

**Валерій Лаврінченко<sup>1</sup>, Галина Ільницька<sup>2</sup>, Володимир Солод<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>доктор технічних наук, професор, завідувач відділу алмазно-абразивної та фізико-технічної обробки  
Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України (Київ, Україна)

**E-mail:** [lavrinen52@gmail.com](mailto:lavrinen52@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2098-7992>. **Scopus Author ID:** [7003475456](https://orcid.org/0000-0003-2098-7992)

<sup>2</sup>кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,  
завідувач лабораторії технології дисперсних надтвердих матеріалів

Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України (Київ, Україна)

**E-mail:** [gil-ism@ukr.net](mailto:gil-ism@ukr.net). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5124-1646>. **Scopus Author ID:** [6507166095](https://orcid.org/0000-0001-5124-1646)

<sup>3</sup>кандидат технічних наук, доцент, декан механічного факультету

Дніпровський державний технічний університет МОН України (Кам'янське, Україна)

**E-mail:** [v\\_solod@ukr.net](mailto:v_solod@ukr.net). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7516-9535>. **Scopus Author ID:** [6603463079](https://orcid.org/0000-0002-7516-9535)

**СУЧАСНІ НАПРАЦЮВАННЯ В НАНЕСЕННІ МЕТАЛІЧНИХ ПОКРИТТІВ  
НА ЗЕРНА ШЛІФПОРОШКІВ АЛМАЗІВ ДЛЯ ШЛІФУВАЛЬНОГО  
ІНСТРУМЕНТУ**

У статті подані сучасні матеріалознавчі напрацювання спрямовані на зміну властивостей алмазних зерен підвищеної міцності AC15–AC32 для підвищення їх ефективного застосування в шліфувальному інструменті. Авторами для цього застосовані металічні покриття на зернах. Наведені сучасні розробки з технологій нанесення металічних покриттів та вибору їхнього складу. Показана ефективність нанесення комбінованого Ni–Al покриття на алмазні зерна, а також застосування при цьому в покритті домішок нанопорошків вуглецевих трубок.

**Ключові слова:** металічні покриття; алмазні зерна; комбіноване покриття; шліфувальний інструмент.

Рис.: 4. Бібл.: 7.

**Актуальність теми дослідження.** Розвиток інструментального виробництва зумовлює необхідність в ефективній обробці нових важкооброблюваних матеріалів. Пошук шляхів енергозбереження диктує потребу отримання композиційних покриттів на зернах алмазних шліфпорошків з новими властивостями. Раніше проведеними дослідженнями встановлено, що основними з факторів, які, наприклад, визначають їх алмазоутримання, є гранична хімічна взаємодія з елементами покриття при високотемпературному виготовленні інструментів на металічних зв'язках, а також дифузійна взаємодія на межі покриття-зв'язка. В алмазному інструменті на полімерних і металополімерних зв'язках хімічна взаємодія відбувається на межі метал покриття – полімер. При цьому, чим покриття є більш шорстким, тим більшою є площа поверхні зерна й ефективність цієї взаємодії.

**Постановка проблеми.** Одним зі шляхів підвищення зносостійкості алмазного інструменту є покращення алмазоутримання у зв'язці через металізацію алмазів різними комбінованими покриттями. Особливо це є актуальним саме для зерен алмазів підвищеної міцності (AC15–AC32).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Металічне покриття зерен алмазів є одним з важливих факторів впливу на зміну його властивостей та покращення утримання у зв'язуючому робочому шару шліфувального інструменту. Враховуючи, що цей напрям активно розвивається, нами зосереджена увага саме на сучасних розробках в отриманні різних металічних покриттів на алмазах та їх властивостях.

У статті [1] запропоновано застосування покриття металічним припоєм на різних типах алмазних зерен для поліпшення утримання алмазних зерен в алмазних кругах на полімерній зв'язці. Були виготовлені алмазні круги на зв'язці зі смоли з алмазним зерном, покритим припоєм, і були випробувані круги при шліфуванні твердого сплаву. Пайка може успішно покрити більшу частину алмазних зерен шаром присадкового сплаву. Спостерігалися пори й випуклості розміром у декілька мікрометрів, а також утворення карбїду титану між покриттям і алмазною поверхнею (рис. 1). Показники в'язкості монокристалічних алмазних зерен з покриттям (RVD) знизилися лише незначно, але більш відчутно підвищилися для полікристалічних алмазних зерен з покриттям (PDGF1). Круг, який містив алмазні зерна PDGF1 продемонстрував найменше зусилля шліфування і найбільш високу продуктивність серед чотирьох оцінюваних кругів, тоді як круг з алмазними зернами RVD з покриттям мав найбільше зусилля шліфування і досить низький коефіцієнт шліфування [1].

