

Исследование процессов обработки

УДК 661.657.5-492.2:621.922.025

В. І. Лавріненко*, **Б. В. Ситник**, **В. Г. Полторацький**,

О. О. Бочечка** (м. Київ)

В. Ю. Солод (м. Дніпродзержинськ)

*ceramic@ism.kiev.ua

**bochekha@ism.kiev.ua

**Композити на основі мікропорошків КНБ,
структурованих вуглецевою зв'язкою,
як функціональні елементи в структурі
робочого шару алмазно-абразивного
інструменту.**

**1. Шліфпорошки з композитів як абразивні
елементи**

Описано формування з дрібнодисперсних мікропорошків кубічного нітриду бору композитів, структурованих вуглецевою зв'язкою, і досліджено можливості їх застосування як абразивних елементів в робочому шарі шліфувальних кругів для досягнення необхідних експлуатаційних характеристик кругів в процесах шліфування.

Ключові слова: *композити, мікропорошки, абразивні елементи, робочий шар, шліфувальний круг.*

Для сучасного виробництва характерним є розширення номенклатури надтвердих матеріалів, які застосовуються в інструментах для виготовлення нових видів виробів, та розробка технологій отримання їх поверхонь із специфічними функціональними і технологічними характеристиками. Традиційно для цього використовують шліфпорошки, які являють собою монокристали надтвердих матеріалів (НТМ) – алмазу та кубічного нітриду бору (КНБ). Проте у багатьох випадках, вказані матеріали не дозволяють досягти необхідних показників якості поверхонь оброблюваних матеріалів та зменшити собівартість процесів оброблення. Це викликає необхідність пошуку нових абразивних надтвердих матеріалів. Як приклад можна привести шліфпорошки, отримані подрібненням полікристалічного надтвердого матеріалу гексаніту-А [1], отриманого за високих тисків. Вказані шліфпорошки використовують при абразивній обробці, але внаслідок специфічного зношу-

© В. І. ЛАВРІНЕНКО, Б. В. СИТНИК, В. Г. ПОЛТОРАЦЬКИЙ, О. О. БОЧЕЧКА, В. Ю. СОЛОД, 2014

вання абразивних зерен їх застосовують лише для обмежених режимів шліфування.

Виробництво порошків надтвердих матеріалів, як монокристалічних, так і полікристалічних, супроводжується накопиченням значної кількості порошків, попит на які на ринку невеликий. Для алмазу та КНБ це здебільшого дрібнодисперсні мікропорошки зернистостей 3/2, 3/1, 2/1, 1/0, 0,5/0, тільки незначну частину яких використовують при виготовленні шліфувально-полірувальних сумішей (паст, суспензій) [2]. Крім того, при існуючих технологіях виготовлення монокристалічних шліфпорошків КНБ (кубоніту, ельбору) максимальний розмір частинок обмежується зернистістю 200/160, що в багатьох випадках не дозволяє вирішувати назрілі задачі металообробки. Тому розробки способів виготовлення шліфпорошків КНБ більш крупної зернистості у вигляді полікристалічних композитів з мікропорошків КНБ і застосування їх в алмазно-абразивних інструментах є актуальними.

Одним з напрямків вирішення вказаної задачі є розробка технології компактування мікропорошків КНБ методом осадження вуглецевої зв'язки з газової фази і отримання з одержаних композитів шліфпорошків усієї гама зернистості – від 50/40 до 630/500 мкм [3]. В Інституті надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України проведені дослідження і розроблені теоретичні основи отримання (в середовищі вуглецевмісного газу – метану) щільних полікристалічних композитів кубічного нітриду бору, придатних для виготовлення з них шліфпорошків. Для цього було проведено брикетування мікропорошків КНБ з розміром зерен < 3 мкм з подальшим формуванням в реакторі фізико-хімічного синтезу міцної вуглецевої зв'язки між зернами КНБ, армованої нитками і коконами, способом поліконденсації з метану при високій (~ 1250 °С) температурі, тиску метану нижче атмосферного та використанні молібденового каталізатора (рис. 1). Встановлено, що для отримання композитів і шліфпорошків з максимальною густиною та міцністю зерен при зменшенні зернистості вихідних мікропорошків ($3/2 \rightarrow 3/1 \rightarrow 2/1 \rightarrow 1/0 \rightarrow 0,5/0$) підвищуються витрати CH_4 (від $3,1 \cdot 10^{-5}$ до $3,5 \cdot 10^{-5}$ м³/с), зменшуються тиск (від $2,5 \cdot 10^4$ до $2,2 \cdot 10^4$ Па) і температура (від 1250 до 1100 °С) [4]. Це дозволило уточнити технологічні режими та виготовити композити, з яких методами вибіркового дроблення, ситової класифікації і сортування за формою зерен отримано шліфпорошки різних зернистостей, характеристики міцності яких наведено в табл. 1.



