

УДК 621.921.34-492.544.023.5:539.215
DOI: [https://doi.org/10.26642/tn-2017-2\(80\)-83-87](https://doi.org/10.26642/tn-2017-2(80)-83-87)

**В.І. Лавріненко, д.т.н., зав. відд.
В.Г. Полторацький, к.т.н, с.н.с.
В.В. Скрябін, к.т.н., н.с.**

*Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України
В.Ю. Солод, к.т.н., декан механ. фак-ту
Дніпродзержинський державний технічний університет МОН України*

Дослідження зносостійкості алмазного шліфувального інструменту, робочий шар якого містить різнодисперсні абразивні порошки з композиційних матеріалів

Наведені результати вивчення можливостей застосування компактованих вуглецевою зв'язкою різнодисперсних порошків синтетичного, природного алмазу та карбїду бору в шліфувальних кругах при обробці твердих сплавів. Для цього були вибрані алмазні порошки АС6 125/100 і на їх поверхню був нанесений композиційний матеріал на основі субмікронних (3/0) фракцій порошків природних алмазів, а також мікропорошків карбїду бору, компактованих вуглецевою зв'язкою методом фізико-хімічного синтезу при тиску, меншому за атмосферний. В даній роботі основним завданням було порівняти особливості експлуатаційних характеристик алмазних кругів, насамперед їх зносостійкості, при використанні в їх робочому шарі різнодисперсних абразивних порошків з отриманих нових композиційних матеріалів на основі природних алмазів та карбїду бору і встановити умови ефективного застосування в шліфувальних кругах. Показано, що часткова (50 %) або повна заміна синтетичних алмазів компактованими порошками, які містять алмази, оточені своєрідним покриттям з мікропорошків природних алмазів або мікропорошків карбїду бору, зв'язаних вуглецевою зв'язкою, дозволяє суттєво підвищити зносостійкість алмазних шліфувальних кругів.

***Ключові слова:** шліфувальний інструмент; робочий шар круга; шліфування; природні алмази; карбїд бору; зносостійкість.*

Вступ. Постановка проблеми. Практична реалізація ефективності високих технологій в області механічної обробки матеріалів безпосередньо пов'язана із застосуванням різних видів шліфувальних інструментів, тим чи іншим чином оснащених алмазними або абразивними порошками з композиційних матеріалів на основі надтвердих матеріалів (НТМ). Згідно концепції високих технологій, такі інструменти повинні мати максимальну продуктивність, мати достатній запас робочого ресурсу, забезпечувати високу ефективність обробки та необхідну якість поверхні, що піддавалася обробці. Останнім часом значна увага приділяється саме порошкам з композиційних НТМ [5, 8, 9]. Обумовлене це тим, що з одного боку в них сполучаються властивості складових композиційного матеріалу, з іншого – є можливість впливати на властивості отриманого композиційного матеріалу шляхом вибору певного відношення компонентних складових, параметрів і умов синтезу матеріалу. Застосування таких абразивних порошків відкриває нові перспективи в сфері алмазно-абразивної обробки.

Аналіз останніх досліджень. Разом з тим, останнього часу на особливу увагу заслуговують компакти, що складаються з алмаза, оточеного надтвердою оболонкою. Така оболонка, на відміну від технологічних покриттів зерен НТМ, дає можливість підвищити утримання компакта у зв'язуючому робочого шару шліфувального круга, оскільки поверхня зерна стає більш розвиненою, а також дає можливість доставки необхідних елементів безпосередньо в зону різання зерном, а це дозволяє змінювати контактні процеси в цій зоні. Це засвідчено низкою досліджень, що були проведені раніше [1, 3], де покриття абразивних зерен, покритих скло, або технологічні покриття металами, змінюють характер контактних процесів в зоні обробки, і, тим самим, безпосередньо впливають на показники процесу шліфування. При цьому, в зоні контакту інструмента з оброблюваним виробом спостерігається електризація, яка є наслідком фрикційного контакту абразивного шару шліфувального круга і оброблювальної поверхні. Виявлено, що є певний зв'язок з величиною електризації, що виникає при шліфуванні, і зносостійкістю абразивного інструмента. Так, при шліфуванні кругами на полімерному зв'язуючому, внаслідок накопичення надлишкового заряду, спостерігається підвищений знос алмазно-абразивного інструмента [1]. Одним з шляхів регулювання рівня електризації є введення в робочий шар шліфувальних кругів додаткових домішок (компактів) [6, 7], а також застосування покриття зерен НТМ [4].

