

13. Интенсивное электроспекание алмазосодержащих композиционных материалов / А. Л. Майстренко, С. А. Иванов, В. П. Переяслов, М. Н. Волошин // Сверхтвердые матер. – 2000. – № 5. – С. 39–45.
14. Интенсивное электроспекание металлических матриц алмазосодержащих композитов в присутствии жидкой фазы / Р. С. Шмегера// Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – К. : ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, ИПЦ АЛКОН НАН України, 2012. – № 15. – С. 507–510.
15. A new investigation of the system Ni–Sn/ Schmetterer et al.// Intermetallics. – 2007. – **15**. – P. 869–884.
16. Effective thermal conductivity of composites with interfacial thermal barrier resistance/ D. P. H. Hasselman, L. F. Johnson // J. Comput. Mater. – 1987. – **21**. – P. 508–515.
17. The measurement of thermal properties of diamond/ Y. Yamamoto, T. Imai, K. Tanabe et al. // Diamond and Related Mater. – 1997. – **6**. – P. 1057–1061.

Надійшла 28.05.15

УДК 621.921.34-492.2:536.421.5:539.89

**Е. М. Луцак; О. О. Бочечка**, д-р техн. наук

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

### **ЗАКОНОМІРНОСТІ ПРОСОЧЕННЯ РОЗПЛАВАМИ МЕТАЛІВ ПОРИСТОЇ СИСТЕМИ, УТВОРЕНОЇ АЛМАЗНИМ НАНОПОРОШКОМ ПРИ ВИСОКИХ ТИСКУ І ТЕМПЕРАТУРІ**

*В роботі розглядаються особливості просочення алмазного нанопорошку рідким кобальтом і розплавом мідь-титан під дією високого тиску*

**Ключові слова:** *просочення, алмазний нанопорошок, капілярний тиск, карбідоутворення*

#### **Вступ**

Для металізації нанокомпозиту «алмаз–WC» при його одержанні в умовах високого тиску важливе значення має дослідження взаємодії між рідкою металевою фазою і пористим середовищем, утвореним під дією високих тиску і температури на алмазний нанопорошок. В роботі розглянуті особливості просочення за вказаних умов алмазного нанопорошку детонаційного синтезу УДА розплавом кобальту із твердого сплаву ВК-15 та розплавом мідь-титан.

#### **Методика роботи**

Міграцію рідкого кобальту з твердого сплаву ВК-15 і розплавом мідь-титан здійснювали при тиску 8 ГПа в діапазоні температур 1500-1900 °С в робочій комірці апарату високого тиску (АВТ) типу «тороїд» шляхом просочення рідкої фази через середовище, утворене за таких умов алмазним нанопорошком. Перед завантаженням зразків в АВТ здійснювали десорбцію газів з поверхні алмазного нанопорошку. Час міграції рідкої фази  $\tau$  на задану глибину  $l$  визначався безпосередньо в навантаженому апараті високого тиску [1]. Згідно закону Дарсі [2]:

$$l^2 = 2 \frac{K_p}{\eta} \Delta p \tau,$$

де  $K_p$  – коефіцієнт проникності,  $\Delta p$  – різниця тисків на вході і виході капілярів,  $\eta$  – в'язкість рідини.

Величину  $k = 2 \frac{K_p}{\eta} \Delta p$  називають також коефіцієнтом просочення [3].

Температуру визначали за записаними значеннями потужності електричного струму згідно калібровочного графіка.

Реєстрація початку та кінця просочення відбувалась за характерними змінами струму, які фіксувались та передавались на ПК.

### Обговорення результатів

Коефіцієнт поверхневого натягу рідкого кобальту  $\sigma = 1,846 \text{ Дж/м}^2$  [4]. Якби просочення відбувалось по каналах, утворених між частинками розміром 10–100 нм, ефективний діаметр таких капілярів становив би 1–10 нм [5]. Згідно розрахунку (рис. 1) в цьому випадку величина тиску Лапласа досягає 0,8–7,5 ГПа.

