на морфометрические характеристики алмазных микропорошков / О. Н. Сизоненко, А. Л. Майстренко, Н. А. Олейник и др. // Вісн. укр. матеріалознавч. т-ва: наук.-техн. журн. – 2010. – Вип. 3. – С. 23–32.
6. Компьютерно-аналитические методы диагностики эксплуатационных характеристик алмазных порошков и композиционных материалов на их основе / М.Н. Сафонова, Г. А. Петасюк, А.С. Сыромятникова; отв. ред. М.П. Лебедев; Мин-во образования и науки РФ, Северо-Восточный федеральный ун-т им. М.К. Аммосова. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013. – 222 с.
7. Методические рекомендации по изучению физико-химических свойств сверхтвердых материалов / под ред. Г. П. Богатырева. – К.: ИСМ АН УССР, 1992. – 40 с.
8. ДСТУ 3292-95. Порошки алмазные синтетические. Общие технические условия. Введ. 01.01.96. – К.: Госстандарт Украины, 1995. – 72 с.

Поступила 06.06.14

УДК 621.762.922.02

**Т. М. Дуда, Г. Д. Ильницкая, Л. А. Романко, О. О. Пасечный, В. В. Смоквина, А. А. Девицкий**, кандидаты технических наук, **В. Н. Ткач**, д-р физ.-мат. наук, **В. И. Лавриненко**, д-р техн. наук, **И.Н.Зайцева, Т.А. Косенчук<sup>1</sup>, С.В. Гайдай**, канд. хим. наук, **А.Н. Шеханин<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев

<sup>2</sup>Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Украина

## СВОЙСТВА АЛМАЗОВ, МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЯМИ

*Приведены результаты получения композиционных покрытий на порошках алмаза марки АС6 зернистостью 125/100 на базе единичных покрытий из Ni и Si. Исследована структура поверхности металлизированных композиционных покрытий Ni–Al и Si–Al и показано, что структура зависит от природы подслоя и температуры спекания.*

**Ключевые слова:** композиционные покрытия, металлизация поверхности порошков алмаза, структура, термоокисление, графитизация поверхности.

## Введение

Порошки синтетического алмаза в машиностроении широко применяют для обработки поверхности твердого сплава, керамики, стекла и других труднообрабатываемых

материалов. Производительность и качество обработки существенно зависят от свойств режущих элементов и возможности их интенсивной эксплуатации.

Одним из путей повышения износостойкости алмазно-абразивного инструмента и увеличения алмазоудержания является металлизация алмазов различными покрытиями [1–3]. В настоящее время покрытия дифференцированы по методам нанесения, видам, областям применения в инструменте на металлических, органических, металлоорганических связках и соответствующим им, обрабатываемым материалом [1].

В ИСМ НАН Украины разработали технологии, позволяющие наносить покрытия на шлиф-, микро-, субмикро- и нанопорошки различных марок и зернистостей на основе таких элементов, как Ni, Cu, Co–Ni, Ni–W, Ti, Ti–Cr, Ti–W, Cr, W, без и с введением наполнителей [4].

В результате ранее проведенных исследований установлено, что одной из причин алмазоудержания является, во-первых, граничное химическое взаимодействие с элементами покрытия при высокотемпературном изготовлении инструментов на металлических связках, во-вторых, диффузионным взаимодействием на границе покрытие – связка. В результате вокруг зерна алмаза образуется легированная зона с повышенными прочностными свойствами [5].

В инструменте на органических и металлоорганических связках химическое взаимодействие наблюдается на границе металл покрытия – полимер. При этом чем более шероховатое покрытие, тем больше площадь поверхности и эффективность взаимодействия [5].

Развитие инструментального производства, необходимость обработки новых труднообрабатываемых материалов, поиск новых путей энергосбережения диктуют необходимость получения композиционных покрытий с новыми свойствами, позволяющими укреплять электризацией и функционированием термоЭДС в зоне контакта инструмента с деталью.

Цель настоящей работы – получить композиционные покрытия на порошках алмаза марки АС6 зернистостью 125/100 на основе единичных покрытий из Ni и Cu.