Рис. 1. Загальний вигляд частинок композиту К 160/125.

Таблиця 1. Основні характеристики композитів з мікропорошків КНБ

Вихідні мікропорошки КНБ	Міцність композитів, Н, по зернистості			Вихід порошоків, придатних для використання, %
	400/315	250/200	125/100	
КМ 3/2	7,5	4,9	3,0	92
КМ 3/1	7,1	4,8	2,9	90
КМ 2/1	6,3	4,5	2,8	89
КМ 1/0	6,0	4,1	2,5	87

Порівняння даних табл. 1 з показниками відомих марок монокристалічних порошоків КНБ дає підстави стверджувати, що отримані композиційні шліфпорошки КНБ за своїми характеристиками суттєво не відрізняються від монокристалічних шліфпорошків і їх можна використовувати в шліфувальному і полірувальному алмазно-абразивному інструменті для обробки інструментальних, м'яких і загартованих сталей та інших матеріалів. Як приклад, наведемо результати дослідження абразивної здатності (згідно ДСТУ 9238–95) шліфпорошків зернистістю 160/125 та 125/100 з композитів на основі КМ 3/2 та КМ 3/1 при обробці різних матеріалів в порівнянні з вихідними мікропорошками (табл. 2).

Таблиця 2. Результати випробування паст з шліфпорошків композиційних матеріалів при обробці зразків з різних матеріалів

Зернистість паст	Абразивна здатність паст, мг, на різних зразках				Ra, мкм
	бронза	мідь	сталь 10	твердий сплав ВК6	
160/125 (вихідний КМ 3/1)	72,10±0,05	93,95±0,05	5,00±0,05	3,65±0,05	0,05
125/100 (вихідний КМ 3/2)	72,00±0,05	91,80±0,05	5,60±0,05	3,50±0,05	0,04
КМ 3/1	11,11±0,05	5,85±0,05	немає зняття	немає зняття	0,04
КМ 3/2	10,48±0,05	5,15±0,05	немає зняття	немає зняття	0,04

Як видно з табл. 2, величина абразивної здатності паст з композиційних шліфпорошків в 5–15 разів перевищує абразивну здатність вихідних мікропорошків КНБ практично при однаковій шорсткості обробленої поверхні. Оскільки отримані шліфпорошки мають абразивну здатність, наступним кроком є дослідження експлуатаційних характеристик виготовленого з них шліфувального інструменту.

Для цього з композиційних шліфпорошків різної зернистості, отриманих з мікропорошків КМ 3/2–1/0, були виготовлені шліфувальні круги форми 12А2-45°125×5×3×32 на полімерній зв'язці. Шліфування без охолодження зразків з швидкорізальної сталі Р6М5 проводили на модернізованому універсально-заточувальному верстаті мод. 3В642. Було визначено наступні експлуатаційні показники: відносні витрати НТМ в крузі при шліфуванні – q_p , мг/г; різальну здатність круга (продуктивність шліфування) – Q , мм³/хв; ефективну потужність шліфування – $N_{\text{еф}}$, кВт. Шорсткість оброблених поверхонь контролювали за допомогою профілографа-профілометра мод. SurfTest SJ-201 фірми “Mitutoyo” (Японія).

Результати випробувань кругів із шліфпорошками на основі композитів, одержаних з мікропорошків КНБ різної зернистості (від К160/125 до К630/500), при шліфуванні сталі Р6М5 наведено в табл. 3. Круги випробовували при різній продуктивності шліфування за умови збереження їх різальної здатності. Експерименти закінчували, якщо круги втрачали різальну здатність, а на оброблюваній поверхні виникали помітні припикання.