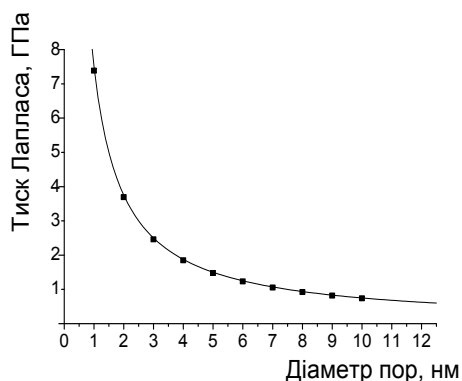
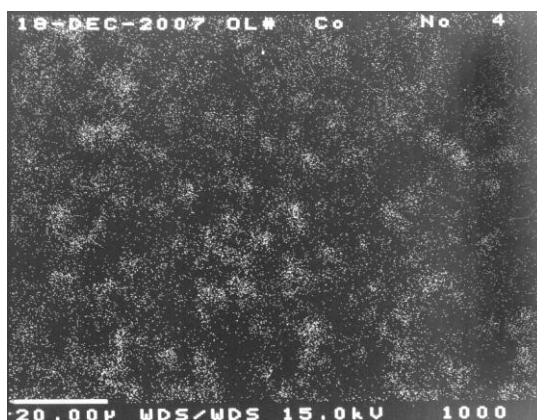


Рис. 1. Залежність капілярного тиску від розміру пор для рідкого кобальту за умови повного змочування

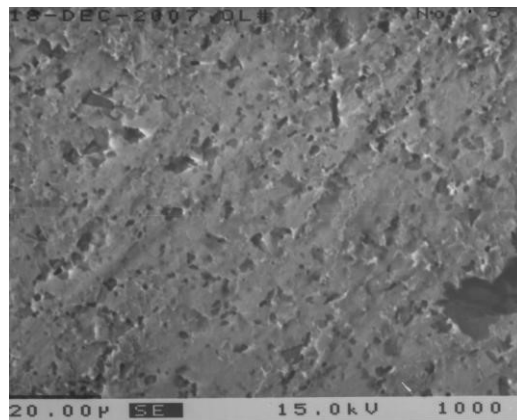
Проте слід зазначити, що поверхнева енергія алмазу ( $9,2 \text{ Дж/м}^2$  [6]) в 5 разів перевершує поверхневу енергію кобальту. Тому капілярні сили приводять, в першу чергу, до агломерації алмазних наночастинок і збільшення розміру пор між агломератами.

Структурний аналіз зразків, отриманих в результаті експериментів, показав, що просочення в процесі спікання алмазного нанопорошку відбувається по всьому об'ємі зразка, але не між зернами, як це характерно для мікропорошків, а між агломератами зерен по каналах діаметром 3–4

мкм (рис. 2).



а



б

Рис. 2. Структура зразка, одержаного просоченням нанопорошку УДА: а) в характерному випромінюванні кобальту, б) у вторинних електронах

За умови повного змочування капілярний тиск для пори діаметром 3 мкм становить  $\frac{2\sigma}{r} = 2,5 \cdot 10^6 \text{ Па}$ , тобто капілярний тиск в таких порах менший від прикладеного зовні на три порядки. Неповне змочування веде до збільшення радіусу кривизни поверхні, в результаті чого капілярний тиск стає ще меншим. Це свідчить про те, що основною рушійною силою просочення алмазного нанопорошку є тиск, який прикладається зовні.

При просоченні алмазного нанопорошку розплавом мідь-титан в зазначеному температурному інтервалі можна виділити дві ділянки. Коефіцієнт просочення алмазного нанопорошку розплавом мідь-титан знижується в інтервалі температур 1500–1650 °С, подальше підвищення температури веде до його зростання [7] (рис. 3).