#### **Методика исследования**

Металлизированные методом химического восстановления Ni (25 мас. %) и Cu (38 мас. %) порошки алмаза были покрыты методом обкатки в присутствии специального связующего тонкодисперсным порошком алюминия марки АСД крупностью –40 мкм. Высушенные образцы спекали в печи в воздушной среде при температуре 750 и 900 °С. Степень металлизации алмазов с композиционным покрытием составляла 70–75 мас. %.

Электронно-микроскопическое исследование осуществляли с помощью электронного микроскопа ZEISS ULTRASS.

Электрофизические характеристики металлизированных алмазов в виде удельного электросопротивления измеряли по разработанной в ИСМ НАН Украины методике [7], статическую (механическую) прочность алмазов с покрытиями – по стандартной методике [8].

Термоокисление металлизированных алмазов проводили на масс-спектрометре МИ 1201 с температурным интервалом 20–1000 °С в воздушной среде.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

С помощью электронно-микроскопического анализа исследовали структуру композиционных покрытий металлизированных алмазов.

Электронно-микроскопическое изображение алмазов марки АС6 125/100, металлизированных Ni и покрытых Al показано на рис. 1, металлизированных Cu и покрытых Al при температуре спекания 750 °С – на рис. 2, и при 900 °С – на рис. 3.

Как видим на зернах алмаза, металлизированных композиционным покрытием Cu–Al, структура поверхности покрытия сформирована из игл, а на зернах алмазов, металлизированных покрытием Ni–Al, соединений иглообразных образований не обнаружено.

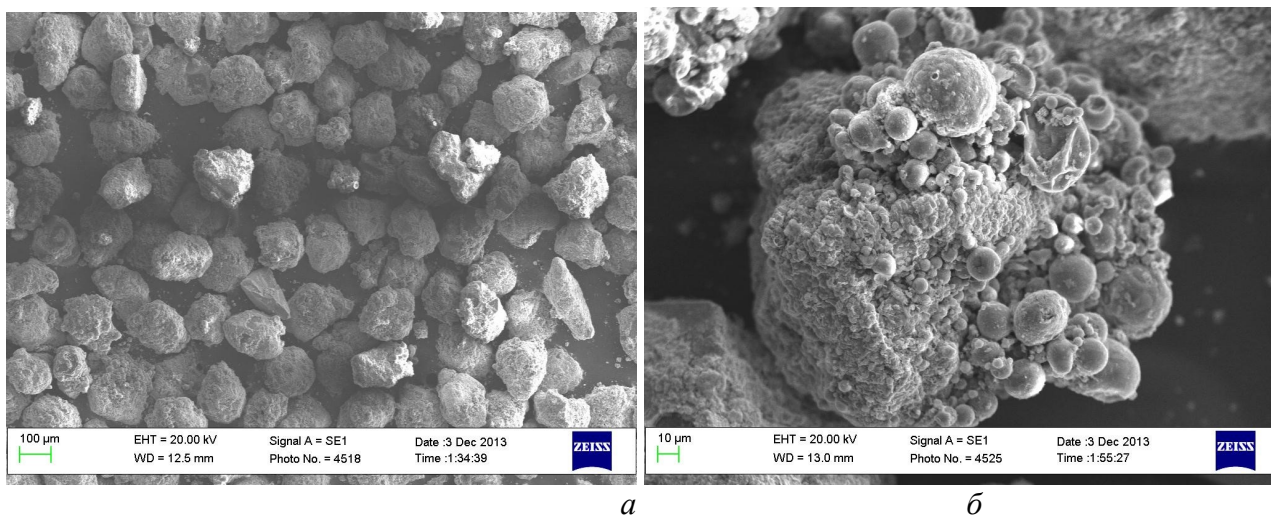


Рис. 1. Электронно-микроскопическое изображение алмазов марки АС6 125/100, металлизированных Ni и покрытых Al: а – общий вид порошка; б – отдельный кристалл