Нашими дослідженнями засвідчено [3], що на фрикційні процеси та електризацію в зоні обробки певний вплив спричиняє внесення компактів в робочий шар інструмента. Подібний вплив можуть здійснювати дрібнодисперсні порошки природних алмазів або карбїду бору, тому важливо вивчити доцільність застосування різнодисперсних абразивних порошків з отриманих нових композиційних матеріалів в шліфувальних кругах. Для цього були вибрані алмазні порошки АС6 125/100 і на їх

поверхню був нанесений композиційний матеріал на основі субмікронних (3/0) фракцій порошків якутських природних алмазів, а також мікропорошків карбіду бору, компактованих вуглецевою зв'язкою методом фізико-хімічного синтезу при тиску, меншому за атмосферний, який детально описаний у роботі [10].

Постановка завдання. В даній роботі нами основним завданням було порівняти особливості експлуатаційних характеристик алмазних кругів, насамперед їх зносостійкості, при використанні в їх робочому шарі різнодисперсних абразивних порошків з отриманих нових композиційних матеріалів на основі природних алмазів та карбіду бору і встановити умови ефективного застосування в шліфувальних кругах.

Викладення основного матеріалу. Дослідження процесу шліфування інструментальних матеріалів кругами з НТМ здійснювали на стенді, створеному на базі модернізованого універсально-заточувального верстату моделі 3В642. При проведенні лабораторних досліджень використовувалися круги форми 12А2-45° розміром 125x40x5x3x32 на полімерних зв'язках з зернистістю НТМ 125/100, 160/125 та 250/200. Зносостійкість кругів оцінювали по значенню відносних витрат НТМ в кругах – q_p , мг/г. Шорсткість оброблюваних поверхонь вимірювалася за допомогою профілометра-профілографа моделі SurfTest SJ-201 фірми Mitutoyo (Японія). Величина напруженості електростатичного поля шламу (Е, кВ/м) при дослідженнях фіксувалася безконтактним шляхом вимірювачем параметрів електростатичного поля ИПЭП-1 (Білорусь). В процесі проведення досліджень застосовувалися наступні композиційні порошки: різнодисперсні порошки синтетичного і природного алмазів зернистістю АС6 125/100 та ЯкА 5/0 і 3/0, як результат отриманий своєрідний компакт, який отримав маркування – КЯ (компакт з якутськими алмазами), зернистістю 160/125 (рис. 1) із вмістом всередині надтвердої оболонки – алмазів АС6 125/100, а також порошки зернистих компактів АС6 125/100 + В₄С + КМ3/2 100/80 (рис. 2).

Рис. 1. Загальний вигляд компакта КЯ 160/125 на основі природних алмазів 3/0 з відходів гранильного виробництва