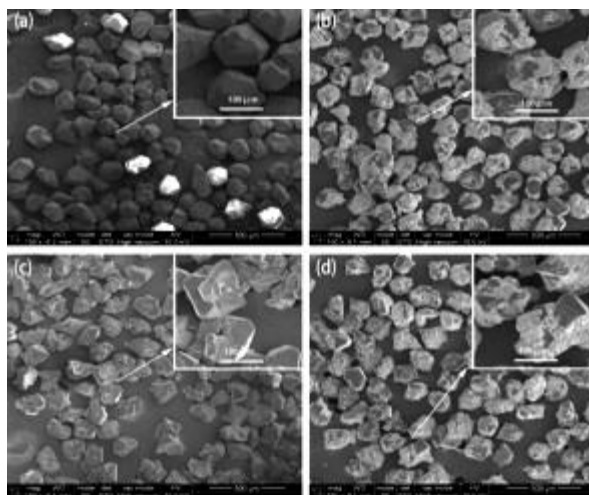


Рис. 1. Загальний вигляд алмазних порошків із покриттям RVD (a) та RVDF1 (b-d) [1]

Металічні вольфрамівмісні покриття наносилися на поверхню мікрочастин алмаза методом гарячого пресування із застосуванням  $WO_3$  як джерела металу [2]. Покриття, сформовані на поверхні алмаза, реагували з порошком  $WO_3$  при гарячому пресуванні за підвищених температур. Після обробки суміші при  $850\text{ }^\circ\text{C}$  протягом 15 хв на поверхні алмаза були зафіксовані  $WO_2$  та  $W_{18}O_{49}$ . Після обробки при  $950\text{ }^\circ\text{C}$  (15 хв) вольфрам був домінуючою фазою покриття. Обробка при  $1150\text{ }^\circ\text{C}$  (15 хв) привела до утворення  $WC$  та  $W_2C$  фаз. У покритті, отриманому при цій температурі, металічний вольфрам був відсутнім. При формуванні покриття спостерігалася селективність осадження покриття по алмазних гранях. На грані  $\{100\}$  алмаза покриття наносилося краще. Таке покриття формувалося шляхом утворення і злиття островків квадратної форми на гранях  $\{100\}$  і трикутної форми на гранях  $\{111\}$  алмаза [2].

У статті [3] для визначення особливостей реакції алмаза з різними видами металів і оксидів металів енергія активації реакції між алмазом і металами, а також між алмазом і оксидами металів, була розрахована з перших принципів. Для перехідних металів четвертого періоду Періодичної таблиці елементів, коли вони реагують з алмазом і утворюють відповідні карбіди металів. Порядок збільшення енергії активації для металів складає:  $Mn$ ,  $Fe$ ,  $V$ ,  $Ti$ ,  $Cr$ ,  $Co$ ,  $Ni$ ,  $Zn$  та  $Cu$ . А коли алмаз реагує з  $MnO$ ,  $FeO$ ,  $CoO$ ,  $NiO$  та  $CuO$  з утворенням металів і  $CO$ , розрахункова енергія активації за зменшенням складає:  $MnO$ ,  $FeO$ ,  $CoO$ ,  $NiO$  та  $CuO$ . Так, встановлено, що  $NiO$  і  $CuO$  відновлюються алмазом до  $Ni$  і  $Cu$ , що саме і свідчить про те, що між алмазом і оксидами металів відбувається окислювально-відновлювальна реакція [3].

Але, алмазне покриття має низьку ударну в'язкість з-за своєї надтвердості, що може призвести до відшарування або руйнування покриття. У роботі [4] був запропонований новий метод хімічного осадження з парової фази, коли алмазне покриття з частинками  $CuO$  було нанесено на підкладку  $WC/Co$ . Для порівняння також було виготовлено чисте алмазне покриття. Морфологія поверхні засвідчила, що алмазне покриття може осаджуватися на підкладці з частинками  $CuO$ . Але частинки  $CuO$  можуть призводити до утворення аморфного вуглецю з високими полосами комбінаційного розсіяння (рис. 2). Випробування на втиснення засвідчили, що алмазне покриття з частинками  $CuO$  демонструє більш високі адгезійну міцність і стійкість до розтріскування, ніж покриття з чистого алмаза. Тобто вміст частинок  $CuO$  вплинув на тріщиностійкість алмазного покриття. Таким чином, диспергування частинок на поверхні підкладки можливо розглядати як потенційну технологію корегування алмазних зерен за рахунок включення вуглецевих фаз, що, у свою чергу, може підвищити тріщиностійкість алмазного покриття для задоволення промислових вимог.