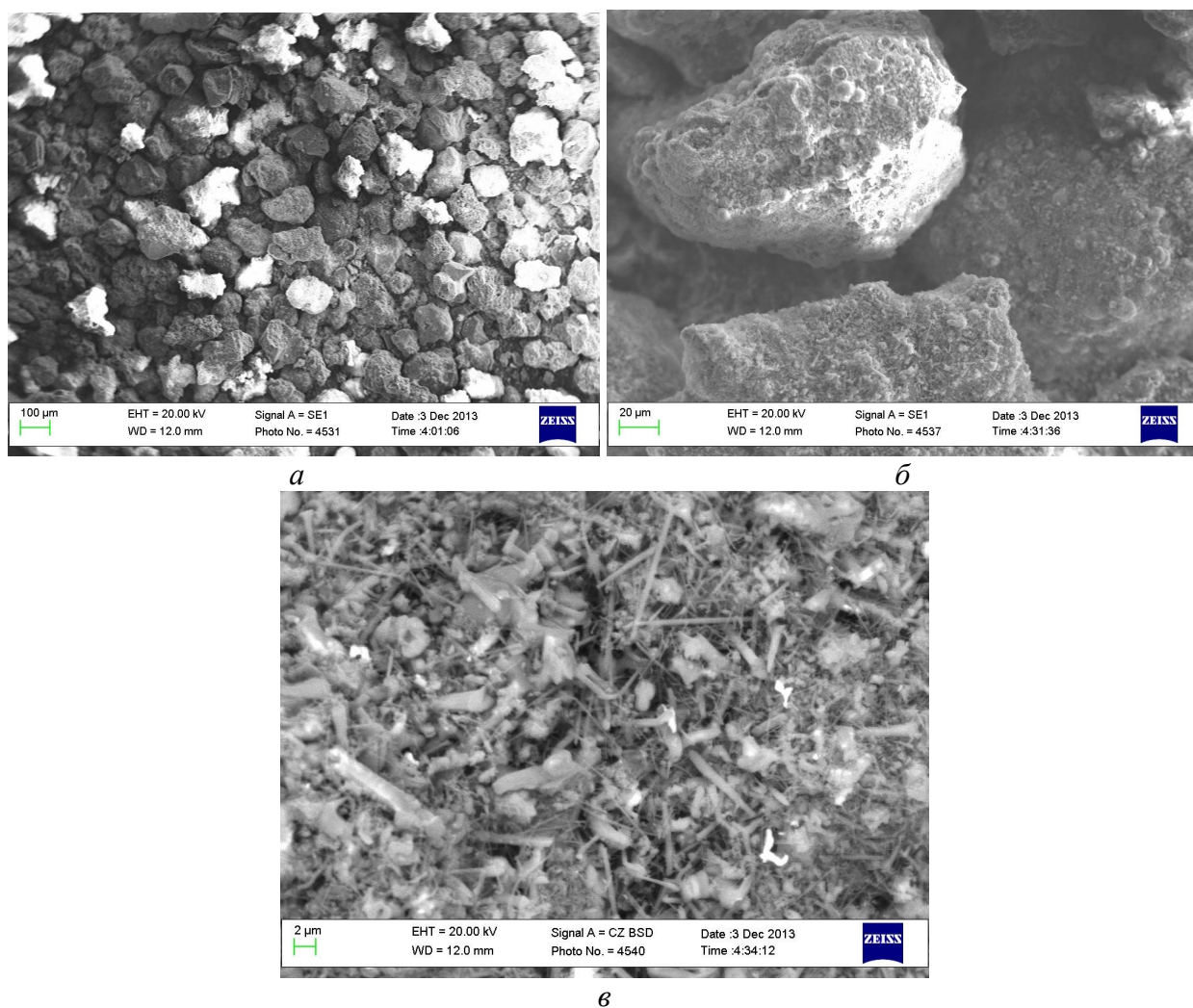


Рис. 2. Электронно-микроскопическое изображение алмазов марки АС6 125/100, металлизированных Si и покрытых Al, при температуре спекания 750 оС: а – общий вид порошка; б – отдельный кристалл; в – поверхность кристалла