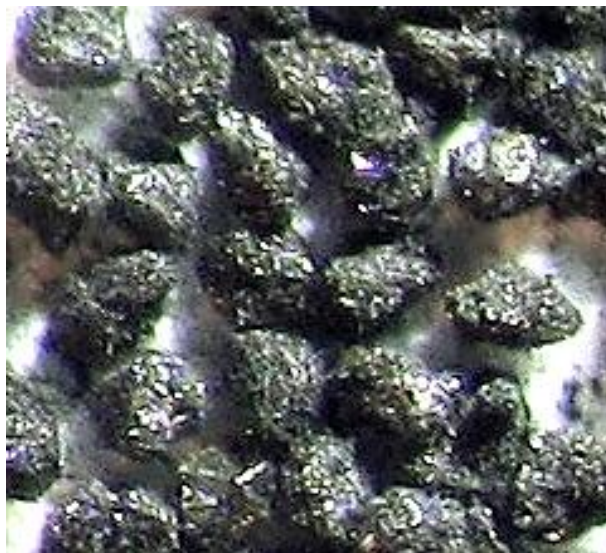
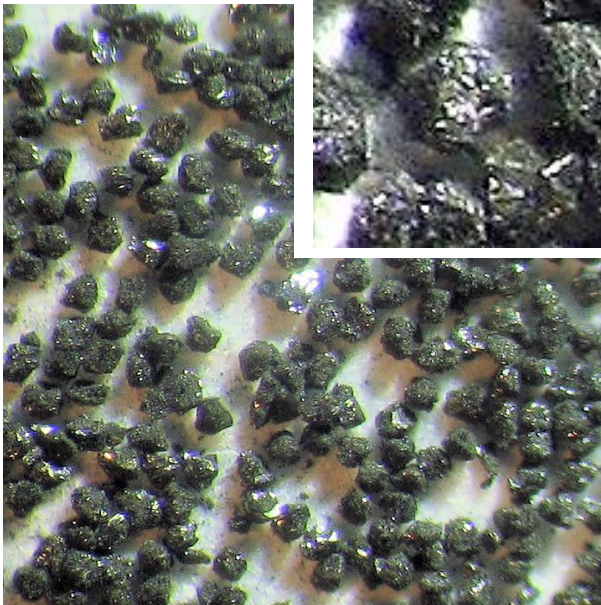


Рис. 2. Компакти марки КБ зернистістю 160/125 на основі карбіду бору

Вкажемо, що вибір карбіду бору як складової компакту викликаний двома обставинами: по-перше, температура початку його окислення знаходиться в межах 600 °С, а це є важливим для нас з точки зору отримання покриття на алмазних зернах (В₂О₃), і, по-друге, відомо [2], що карбід бора добре працює в умовах абразивного зношування, яке є якраз характерним для процесів абразивної обробки, тобто його добавка у компакт повинна додати у зносостійкості. При виготовленні компактів марки КБ застосовувалась суміш зерен АС6 125/100 (40%), В₄С 80/63 (40%) та мікропорошку КМ 3/2 (20%).

Розглянуто особливості шліфування твердого сплаву ВК6 абразивними кругами типорозміру 12А2-45° 125х5х3х32 на полімерному зв'язуючому В2-08 з введенням до робочого шару компактів на основі синтетичних алмазів марки АС6 та порошків карбїду бора (компакти марки КБ), а також для порівняння із компактами КБ застосовувалися компакти, виготовлені з суміші АС6 та природних алмазів якутського родовища (компакти марок КЯС та КЯ). Результати по шліфуванню твердого сплаву вказаними вище кругами при різних продуктивностях шліфування зведені в узагальнену таблицю, аналіз якої буде викладено нами далі, а перед цим звернемо увагу на наступне. Компакти з наявністю карбїду бору (маркування КБ) у порівнянні з чистими алмазами та алмазними компактами (групи КЯ) мають не тільки менший показник міцності, а і мають менший електроопір. Крім того, вкажемо, що у круга з компактом КБ 125/100 після продуктивності у 400 мм³/хв. відбулося відшарування робочого шару, тобто компакти КБ з такою зернистістю застосовувати недоцільно. Аналогічний висновок зроблено і по компактному КЯ 250/200.

Тепер проаналізуємо результати таблиці 1. Встановлено, що компакти КБ є кращими чим КЯ чи АС6 з точки зору зносостійкості кругів, хоча і програють алмазній суміші (КЯС). При цьому, компакти КБ забезпечують найменшу електризацію шламу, тобто і у цьому випадку вони досить істотно різняться від алмазних компактів. У випадку, коли ми намагалися оцінити зв'язок між зносом круга і електризацією, то і виявлено, що фактично всі компакти і АС6 вкладаються у загальну сукупність, тобто тут КБ не вирізняється.