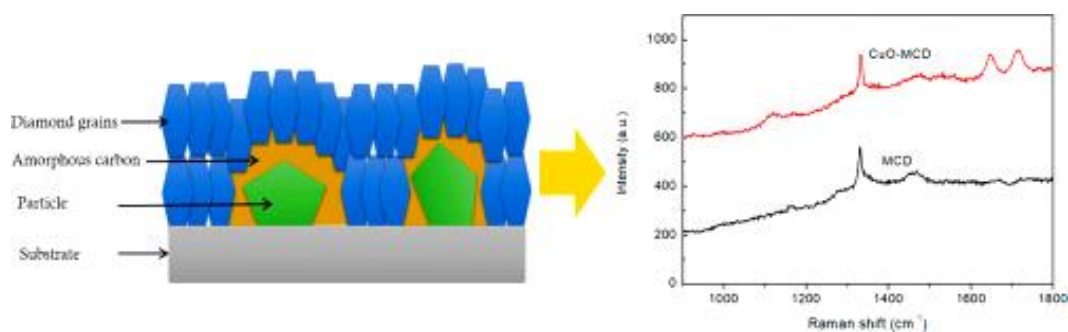


Рис. 2. Схема осажденного алмазного покрытия с частицами CuO та раманівські спектри чистого алмазного покриття (MCD) та покриття з частинками CuO (CuO-MCD). На рис.: diamond grains – алмазні зерна, amorphous carbon – аморфний вуглець, particle – частинки CuO, substrate – підкладка WC/Co, Raman shift – раманівський зсув, intensity – інтенсивність [4]

У статті [5] алмазні магнітні абразиви були виготовлені методом хімічного осадження композитів із застосуванням частинок заліза і мікрочастинок алмаза. Експериментальні результати засвідчили, що швидкість адсорбції частинок мікроалмаза на підкладці з порошку заліза можливо прогнозувати за встановленою формулою. Оптимальне співвідношення мікрочастинок алмаза і сплаву Ni-P в осаді може бути визначене при отриманні алмазних магнітних абразивів методом хімічного осадження композитів [5].

У статті [6] поданий інноваційний метод розплавлених солей для реактивної підготовки поверхнево-модифікованих алмазних частинок. Поверхнево-модифіковані композити на основі металів (міді або магнію), армовані алмазними частинками, були отримані методом електроіскрового плазмового спікання. Алмазні частинки з модифікованим градієнтом поверхні були отримані методом розплаву солей (рис. 3). Результати засвідчили, що товщина модифікованого шару на поверхні алмаза поступово підвищувалася зі збільшенням часу витримки. Композиційні матеріали на металічній основі з модифікованою поверхнею, армовані алмазними частинками, мають високу теплопровідність. При об'ємній частці алмаза у 35 % теплопровідність алмазно-мідних композитів досягала 602 Вт/(м·К), а теплопровідність алмазно-магнієвих -286 Вт/(м·К).

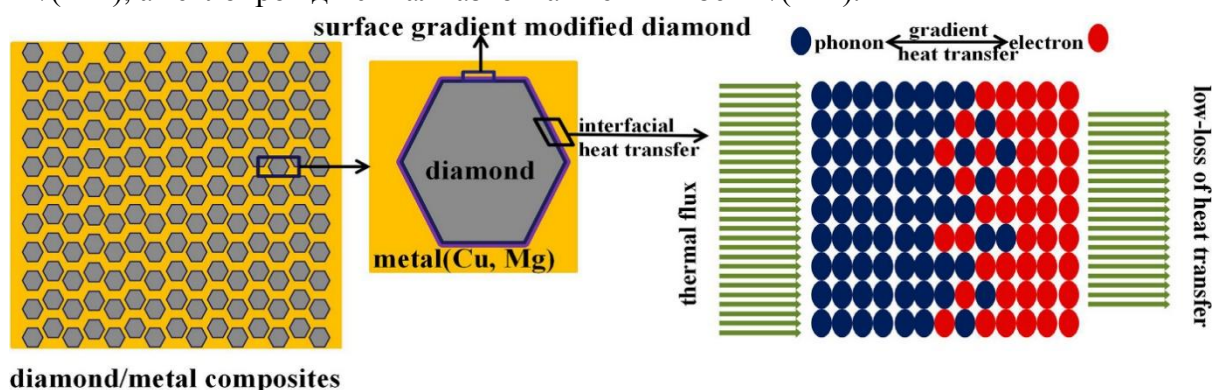


Рис. 3. Схема алмазно-металевого композиту з підвищеною теплопровідністю армованого частинками із модифікованою поверхнею алмазу. На рис.: diamond/metal composites – алмазно-металічні композити, surface gradient modified diamond – алмаз з модифікованим градієнтом поверхні, diamond – алмаз, metal (Cu, Mg) – метал (Cu, Mg), interfacial heat transfer – міжфазний теплообмін, thermal flux – тепловий потік, phonon-gradient heat transfer-electron – фонон-градієнтний теплообмін-електрон, low-loss of heat transfer – низькі втрати тепла [6]

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Наведений вище аналіз останніх досліджень і публікацій засвідчив, що нанесенню металічних покриттів на зерна алмазів приділяється значна увага. Разом з тим, відсутніми є дослідження особливостей нанесення покриття на алмази із різним вмістом домішок (магнітні та немагнітні алмази) та формування комбінованих покриттів із вмістом вуглецевих нанотрубок (ВНТ).