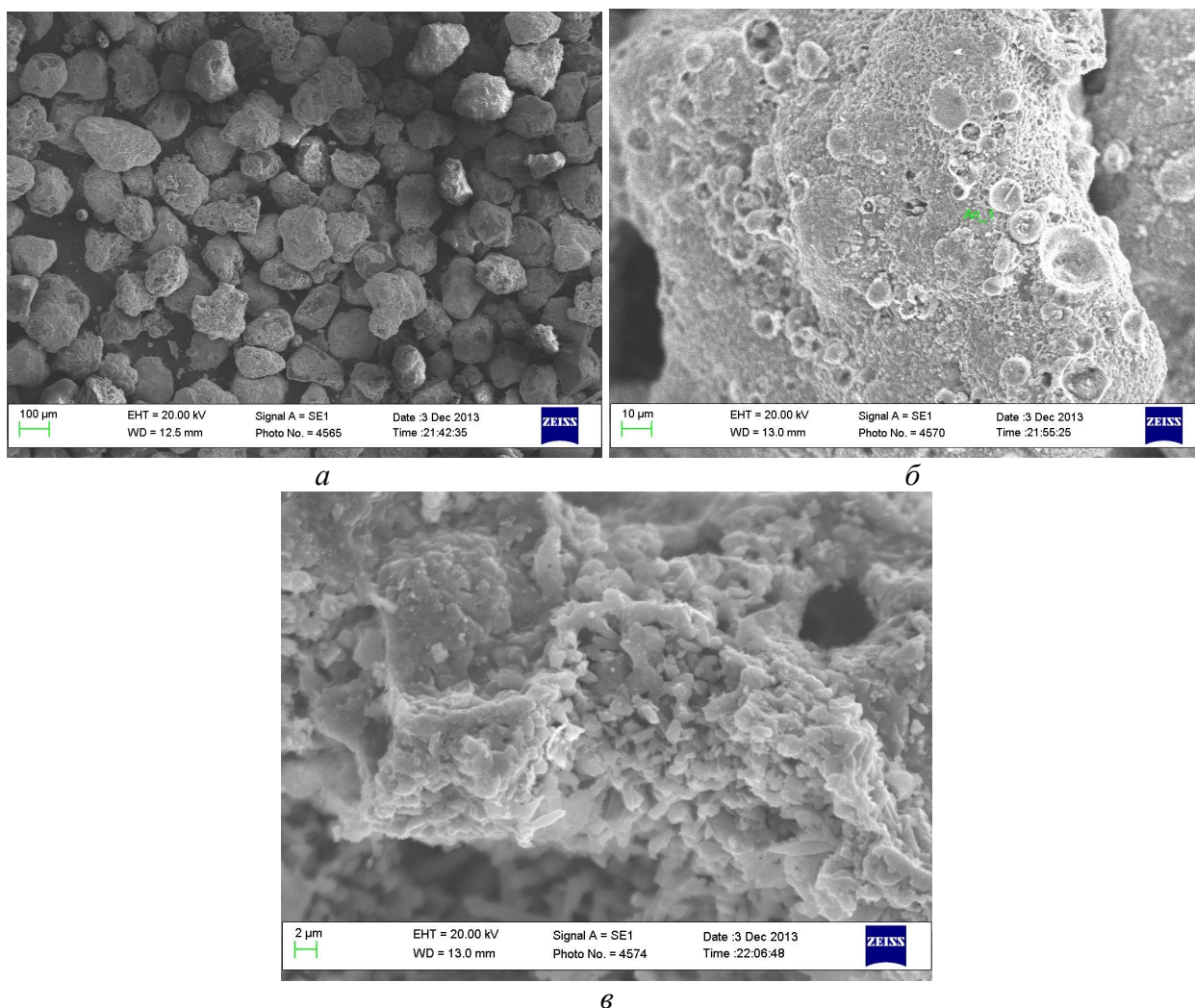


Рис. 3. Электронно-микроскопическое изображение алмазов марки AC6 125/100, металлизированных Cu и покрытых Al, при температуре спекания 900 °C: а – общий вид порошка; б – отдельный кристалл; в – поверхность кристалла

Структура полученных композитов зависит от температуры спекания. Структура Cu–Al, показанная на рис. 2, соответствует композиту Cu–Al, полученному при температуре 750 °C. При повышении температуры до 900 °C образуется более монолитная структура с прочным скелетом и выделением на поверхности эвтектики взаимодействующих компонентов покрытия (рис. 3).