Таблиця 1

Експлуатаційні показники процесу шліфування твердого сплаву ВК6 кругами з різним робочим шаром

Характеристика робочого шару	H _p , Н	ρ, Ом×см	Q, мм ³ /хв.	E, кВ/м	q _p , мг/г	Ra, мкм
АС6 125/100–В2-08–100	5,8	10,0	200	-0,2	4,23	0,32
			300	-0,6	4,98	0,30
			400	-1,4	18,27	0,42
			500	-2,0	23,84	0,44
КБ 125/100–В2-08–100*	3,9	12,0	200	-0,2	4,27	0,23
			300	-0,5	10,98	0,38
			400	-1,3	29,87	0,36
КБ 160/125–В2-08–100	4,9	16,0	200	-0,1	1,32	0,31
			300	-0,4	10,28	0,32
			400	-0,7	6,33	0,46
			500	-1,2	11,74	0,75
КЯС 160/125–В2-08–100	5,4	14,0	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
КЯ 160/125–В2-08–100	5,3	20,0	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
КЯ 250/200–В2-08–100*	9,1	25,0	200	-0,2	3,42	0,27

Довідка: *робочий шар круга відшарувався

Ну і насамкінець вкажемо, що по шорсткості компакти КБ вирізняються у порівнянні з алмазними. Якщо алмазні компакти фактично вкладаються у одну сукупність, то виявлено, що продуктивність обробки на кругах з компактами КБ більш істотно впливає на показник Ra. Тобто, якщо при малих продуктивностях обробки шорсткість на різних компактах є приблизно однаковою, то вже при 500 мм³/хв. шорсткість після обробки кругами з компактом КБ є найвищою, а це означає, що робоча поверхня кругів з компактами КБ є більш розвиненою і зерна більше виступають над поверхнею зв'язки.

Як висновок з наведеного вище слід вказати на те, що введення карбїду бору позначається на експлуатаційних характеристиках кругів. Вони є кращими, аніж чисто алмазні компакти з точки зору зносостійкості кругів, але програють у тих випадках, коли необхідно забезпечити невисоку шорсткість оброблюваної поверхні.

Узагальнені висновки.

1. З точки зору зносостійкості шліфувальних кругів і якості обробленої поверхні виробу, в цілому, при шліфуванні твердого сплаву ВК6 доцільно застосовувати круги в робочому шарі із сумішшю (50 на 50) алмазів та компактів КЯ на основі дрібнодисперсного порошку якутських природних алмазів,

оскільки зносостійкість таких кругів на високих продуктивностях обробки, у порівнянні зі стандартним алмазним інструментом, підвищується більш ніж в 3 рази.

2. Виявлено, що компакти з карбідом бору (КБ) є кращими ніж КЯ чи АС6 з точки зору зносостійкості кругів, хоча і програють алмазній суміші (КЯС) і, при цьому, компакти КБ забезпечують найменшу електризацію шлему, тобто і у цьому випадку вони досить істотно різняться від алмазних компактів.

3. По шорсткості оброблюваної поверхні компакти КБ вирізняються у порівнянні з алмазними і, якщо алмазні компакти фактично вкладаються у одну сукупність, то продуктивність обробки на компактах КБ більш істотно впливає на показник Ra, тобто, якщо при малих продуктивностях обробки шорсткість на різних компактах є приблизно однаковою, то вже при 500 мм³/хв. шорсткість після обробки кругами з компактами КБ є найвищою, а це означає, що робоча поверхня кругів з компактів КБ є більш розвиненою і зерна більше виступають над поверхнею зв'язки.

4. Введення карбиду бору у компакти позначається на експлуатаційних характеристиках кругів і вони є кращими, аніж чисто алмазні компакти з точки зору зносостійкості кругів, але програють у тих випадках, коли необхідно забезпечити невисоку шорсткість оброблюваної поверхні.