**Метою статті** є дослідження особливостей нанесення покриття на алмази з різним вмістом домішок (магнітні та немагнітні алмази) та формування комбінованих покриттів із вмістом вуглецевих нанотрубок на синтетичних алмазах марки АС20 зернистості 100/80 та виявлення властивостей таких покриттів і зносостійкості шліфувального інструменту з алмазними зернами з такими покриттями.

**Виклад основного матеріалу.** У нашому випадку розглядали особливості нанесення покриття для алмазів АС20 125/100, синтезованих в системі Ni–Mn. Усього було розглянуто 5 варіантів: вихідна суміш алмазів, виділені з неї магнітні алмази, виділені з неї немагнітні алмази. Потім додатково магнітні алмази були покриті окремо нікелем і алюмінієм. Аналогічно були покриті і немагнітні алмази. З цих алмазів були виготовлені шліфувальні круги типорозміру 12А2-45° 125×5×3×32 на металічній зв'язці М1-10 і визначені їх експлуатаційні показники при шліфуванні твердого сплаву ВК8 при різних продуктивностях обробки (табл. 1).

*Таблиця 1 – Експлуатаційні характеристики шліфувальних кругів із застосуванням у них алмазних порошків марки АС20 зернистості 125/100 різних фракцій при шліфуванні твердого сплаву ВК8*

Фракція порошку АС20	Продуктивність шліфування, мм <sup>3</sup> /хв.			
	50	100	200	400
<i>Відносні витрати алмазів в кругах, мг/г</i>				
Магнітна – покрита Al	0,46	0,97	2,04	3,38
Немагнітна – покрита Ni	0,49	1,50	1,78	4,03
Немагнітна – покрита Al	0,65	1,58	1,93	4,52
<b>Вихідна непокрита</b>	<b>0,63</b>	<b>1,55</b>	<b>3,03</b>	<b>6,16</b>
Магнітна – покрита Ni	0,72	2,02	3,06	6,31
<i>Шорсткість обробленої поверхні за параметром Ra, мкм</i>				
<b>Вихідна непокрита</b>	<b>0,41</b>	<b>0,43</b>	<b>0,58</b>	<b>0,81</b>
Магнітна – покрита Ni	0,52	0,48	0,58	0,77
Магнітна – покрита Al	0,43	0,67	0,79	0,92
Немагнітна – покрита Al	0,42	0,49	0,90	0,99
Немагнітна – покрита Ni	0,44	0,69	0,82	1,00

Аналіз табл. 1 свідчить, що покриття алмазів АС20 алюмінієм та нікелем дозволяє знизити знос кругів, хоча у випадку магнітних алмазів покриття нікелем навпаки, дещо підвищує знос кругів. Звернемо увагу на те, що в усіх випадках покриття алмазних зерен погіршує шорсткість обробленої поверхні, що відповідає висновкам досліджень, викладених в монографії [7].

Разом з тим, на наш погляд, слід звернути увагу на покриття алюмінієм. Воно не є таким технологічним, як покриття нікелем, але певний ефект дає, тому надалі нами була звернута увага на комбіновані покриття.

На першому етапі нами були розглянуті покриття на менш міцних алмазах АС6 125/100 нікелем і нікелем з алюмінієм. Металізовані методом хімічного поновлення Ni (25 % за масою) порошки алмаза АС6 були покриті методом обкатки в присутності спеціального зв'язуючого дрібнодисперсним порошком Al марки АСД крупністю – 40 мкм. Отримані металізовані шліфпорошки були використані при виготовленні кругів 12А2-45° 125×5×3×32 на зв'язці В2-08 якими надалі шліфували твердий сплав ВК6 при продуктивності 300 мм<sup>3</sup>/хв. без охолодження. Результати наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Експлуатаційні характеристики шліфувальних кругів із застосуванням в них алмазних порошків марки АС6 зернистості 125/100 з металізованими покриттями при шліфуванні твердого сплаву ВК6

Характеристика алмазних зерен	Експлуатаційні характеристики		
	Напруженість електростатичного поля шламу, кВ/м	Відносні витрати алмазів в кругах, мг/г	Шорсткість обробленої поверхні, Ra, мкм
Вихідна без покриття	– 0,5	4,58	0,34
Покриття – Ni	– 0,9	10,04	0,36
Покриття – Ni–Al	– 0,4	5,90	0,50

Аналіз табл. 2 засвідчив, що очікувано при нанесенні покриттів на алмази АС6 знос кругів і шорсткість обробленої поверхні зростає. Разом з тим комбіноване Ni–Al покриття є цікавим для подальших досліджень на більш міцних алмазах АС20, адже напруженість процесу шліфування за показником напруженості електростатичного поля шламу в процесі шліфування є навіть меншою за вихідні алмази без покриття.