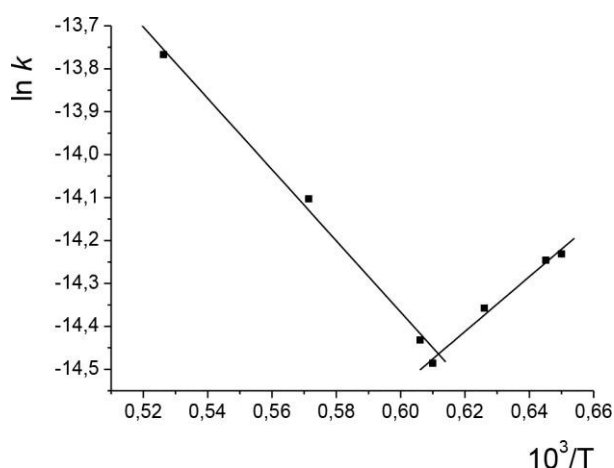


Рис. 3. Температурна залежність коефіцієнта просочення в координатах  $\ln \kappa—1/T$

Рентгенофазовий аналіз отриманих зразків виявив утворення карбїду  $TiC$  під час просочення, який, вочевидь, сповільнює міграцію рідкої фази. При підвищенні температури карбїд розпадається і коефіцієнт просочення знову зростає.

### Висновки

Просочення алмазного нанопорошку кобальтом відбувається по всьому об'ємі зразка каналами діаметром 3-4 мкм поміж агломератами зерен.

Основною рушійною силою просочення алмазного нанопорошку є зовнішній тиск, капілярний тиск практично не впливає на процес просочення.

Під час просочення алмазного нанопорошку розплавом мідь-титан в умовах високого тиску в діапазоні температур 1500-1650 °C відбувається утворення карбїду титану  $TiC$ , що призводить до зниження коефіцієнта просочення із зростанням температури у вказаному діапазоні.

*В работе рассматриваются особенности пропитки алмазного нанопорошка жидким кобальтом и расплавом медь-титан под действием высокого давления*

**Ключевые слова:** пропитка, алмазный нанопорошок, капиллярное давление, карбидообразование

*This article considers peculiarities of impregnating of diamond nanopowder by cobalt liquid and copper-titanium melt under high pressure*

**Key words:** impregnating, diamond nanopowder, capillary pressure, the formation of carbides

### Література

1. Бочечка А. А. Миграция жидкой фазы при спекании алмазных порошков методом пропитки в условиях высоких давлений и температур // Сверхтвердые материалы. - 1999. - № 2. - С. 17–23.
2. Шейдеггер А. Э. Физика течения жидкостей через пористые среды. – М.: Гостоптехиздат, 1960. – 252 с.
3. Лисовский А.Ф. Миграция расплавов металлов в спеченных композиционных телах. – Киев: Наук. думка, 1984. – 256 с.
4. Ершов Г.С., Бычков Ю. Б. Физико-химические основы рационального легирования сталей и сплавов. – М.: Металлургия, 1982. – 360 с.
5. Бочечка А. А. Изучение факторов, определяющих кинетику миграции жидкой фазы при спекании алмазных порошков методом пропитки // Поликристаллические материалы на основе синтетического алмаза и кубического нитрида бора. — Киев: ИСМ АН УССР, 1990. – С. 15–24.
6. Алмаз. Справочник / Д. В. Федосеев, Н. В. Новиков, А. С. Вишневецкий, И. Г. Теремецкая. - Киев: Наукова думка, 1981. - 78 с.

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. наук<sup>1</sup>, **В. И. Лавриненко**, д-р. техн. наук<sup>1</sup>, **М. Н. Сафонова**, канд. техн. наук<sup>2</sup>, **Г. А. Петасюк**<sup>1</sup>, **А. А. Девицкий**, кандидаты технических наук<sup>1</sup>, **В. С. Шамраева**<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Северо-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 востребуемыми, к тому же с тенденцией к накоплению. Поэтому актуальной является задача вовлечения этих не востребуемых (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,