Растворимость углерода в меди при температуре спекания 750 и 900 °C чрезвычайно мала и даже при температуре 1100 °C составляет 0,0001 мас. % [6].

Растворимость углерода в никеле больше и при температуре более 400 °C возможно образование фазы Ni<sub>3</sub>C<sub>2</sub>.

Согласно [6] растворимость меди в алюминии в твердом состоянии при температуре 548 °C составляет 5,7 мас. % и по мере повышения температуры спекания уменьшается. Поскольку образцы спекали при фиксированной температуре 750 и 900 °C, в этом интервале в результате диффузионного взаимодействия возможно образование трех основных фаз: кубической  $\gamma_2$  (Cu<sub>9</sub>Al<sub>4</sub>),  $\gamma_1$  с моноклинной решеткой (Cu<sub>32</sub>Al<sub>19</sub>) и Cu<sub>30</sub>Al<sub>20</sub>, структура которой неизвестна. Приведенные типы структур очень близки по параметрам, обнаружить двухфазную область не удалось.

Растворимость Ni в Al в твердом состоянии (при температуре 640 °С) составляет 0,05 мас. %; при температуре 630 °С и выше предполагаем возможность образования фазы постоянного состава Ni<sub>3</sub>Al.

Сравнительные результаты измерения статической (механической) прочности алмазов исходных без покрытия и с металлизированным покрытием приведены в таблице.

**Статическая (механическая) прочность алмазов исходных без покрытия и с металлизированными покрытиями**

Образец	Статическая (механическая) прочность P, Н
АС6 125/100	7,82
АС6 125/100 – Ni	8,56
АС6 125/100 – Cu	12,26
АС6 125/100 – Ni–Al	9,04
АС6 125/100 – Cu–Al (750 °С)	13,10
АС6 125/100 – Cu–Al (900 °С)	7,99

Из данных таблицы следует, что прочность металлизированных порошков выше, чем исходных. Если прочность исходных порошков алмаза составляла 7,8 Н, то после металлизации поверхности порошка алмаза Ni повысилась примерно на 10%, а после покрытия Al – на 16% и составила 9,0 Н. После металлизации порошка алмаза Cu прочность составила 12,3 Н, после покрытия Al – 13,1 Н, примерно на 50% превысив прочность исходного порошка.

Результаты измерения электрофизических характеристик алмазов, металлизированных композиционными покрытиями в виде удельного электросопротивления  $\rho$ , показали, что в исходном порошке алмаза  $\rho=5,5 \cdot 10^{10}$  Ом·м, а после металлизации порошков алмаза электропроводными металлами Ni и Cu материал, естественно, становится электропроводным с  $\rho=1 \cdot 10^{-5}$  и  $\rho=1 \cdot 10^{-6}$  Ом·м соответственно. Удельное электросопротивление алмазов, металлизированных композиционными покрытиями (Ni–Al и Cu–Al) на порядок выше. При этом если удельное электросопротивление металлизированных алмазов низкое, то электропроводимость процесса будет выше и при электроэрозийном шлифовании должно положительно повлиять на износостойкость инструмента.

При термоокислении алмазов исходных и металлизированных в температурном интервале 20–1000 °С в воздушной среде, общая потеря массы исходных алмазов составила 8%. Это обусловлено как термоокислением алмазов при температуре более 500 °С, так и графитизацией алмаза при более высокой температуре (~930 °С).