Список використаної літератури:

1. *Девіцький О.А.* Підвищення ефективності шліфування матеріалів кругами з НТМ врахуванням електричних явищ, що супроводжують абразивну обробку : автореф. дис. ... канд. техн. наук. / *О.А. Девіцький*. – К. : ІНМ ім. *В.М. Бакуля* НАНУ, 2014. – 20 с.
2. Карбид бора / *П.С. Кислий, М.А. Кузенкова, Н.И. Боднарчук, Б.Л. Грабчук*. – К. : *Наук. думка*, 1988. – 216 с.
3. Вплив функціональних домішок у робочому шарі кругів з надтвердих матеріалів та покриттів зерен на процеси електризації при шліфуванні / *В.І. Лаврінченко, О.А. Девіцький, Б.В. Ситник* та ін. // *Процеси механічної обробки в машинобудуванні* : зб. наук. праць ЖДТУ. – Житомир : ЖДТУ, 2010. – Вип. 9. – С. 92–98.
4. Дослідження впливу фізико-механічних характеристик алмазних зерен із металізованим покриттям на зносостійкість шліфувальних кругів / *В.І. Лаврінченко, Г.Д. Ільницька, О.А. Девіцький* та ін. // *Вісник ЖДТУ*. – Житомир : ЖДТУ, 2015. – № 2 (73). – С. 66–72.
5. Застосування опорних елементів у структурі робочого шару кругів з надтвердих матеріалів для підвищення їх експлуатаційних характеристик / *В.І. Лаврінченко, В.Ю. Солод, Б.В. Ситник, Ю.І. Нікітін* // *Сверхтвердые материалы*. – 2011. – № 1. – С. 72–79.
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 материалы*. – 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 материалы*. – 2014. – № 5. – С. 53–60.
8. *Лаврінченко В.І.* Инструменты из сверхтвердых материалов в технологиях абразивной и физико-технической обработки / *В.І. Лаврінченко, В.Ю. Солод*. – Каменское : ДГТУ, 2016. – 529 с.
9. *Лаврінченко В.І.* Формирование микронеровностей обработанной поверхности при шлифовании кругами из СТМ с сочетанием различных абразивов в рабочем слое круга / *В.І. Лаврінченко, В.Ю. Солод* // *Резание и инструмент в технологических системах*. – 2012. – Вып. 82. – С. 127–133.
10. *Полторацький В.Г.* Створення абразивних надтвердих матеріалів на основі алмазу та кубічного нітриду бору, структурованих вуглецевою зв'язкою при тисках нижче атмосферного : автореф. дис. ... канд. техн. наук / *В.Г. Полторацький*. – К. : ІНМ ім. *В.М. Бакуля* НАНУ, 2014. – 20 с.

References:

1. Djevyc'kyj, O.A. (2014), *Pidvyshhennja efektyvnosti shlifuvannja materialiv krugamy z NTM vrahuvannjam elektrychnyh javyssh, shho suprovodzhujut' abrazyvnu obrobku*, avtoref. dyss. kand. tehn. nauk, INM im. V.M. Bakulja NANU, Kyi'v, 20 p.
2. Kislyj, P.S., Kuzenkova, M.A., Bodnaruk, N.I. and Grabchuk, B.L. (1988), *Karbid bora*, Nauk. dumka, Kiev, 216 p.
3. Lavrinenko, V.I., Devic'kij, O.A., Sitnik, B.V. and others (2010), «Vpliv funkcional'nih domishok u robochomu shari krugiv z nadverdih materialiv ta pokrittiv zeren na procesi elektrizacii pri shlifuvanni», *Procesi mehanichnoi obrobki v mashinobuduvanni*, zb. nauk. prac' ZhDTU, Vol. 9, ZhDTU, Zhitomir, pp. 92–98.
4. Lavrinenko, V.I., Il'nic'ka, G.D., Devic'kij, O.A. and others (2015), «Doslidzhennja vplivu fiziko-mehanichnih harakteristik almaznih zeren iz metalizovanim pokrittjam na znosostijkist' shlifoval'nih krugiv», *Visnik ZhDTU*, No. 2 (73), ZhDTU, Zhitomir, pp. 66–72.
5. Lavrinenko, V.I., Solod, V.Ju., Sitnik, B.V. and Nikitin, Ju.I. (2011), «Zastosuvannja opornih elementiv u strukturi robochogo sharu krugiv z nadverdih materialiv dlja pidvishhennja ih ekspluatacijnih harakteristik», *Sverhtvjordye materialy*, No. 1, pp. 72–79.
6. Lavrinenko, V.I., Sitnik, B.V., Poltorac'kij, V.G. and others (2014), «Kompoziti na osnovi mikroporoshkiv KNB, strukturovanih vuglecevoju zv'jazkoju, jak funkcional'ni elementiv v strukturi robochogo sharu almazno-