Таблиця 3 – Експлуатаційні характеристики шліфувальних кругів із застосуванням у них алмазних порошків марки АС20 зернистості 100/80 з металізованими покриттями при шліфуванні твердого сплаву ВК8

Характеристика алмазних зерен	Експлуатаційні характеристики		
	Продуктивність шліфування, мм <sup>3</sup> /хв	Відносні витрати алмазів у кругах, мг/г	Шорсткість обробленої поверхні, Ra, мкм
Вихідна без покриття	200	6,8	0,51
	400	36,9	0,53
Покриття – Ni	200	5,7	0,47
	400	18,1	0,50
Покриття – Ni–Al	200	2,0	0,39
	400	17,8	0,45

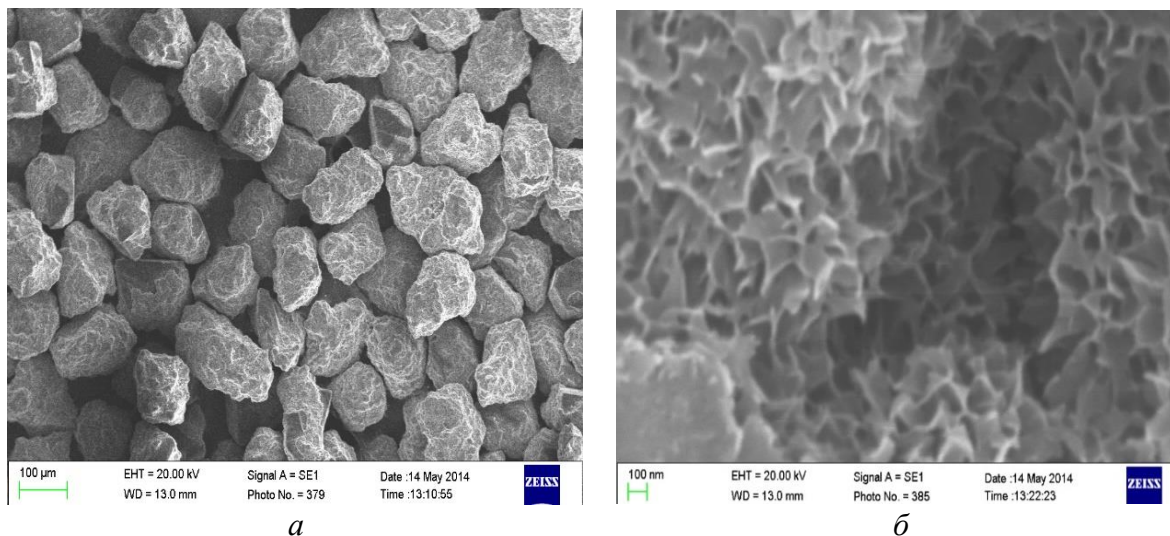
Тому на другому етапі нами були розглянуті покриття на алмазах АС20 100/80 знову ж таки нікелем і нікелем з алюмінієм. Отримані металізовані шліфпорошки були використані при виготовленні кругів 12А2-45° 125×5×3×32 на зв'язці В2-08, якими надалі шліфували твердий сплав ВК8 при продуктивності 200 та 400 мм<sup>3</sup>/хв без охолодження. Результати наведені в табл. 3, з якої виходить, що за таких умов покриття на алмазах АС20 у полімерній зв'язці є позитивним у обох випадках. Хоча і в цьому випадку кращим є комбіноване покриття Ni–Al.

Таким чином, проведеними дослідженнями встановлено, що у випадку застосування в шліфувальних кругах шліфпорошків алмазів марки АС20 бажано застосовувати при цьому металічне покриття зерен, причому таке покриття повинне бути із застосуванням алюмінію, або комбіноване – нікель-алюміній.