Таблиця 3. Результати випробувань кругів із шліфпорошків різної зернистості на основі композитів з мікропорошків КНБ

Характеристика порошку КНБ	Продуктивність шліфування Q, мм ³ /хв	Відносні витрати КНБ q _p , мг/г	Шорсткість обробленої поверхні Ra, мкм	Ефективна потужність шліфування N _{еф} , кВт
К 630/500	120*	–	0,44	0,4
К 250/200	120	36,5	0,37	0,3
	200*	31,4	0,93	0,2
К 160/125	120	3,7	0,46	0,1
	200	3,1	0,72	0,1
	300*	25,0	0,93	0,2

* Помітне припикання на оброблюваній поверхні.

З аналізу результатів випробувань кругів з зернами композитів, одержаних з мікропорошків КНБ (див. табл. 3), можна зробити наступні висновки:

– підвищення зернистості порошків з композитів погіршує їх різальну здатність. Так, круг з найбільшою зернистістю 630/500 навіть при мінімальній (120 мм³/хв) продуктивності шліфування втрачає різальну здатність, різко підвищується (до 0,4 кВт) ефективна потужність, при цьому спостерігається сильне припикання оброблюваної поверхні;

– зменшення зернистості порошків з композитів до 160/125 дозволяє підвищити різальну здатність круга. При цьому, круг з зернистістю 160/125 при продуктивності обробки 200 мм³/хв та відносних витратах КНБ в 3,1 мг/г не давав припикань на обробленій поверхні, але подальше підвищення (до 300 мм³/хв) продуктивності шліфування призвело до значного підвищення зносу круга та появи припикань на оброблюваній поверхні.

Отже, виходячи з наведеного вище, можна констатувати, що різальна здатність кругів при застосуванні зерен композитів, сформованих з мікропорошків КНБ, є невеликою, хоча зменшення зернистості частинок композитів її покращує. Разом з тим, імовірно, через незвичний (пошаровий) знос зерен композитів формується неоднорідний, незвичний для традиційних кругів з НТМ, профіль мікронерівностей обробленої поверхні з наявністю на ній своєрідних “кишень” (рис. 2).

Для підвищення міцності зерен композитів та покращення їх адгезійної взаємодії з матеріалом зв’язки була проведена їх металізація. Було відібрано композити меншої (К 160/125) зернистості і проведено металізацію нікелем Н1Д (29,2 %) (рис. 3). Додатково було металізовано композити зернистістю 315/250. З них було виготовлено шліфувальні круги, які випробовували при обробці швидкорізальної сталі Р6М5 (див. табл. 4).

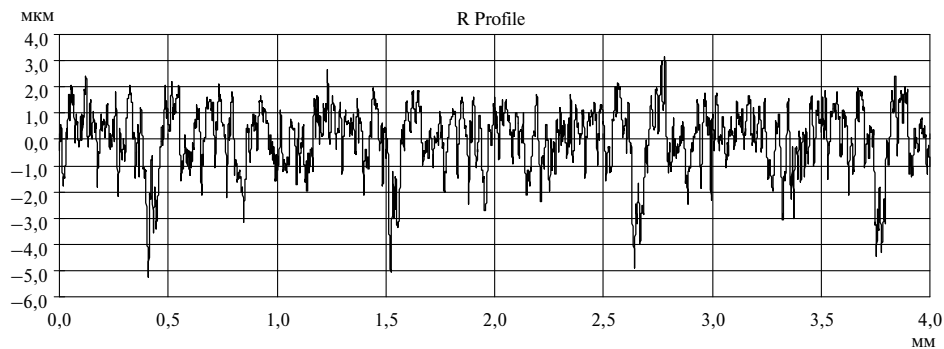


Рис. 2. Профіль мікронерівностей поверхні, обробленої кругом з неметалізованими зернами композиту К 160/125 для продуктивності шліфування $300 \text{ мм}^3/\text{хв}$.



Рис. 3. Загальний вигляд металізованих частинок шліфпорошку зернистістю 160/125 з композиту на основі мікропорошків КНБ, структурованого вуглецевою зв'язкою.

Як видно з даних табл. 4, металізація композитів покращує експлуатаційні показники кругів: для композитів К 160/125 при продуктивності шліфування $300 \text{ мм}^3/\text{хв}$ знос круга зменшується з 25,0 до 19,5 мг/г, ефективна потужність шліфування – з 0,20 до 0,11 кВт, а це, в свою чергу, приводить до зменшення припикань на обробленій поверхні.