Аналогичная картина наблюдается при окислении образцов алмаза металлизированных Ni и Cu. Металлизация алмаза Cu обеспечивает температуру начала потери массы в области ~930 °С, Ni – при более высокой температуре (~960 °С). Композиционное покрытие Cu–Al способствует снижению температуры начала основной потери массы до ~880 °С, для образцов, металлизированных Ni–Al – до ~920 °С. Для образцов алмаза АС6 – Ni–Al на кривой термограммы наблюдается незначительная потеря массы при температуре 440 °С, что, вероятно, обусловлено более высокой относительно углерода алмаза каталитической активностью Ni по сравнению с Cu, а также разрушением на поверхности алмазов карбонильных и карбоксильных групп.

Для оценки эффективности использования износостойкости композитов на основе алмазов марки АС6 зернистостью 125/100, металлизированных Ni, Cu, композиционными покрытиями Ni–Al и Cu–Al изготовили серию шлифовальных кругов формы 12А2-45° на полимерной связке В2-08. Изготовленные круги переданы для испытания.

### Выводы

1. Структура поверхности металлизированных композиционных покрытий Ni–Al и Cu–Al зависит от природы подслоного покрытия и температуры спекания.
2. Игольчатая поверхностная структура композиционного покрытия обусловлена образованием интерметаллитных фаз сложного стехиометрического состава.
3. Снижение термоокислительной стойкости металлизированных композиционных покрытий порошков алмаза обусловлено каталитической активностью элементов покрытий по отношению к углероду алмаза.

*Наведено результати отримання композиційних покриттів на порошках алмазу марки АС6 зернистістю 125/100 на базі одиничних покриттів з Ni та Cu. Досліджено структуру поверхні металізованих композиційних покриттів Ni–Al та Cu–Al і показано, що структура залежить від природи підшарового покриття і температури спікання.*

**Ключові слова:** композиційні покриття, металізація поверхні порошків алмазу, структура, термоокислення, графітизація поверхні.

*There are results of reception of composite coverings on powders of diamond of mark АС6 of granularity 125/100 are submitted on the basis of individual coverings from Ni and Cu in article. The structure of a surface of metallized composite coverings Ni–Al and Cu–Al is investigated and is shown, that the structure depends by nature coverings and temperatures of sintering.*

**Key words:** composite coverings, metallization of a surface of powders of diamond, structure, thermal-oxidation, graphitization of a surface.

### Литература

1. Дуда Т.М. Эффективные покрытия для порошков алмаза и КНБ, их структурные особенности и области промышленного применения / Т.М. Дуда // Синтез, спекание и свойства сверхтвердых материалов. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2005. – С. 86–95.
2. Инструмент из металлизированных сверхтвердых материалов / Е.М. Чистяков, А.А. Шепелев, Т.М. Дуда, В.П. Черных. – К.: Наук. думка, 1982. – 204 с.
3. Дуда Т.М. Металлизированные алмазные микро- и ультрадисперсные порошки повышают эффективность обработки природного алмаза / Т.М. Дуда, Н.И. Калайда, Н.П. Гонтарь // Инструмент. світ. – 2000. - № 9. – С. 11–13.
4. Дуда Т.М. Некоторые особенности получения и физико-механические свойства алмазных порошков, металлизированных композиционными химическими покрытиями с включением УДА / Т.М. Дуда, Ю.И. Никитин, В.Г. Полторацкий и др. // Сверхтвердые матер. – 2000. - № 5. – С. 88–94.
5. Дуда Т.М. Взаимодействие на границах контакта алмаз – покрытие – связка / Т.М. Дуда // Сверхтвердые матер. – 1986. - № 5. – С. 30–33.
6. Хансен М. Структуры двойных сплавов / М. Хансен, К. Андерко - М., 1962. – Т. 1. – 608 с.
7. М 23.9–303:2014. Методика определения удельного электрического сопротивления дисперсных порошков сверхтвердых материалов. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2014. – 6 с.
8. ДСТУ 3292-95. Порошки алмазні синтетичні. Загальні технічні умови. – К.: Держстандарт України, 1996. – 69 с.

*Поступила 29.05.14*