Як вже було вказано нами вище, одним зі шляхів підвищення зносостійкості алмазного шліфувального інструменту і збільшення алмазоутримання є металізація алмазів різними покриттями. Особливо це є актуальним для алмазів підвищеної міцності (АС15–АС32), тому надалі нами були досліджені металізовані композиційні покриття с добавками нанопорошків вуглецевих нанотрубок (ВНТ) на порошках алмаза марки АС20 зернистістю 100/80 і їх вплив на їх експлуатаційні показники в кругах. Металізовані методом хімічного відновлення Ni (25 % за масою) порошки алмаза були покриті методом обкатки у присутності спеціального зв'язуючого дрібнодисперсним порошком Al марки АСД крупністю –40 мкм. Добавки порошків вуглецевих нанотрубок не перевищували 2 % за масою. Висушені зразки спікали у печі на повітрі при температурі 850 °С. Степінь металізації алмазів з композиційним покриттям складала 70–75 % за масою. Фізико-хімічні

характеристики досліджували за допомогою мас-спектрометра МІ 1201 у температурному інтервалі 20–1000 °С у повітрі. Електронно-мікроскопічні дослідження здійснювали на електронному мікроскопі ZEISS ULTRASS.

За допомогою електронно-мікроскопічного аналізу досліджували структуру композиційних покриттів металізованих алмазів. Нижче поданий загальний вигляд алмазів марки АС20 100/80, металізованих композиційним покриттям Ni-Al з добавками нанопорошків ВНТ (рис. 4).



*Рис. 4. Електронно-мікроскопічне зображення алмазів марки АС20 100/80, металізованих композиційним покриттям: Ni-Al з добавками ВНТ: а – загальний вигляд металізованого порошку; б – структура поверхні покриття*

Як виходить з рис. 4 на зернах алмаза, металізованих композиційним покриттям Ni-Al з добавками ВНТ, сформована високопориста структура. Причому при доданні ВНТ у структурі покриття проглядається скелетна структура вуглецевих нанотрубок (б). Для отримання інформації про стан поверхні шліфпорошків марки АС20 зернистості 100/80 вихідних і металізованих Ni композиційним покриттям Ni-Al з добавками ВНТ були зняті термодесорбційні спектри. В результаті виконаних досліджень встановили, що поверхні усіх зразків металізованих алмазів повністю покриті великою кількістю ОН-груп, які десорбуючись з поверхні алмазі, створюють молекули води. Присутність води в порошках алмаза тісно пов'язана з їх питомою площею поверхні. На вихідному зразку (без покриття) фіксується найменший вміст води у зразку і менша питома площа поверхні зерен алмазу. Встановлено, що додання до металізованих Ni і композиційних покриттів Ni-Al добавок ВНТ сприяє утворенню більш розвиненої поверхні алмазних зерен, про що свідчить найбільша наявність води у порівнянні з вихідними порошками.

Порошки алмаза марки АС20 зернистості 100/80 вихідні, металізовані Ni та Ni-Al з добавками ВНТ були використані для виготовлення експериментальних шліфувальних кругів: 1. 12А2-45° 100х5х3х32 – АС20 100/80 В2-08-100 вихідний. 2. 12А2-45° 100х5х3х32 – АС20 100/80 В2-08-100 Ni (26,6 %) + ВНТ. 3. 12А2-45° 100х5х3х32 – АС20 100/80 В2-08-100 Ni (26,6 %)+Al (30,7 %) + ВНТ. Випробування проводилися на верстаті 3В642 при шліфуванні зразків з твердого сплаву ВК6 розмірами 7×15×60 мм при продуктивності шліфування 200 та 400 мм<sup>3</sup>/хв. Результати випробувань наведені в табл. 4.

Таблиця 4 – Експлуатаційні характеристики шліфувальних кругів із застосуванням в них алмазних порошків марки AC20 зернистості 100/80 з металізованими покриттями із доданням ВНТ при шліфуванні твердого сплаву ВК8

Покриття зерен алмазів	Продуктивність обробки, мм <sup>3</sup> /хв.			
	200	400	200	400
	Відносні витрати алмазів у кругах, мг/г		Шорсткість обробленої поверхні, Ra, мкм	
Ni	29,2	47,6	0,42	0,66
Ni+ВНТ	10,0	30,9	0,41	0,45
Ni-Al	23,4	57,5	0,45	0,59
Ni-Al+ВНТ	7,5	21,1	0,53	0,75

Як свідчить аналіз табл. 4, відносні витрати алмазів із покриттями металізованими Ni та Ni-Al з добавками ВНТ в шліфувальних кругах при шліфуванні твердого сплаву є істотно нижчими у порівнянні з кругами з вихідними алмазними порошками з покриттям без ВНТ. При цьому, даний ефект підвищення зносостійкості кругів є більш відчутним на менших продуктивностях обробки, а з підвищенням продуктивності він дещо знижується, але залишається достатньо відчутним. Так, навіть для 400 мм<sup>3</sup>/хв підвищення зносостійкості кругів становить 1,5–2,7 раза. Найкращим є покриття Ni-Al+ВНТ. По шорсткості обробленої поверхні навпаки дане покриття є гіршим, оскільки шорсткість стає відчутно вищою. Тобто при підвищених вимогах до шорсткості обробленої поверхні більш прийнятним є застосування в шліфувальних кругах покриття зерен AC20 – Ni+ВНТ.