На відміну від кругів зі стандартними шліфпорошками КНБ, коли їх металізація призводить до підвищення шорсткості обробленої поверхні, для кругів з зерен композитів спостерігається протилежне: металізація зерен обумовлює зниження шорсткості оброблюваної поверхні. Пов'язано це, як було зазначено, з пошаровим механізмом зносу композитів, котрий зберігається і після їх металізації. Про це свідчить і те, що підвищення продуктивності обробки у 5 разів (з 120 до $600 \text{ мм}^3/\text{хв}$) призвело до збільшення висотних параметрів шорсткості, наприклад, R_a у 1,5 рази – з 0,59 до 0,90 мкм, а R_{max} майже у 2 рази – з 4,74 до 8,85 мкм. При цьому крок нерівностей практично не змінився – 26 і 29 мкм, як і параметри опорної кривої: на рівні 20 % R_{max} $t_{20} = 6,85$ та 6,60 %.

Крім того, металізація композитів впливає на особливості формування мікронерівностей обробленої поверхні і особливо при перевищенні продуктивності шліфування понад $300 \text{ мм}^3/\text{хв}$. При цьому змінюється характер мікронерівностей: мікропрофіль із “звичайного” (рис. 4, а) перетворюється в мік-

ропрофіль з характерними “кишенями” (рис. 4, б). Це явище спостерігалось для неметалізованого композиту К 160/125 (див. рис. 2).

Таблиця 4. Експлуатаційні характеристики кругів на полімерній зв’язці В2-08 з металізованими шліфпорошками з композитів при шліфуванні сталі Р6М5 (швидкість обертання круга – 11,5 м/хв, поздовжня подача – 0,05 мм/подв. хід)

Характеристика композитів	Продуктивність шліфування Q, мм ³ /хв	Відносні витрати КНБ q _p , мг/г	Шорсткість обробленої поверхні Ra, мкм	Ефективна потужність шліфування N _{еф} , кВт
Металізований композит НІД				
(К 160/125) _{НІД(29,2%)}	120	13,8	0,59	0,05
	200	11,9	0,72	0,08
	300*	19,5	0,71	0,11
	400**	19,6	0,85	0,20
	600***	56,8	0,90	0,33
К 160/125	300*	25,0	0,93	0,20
(К 315/250) _{НІД(29,2%)}	120	35,8	–	0,08
	200	25,2	–	0,10
	300*	30,2	–	0,15
	400**	85,8	0,96	0,34

* Помітні припікання на обробленій поверхні.

** Сильні припікання на обробленій поверхні.

*** Дуже сильні припікання на обробленій поверхні.

Примітка. Для порівняння приведено дані для вихідного композиту К 160/125 (виділено жирним шрифтом).

Таким чином, металізація композитів не змінює механізм їх зносу, хоча і вносить певні особливості – якщо при невеликій продуктивності шліфування наявність металевої оболонки (самого покриття) притримує пошаровість зносу, то при продуктивності вище 300 мм³/хв ця оболонка вже не впливає на особливості зносу і вони стають ідентичними як для неметалізованих композитів, так і для металізованих. Це можна спостерігати по тотожному характеру мікронерівностей, які сформовані на оброблених поверхнях (див. рис. 2 і 4, б). Як наслідок, така пошаровість зношування дозволяє досягти ефекту, характерного для площинно-вершинного хонінгування, коли дещо підрізаються найбільші вершинки мікронерівностей, що виступають. На основі аналізу результатів табл. 4 можна зробити висновок, що металізація більш крупних частинок композитів (середній розмір більший в 2 рази) не змінює механізм роботи композитів з КНБ в кругах: по-перше, як і очікувалось, підвищення зернистості композитів тільки погіршує експлуатаційні показники кругів; по-друге, з ростом зернистості, навіть металізованих композитів, зростає ефективна потужність шліфування та підвищується, хоча і не набагато, шорсткість обробленої поверхні.

В цілому аналіз результатів досліджень експлуатаційних характеристик кругів із зернами композитів КНБ, структурованих вуглецевою зв’язкою, дозволяє зробити наступні висновки:

– композити з мікропорошків КНБ, як неметалізовані, так і металізовані, потрібно застосовувати як абразивні елементи у робочому шарі кругів для умов доводочного шліфування, коли необхідно сформувати оброблювану поверхню із специфічними масляними кишнями, яку стандартними кругами з НТМ досягти неможливо;