- абразивного інструмента», Повідомлення 1 «Шліфпорозки з композитів як абразивні елементи», *Sverhtverdye materialy*, No. 3, pp. 65–72.
7. Lavrinenko, V.I., Sitnik, B.V., Poltorac'kij, V.G. and others (2014), «Kompoziti na osnovi mikroporoshkiv KNB, strukturovanih vuglecevoju zv'jazkoju, jak funkcional'ni elementi v strukturі robochogo sharu almazno-abrazivnogo instrumenta», Повідомлення 2 «Kompoziti jak oporni elementi», *Sverhtverdye materialy*, No. 5, pp. 53–60.
 8. Lavrinenko, V.I. and Solod, V.Ju. (2016), *Instrumenty iz sverhtverdyh materialov v tehnologijah abrazivnoj i fiziko-tehnicheskoy obrabotki*, DGTU, Kamenskoe, 529 p.
 9. Lavrinenko, V.I. and Solod, V.Ju. (2012), «Formirovanie mikronerovnostej obrabotanoj poverhnosti pri shlifovanii krugami iz STM s sochetaniem razlichnyh abrazivov v rabochem sloe kruga», *Rezanie i instrument v tehnologicheskikh sistemah*, Vol. 82, pp. 127–133.
 10. Poltorac'kij, V.G. (2014), *Stvorenija abrazivnih nadtverdyh materialiv na osnovi almazu ta kubichnogo nitridu boru, strukturovanih vuglecevoju zv'jazkoju pri tiskah nizhche atmosfernogo*, avtoref. diss. kand. tehn. nauk, INM im. V.M. Bakulja NANU, Kiiv, 20 p.

Лавріненко Валерій Іванович – доктор технічних наук, професор, завідувач відділу Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України.

Наукові інтереси:

- матеріалознавство інструментальних і надтвердих абразивних матеріалів;
- закономірності процесу шліфування;
- формування поверхневого шару обробних виробів.

E-mail: lavrinenko@ism.kiev.ua.

Полторацький Володимир Григорович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України.

Наукові інтереси:

- матеріалознавство надтвердих матеріалів;
- закономірності компактування надтвердих матеріалів.

E-mail: vg.poltoratsky@gmail.com.

Скрябін Віктор Валерійович – кандидат технічних наук, науковий співробітник Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України.

Наукові інтереси:

- розробка та застосування спеціальних великогабаритних шліфувальних кругів із надтвердих матеріалів;
- аналіз та визначення особливостей просунення високотехнологічного інструменту виробництва ІНМ НАН України на світовий ринок та ринок Євросоюзу.

E-mail: vic.skryabin@gmail.com.

Солод Володимир Юрійович – кандидат технічних наук, доцент, декан механічного факультету Дніпродзержинського державного технічного університету МОН України.

Наукові інтереси:

- закономірності теплових процесів при шліфуванні та напружений стан робочого стану шліфувального круга при цьому;
- підвищення зносостійкості шліфувальних кругів з НТМ введенням в робочий шар круга опорних антифрикційних елементів.

E-mail: v_solod@ukr.net.

Стаття надійшла до редакції 25.09.2017.