**Висновки.** Таким чином, проведеними дослідженнями встановлено, що у випадку застосування в шліфувальних кругах шліфпорошків алмазів марки AC20 бажано застосовувати при цьому металічне покриття зерен, причому таке покриття повинне бути із застосуванням алюмінію.

Встановлено, що на зернах алмаза, металізованих композиційним покриттям Ni-Al з добавками вуглецевих нанотрубок, формується високопориста скелетна структура. Показано, що поверхні всіх зразків металізованих алмазів покриті великою кількістю ОН-груп, які десорбуючись з поверхні алмазі, створюють молекули води. Присутність води в порошках алмаза тісно пов'язана з їх питомою площею поверхні. На вихідному зразку без покриття фіксується найменший вміст води у зразку й менша питома площа поверхні зерен алмазу. Введення до складу металізованих Ni і композиційних покриттів Ni-Al, добавок вуглецевих нанотрубок сприяє утворенню більш розвиненої поверхні, про що свідчить найбільша наявність води у порівнянні з вихідними порошками.

Встановлено, що відносні витрати алмазів в кругах із алмазами металізованими Ni та Ni-Al з добавками ВНТ при шліфуванні твердого сплаву є істотно нижчими у порівнянні з кругами з вихідними алмазними порошками з покриттям без ВНТ. При цьому, даний ефект підвищення зносостійкості кругів є більш відчутним на менших продуктивностях обробки, а з підвищенням продуктивності він дещо знижується, але залишається достатньо відчутним і становить 1,5–2,7 раза. Найкращим є покриття Ni-Al+ВНТ. При підвищених вимогах до шорсткості обробленої поверхні більш прийнятним є застосування в шліфувальних кругах покриття зерен AC20 – Ni+ВНТ.

### Список використаних джерел

1. Preparation and performance of resin-bonded grinding wheel with braze-coated diamond grits / Ming-cong Li, Feng-lin Zhang, Yu-mei Zhou, Wei-xiong Li, Shixiong Wu, Shanghua Wu // *Diamond and Related Materials*. – 2020. – Vol. 101. – January. – Article 107619.
2. Morphological features and phase composition of W-containing coatings formed on diamond via its interaction with WO<sub>3</sub> / A. V. Ukhina, D. V. Dudina, B. B. Bokhonov, D. V. Savintseva, D. A. Samoshkin, S. V. Stankus. // *Diamond and Related Materials*. – 2022. – Vol. 123. – Article 108876.
3. Exploring the activation energy of diamond reacting with metals and metal oxides by first-principle calculation / Ao Deng, Jing Lu, Dongxu Li, Yanhui Wang // *Diamond and Related Materials*. – 2021. – Vol. 118. – Article 108522.

4. Growth and characterization of chemical vapor deposition diamond coating incorporated amorphous carbon with high Raman bands induced by CuO particles / Naichao Chen, Fasong Ju, Fan Zhou, Shuai Chen, Kun Wei, Ping He // *Diamond and Related Materials*. – 2021. – Vol. 116. – Article 108387.

5. Adsorption and deposition of micro diamond particles in preparing diamond magnetic abrasives by electroless composite plating / Bin Yang, Wenzhuang Lu, Wei Feng, Xu Yang, Dunwen Zuo // *Diamond and Related Materials*. – 2017. – Vol. 73. – P. 137-142.

6. Study on surface modification of diamond particles and thermal conductivity properties of their reinforced metal-based (Cu or Mg) composites / Congxu Zhu, Can Cui, Xiwang Wu, Bowen Zhang, Dong Yang, Hongxiao Zhao, Zhi Zheng // *Diamond and Related Materials*. – 2020. – Vol. 108. – October. – Article 107998.

7. Lavrinenko, V. Grinding wheels of superhard materials for diamond-abrasive processing: new in the famous / V. Lavrinenko. – Kyiv : Akademperiodyka, 2019. – 190 p.

### References

1. Ming-cong Li, Feng-lin Zhang, Yu-mei Zhou, Wei-xiong Li, Shixiong Wu, Shanghua Wu. (2020). Preparation and performance of resin-bonded grinding wheel with braze-coated diamond grits. *Diamond and Related Materials*, 101, 107619.