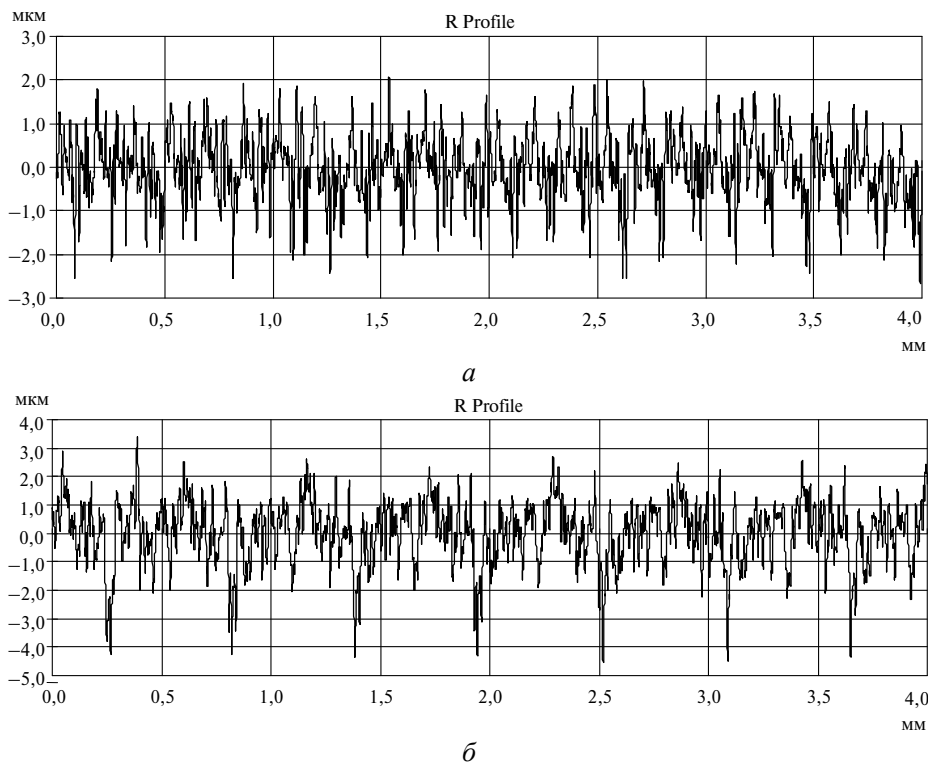


Рис. 4. Профіль мікронерівностей поверхні, обробленої кругом з металізованими частинками композиту (К 160/125)_{Н1} (29,2 %) для продуктивності 120 (а) і 400 (б) мм³/хв.

– враховуючи шаруватість зношування композитів, має сенс у подальшому розглянути їх у ролі додаткових полікристалічних функціональних елементів у робочому шарі кругів з НТМ, які б ефективно захищали зв'язку від зношування.

Описано формирование из мелкодисперсных микропорошков кубического нитрида бора композитов, структурированных углеродной связкой, и исследовано возможности их применения в качестве абразивных элементов в рабочем слое шлифовальных кругов для достижения необходимых эксплуатационных характеристик кругов в процессах шлифования.

Ключевые слова: композиты, микропорошки, абразивные элементы, рабочий слой, шлифовальный круг.

The formation of composites, structured carbon bunch, from finely dispersed cubic boron nitride micropowders is described. Their potential use as abrasive elements in the working layer of grinding wheels to achieve the desired performance in grinding processes is explored.

Keywords: composites, micropowders, abrasive elements, working layer, grinding wheel.

1. *Адамовский А. А.* Некоторые свойства абразивных порошков карбида титана и гексанида-А // Синт. алмазы. – 1979. – Вып. 3. – С. 32–33.
2. *Никитин Ю. И., Уман С. М., Коберниченко Л. В., Мартынова Л. М.* Порошки и пасты из синтетических алмазов. – Киев: Наук. думка, 1992. – 284 с..
3. *Богатырева Г. П., Никитин Ю. И., Лавриненко В. И. и др.* Новый абразивный композиционный материал на основе микропорошков кубонита, полученный при низких давлениях // Синтез, спекание и свойства сверхтвердых материалов: сб. науч. тр. / ИСМ НАН Украины – К.: Логос, 2010. – С. 121–129.
4. *Никитин Ю. И., Богатырева Г. П., Полторацкий В. Г., Петасюк Г. А.* Методы получения требуемых зернистостей алмазных порошков из шлифпорошков пониженного спроса // Инструментальный світ. – 2004. – № 4 (24). – С. 9–12.

Ін-т надтвердих матеріалів
ім. В. М. Бакуля НАН України

Надійшла 28.01.14