2. A. V. Ukhina, D. V. Dudina, B. B. Bokhonov, D. V. Savintseva, D. A. Samoshkin, S. V. Stankus. (2022). Morphological features and phase composition of W-containing coatings formed on diamond via its interaction with WO<sub>3</sub>. *Diamond and Related Materials*, 123, 108876.

3. Ao Deng, Jing Lu, Dongxu Li, Yanhui Wang. (2021). Exploring the activation energy of diamond reacting with metals and metal oxides by first-principle calculation. *Diamond and Related Materials*, 118, 108522.

4. Naichao Chen, Fasong Ju, Fan Zhou, Shuai Chen, Kun Wei, Ping He. (2021). Growth and characterization of chemical vapor deposition diamond coating incorporated amorphous carbon with high Raman bands induced by CuO particles, *Diamond and Related Materials*, 116, 108387.

5. Bin Yang, Wenzhuang Lu, Wei Feng, Xu Yang, Dunwen Zuo. (2017). Adsorption and deposition of micro diamond particles in preparing diamond magnetic abrasives by electroless composite plating, *Diamond and Related Materials*, 73, 137-142.

6. Congxu Zhu, Can Cui, Xiwang Wu, Bowen Zhang, Dong Yang, Hongxiao Zhao, Zhi Zheng. (2020). Study on surface modification of diamond particles and thermal conductivity properties of their reinforced metal-based (Cu or Mg) composites. *Diamond and Related Materials*, 108, 107998.

7. Lavrinenko, V. (2019). *Grinding wheels of superhard materials for diamond-abrasive processing: new in the famous*. Akademperiodyka.

Отримано 22.03.2024

UDC 621.762

**Valerii Lavrinenko<sup>1</sup>, Galyna Ilynska<sup>2</sup>, Volodymyr Solod<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Doctor of Science, Professor, Head of Department diamond-abrasive and physical-technical machining.

Bakul Institute for Superhard Materials NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

**E-mail:** [lavrinen52@gmail.com](mailto:lavrinen52@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2098-7992>. **Scopus Author ID:** 7003475456

<sup>2</sup>PhD in Technical Sciences, Senior Research, Head of the laboratory technologies of dispersed superhard materials

Bakul Institute for Superhard Materials NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

**E-mail:** [gil-ism@ukr.net](mailto:gil-ism@ukr.net). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5124-1646>. **Scopus Author ID:** 6507166095

<sup>3</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of Mechanical Engineering

Dniprovsk State Technical University MES of Ukraine (Kamianske, Ukraine)

**E-mail:** [v\\_solod@ukr.net](mailto:v_solod@ukr.net). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7516-9535>. **Scopus Author ID:** 6603463079

## MODERN DEVELOPMENTS IN THE APPLICATION OF METALLIC COATINGS ON THE GRAINS OF DIAMOND GRINDING POWDER FOR GRINDING TOOLS

*The development of tool production, the need for effective processing of new difficult-to-process materials, and the search for ways to save energy dictate the need to obtain composite coatings on the grains of diamond grinding powders with new properties and their increased diamond content.*

*One of the ways to increase the wear resistance of a diamond tool is to improve the retention of diamonds in the bond through the metallization of diamonds with various combined coatings. This is especially relevant for high-strength diamond grains (AC15–AC32).*



*The above analysis of recent research and publications has shown that considerable attention is paid to the application of metallic coatings on diamond grains. At the same time, there are no studies of the features of coating on diamonds with different content of impurities (magnetic and non-magnetic diamonds) and the formation of combined coatings with the content of carbon nanotubes.*

*The purpose of the article is to study the features of coating on diamonds with different content of impurities (magnetic and non-magnetic diamonds) and the formation of combined coatings with the content of carbon nanotubes on synthetic diamonds of the AS20 grade of 100/80 grain size and to identify the properties of such coatings and the wear resistance of a grinding tool with diamond grains with such coatings.*

*The article presents modern material science developments aimed at changing the properties of high-strength diamond grains AC15–AC32 to increase their effective use in grinding tools. The authors used metal coatings on grains for this. The modern developments in the technology of applying metal coatings and choosing their composition are presented. The effectiveness of applying a combined Ni–Al coating on diamond grains is shown, as well as the use of carbon nanotubes in the coating.*

*It was established that the relative costs of diamonds in wheels with Ni and Ni-Al metallized diamonds with carbon nanotube additives when grinding a hard alloy are significantly lower compared to wheels with original diamond powders coated without carbon nanotubes. The best coating is Ni–Al+carbon nanotubes. The presented materials can be used for a reasoned choice of the metallized coating of diamond grains in order to increase the efficiency of the use of diamond grinding wheels in industry.*

**Key words:** metal coatings, carbon nanotubes, diamond grains, combined coating, grinding tool.

**Fig.:** 4. **References:** 7.