

УДК 621.762.922.02

**В.І. Лавріненко, Г.Д. Ільницька, В.В. Шатохін, О.В. Іщенко, С.В. Гайдай, О.О. Пасічний,
В.В. Смоквіна, О. А. Дєвицький, І.М. Зайцева**

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

ВПЛИВ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИЦІЙНОГО ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ШЛІФУВАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Досліджено вплив алмазовмісних композитів на основі синтетичних алмазів марки АС6 зернистості 125/100, модифікованих Ni, Cu та Al. Встановлено, що оснащення шліфувального інструменту алмазами з композиційними металевими покриттями Ni-Al і Cu-Al сприяє збільшенню зносостійкості шліфувального інструменту приблизно на 25 % і 45 % при продуктивності обробки 200 мм³/хв і 500 мм³/хв відповідно.

Ключові слова: алмазовмісний композит, зносостійкість інструменту, міцність, питомий електроопір, термоокислення.

Табл. 3. Рис. 5. Літ. 7.

**В.И. Лавриненко, Г.Д. Ильницкая, В.В. Шатохин, А.В. Ищенко, С.В. Гайдай,
А.А. Пасечный, В.В. Смоквина, А. А. Девицкий, И.М. Зайцева**
**ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
КОМПОЗИЦИОННОГО ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА НА
ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ШЛИФОВАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА**

Исследовано влияние алмазосодержащих композитов на основе синтетических алмазов марки АС6 зернистости 125/100, модифицированных Ni, Cu и Al. Установлено, что оснащение шлифовального инструмента алмазами с композиционными металлическими покрытиями Ni-Al и Cu-Al способствуют увеличению износостойкости шлифовального инструмента на 25 % и 45 % при производительности обработки 200 мм³/мин и 500 мм³/мин соответственно.

Ключевые слова: алмазосодержащий композит, износостойкость инструмента, прочность, удельное электросопротивление, термоокисление.

**V.I. Lavrinenko, G.D. Pnytskyya, V.V. Shatochin, A.V. Ishchenko, S.V. Gayday,
A.A. Pasichny, V.V. Smokvyna, O.A. Devytskyu, I.M. Zaytseva**
**EFFECT OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITE TOOL
MATERIAL ON DURABILITY POLISHING TOOLS**

Influence composites are contenting synthetic diamond of mark АС6 of the granularity 125/100, modified Ni, Cu and Al is investigated. It is established, that equipment of the grinding tool by diamonds with composite metal coverings Ni - Al and Cu - Al promote increase in wear resistance of the grinding tool at 25 % and 45 % at productivity of processing of 200 мм³/min and 500 мм³/min accordingly.

Keywords: composites are contenting synthetic diamond, wear resistance of the tool, durability, specific electroresistance, term oxidation.

У наш час для розвитку машинобудівної галузі важливим є пошук шляхів енергозбереження за рахунок внутрішніх резервів, що закладені в інструменті, сучасних новітніх матеріалах та технологіях їх обробки. Для досягнення найкращих результатів при алмазно-абразивній обробці варто застосовувати шліфувальні круги з надтвердими матеріалами, які містять у робочому шарі зернисті композити та наповнювачі. Введенням композитів до робочого шару інструментів з надтвердих матеріалів можна досягнути не лише рівномірно-впорядкованого шару, а й керувати в цілому процесом шліфування, в тому числі, за рахунок електричних явищ, які супроводжують обробку [1, 2].

В машинобудуванні широко застосовуються порошки синтетичного алмаза при обробці твердого сплаву, кераміки, скла та інших крихких матеріалів. Продуктивність і якість обробки інструментальними матеріалами в значній мірі залежать від рівня властивостей ріжучих елементів і можливості їх інтенсивної експлуатації. Обробна здатність інструментального матеріалу визначається його фізико-хімічними, фізико-механічними і експлуатаційними характеристиками. В вітчизняній промисловості і за кордоном отримали широке розповсюдження полікристалічні інструментальні матеріали на основі надтвердих матеріалів (композитів). Так, на основі нітриду бора – кіборит, гетероніт, ельбор – РМ, гексаніт-Р та інші, використані в різних інструментах.

У багатьох випадках для досягнення високих показників процесу абразивної обробки застосовують введення в зону дії абразиву на матеріал додаткової енергії, в тому числі електричної (процеси електроерозійної та електрохімічної обробки), що дозволяє підвищити

різальну здатність інструмента з надтвердими матеріалами. Покриття зерен на різальній поверхні круга, призводить до утворення плівок, зміни елементного складу поверхневого шару круга, що може впливати на фрикційні процеси в зоні контакту інструмента з деталлю. Одним з шляхів досягнення цих ефектів є також застосування електричних явищ, що виникають в процесі обробки.

Варто зауважити, що змінюючи характеристики робочого шару кругів з НТМ, в тому числі введенням композитів, можна не лише змінити умови фрикційного контакту робочого шару круга з матеріалом, що обробляється, а й підвищити зносостійкість алмазно-абразивного інструмента за рахунок формування на його поверхні зносостійких катодних плівок. На їх формування варто звертати увагу при обробці кругами на металевому зв'язуючому. Формування катодних плівок на робочій поверхні круга можна досягти завдяки окислювальним процесам лише в тих умовах, коли в зоні шліфування спостерігається від'ємний заряд. Крім того, варто слідкувати, щоб величина цього від'ємного заряду була якомога більшою, оскільки це сприяє більш інтенсивному перебігу окислювальних процесів. В цьому випадку при застосуванні металічних зв'язок з підвищеним вмістом міді можливий інтенсивніший її вихід на поверхню, де формуються плівки. Властивості цих плівок дуже подібні до таких, що отримані при шліфуванні з введенням додаткової енергії в зону обробки.

Розвиток інструментального виробництва, необхідність в обробці нових важкооброблюваних матеріалів, пошук шляхів енергозбереження диктує необхідність отримання композиційних покриттів з новими властивостями, що дозволяють зміцнювати електризацією і функціонуванням ТЕРМОЭДС в зоні контакту інструменту з деталлю.

Мета роботи: дослідження фізико-хімічних, фізико-механічних і експлуатаційних характеристик алмазовмісних композитів на основі синтетичних алмазів марки АС6 зернистості 125/100, модифікованих Ni, Cu та Al, а також отримання композиційних покриттів на їх основі.

Методика дослідження. Дослідження проводили на порошках синтетичного алмазу марки АС6 зернистості 125/100.

Методом хімічного відновлення алмази були металізовані міддю (Cu – 38 мас. %) та нікелем (Ni – 25 мас. %), відповідно [5]. Після цього порошки алмазу були покриті методом обкатки у присутності спеціального еднального тонкодисперсного порошку алюмінію марки АСД розміром - 40 мкм. Висушені зразки спікали в печі в повітряному середовищі при температурі 750°C і 900°C. Міра металізації алмазів з композиційним покриттям складала 70–75 мас. %.

Термоокислення металізованих алмазів проводили на мас-спектрометрі МИ 1201. В процесі окислення зразка алмазів та/або десорбції з його поверхні змінюється маса, відповідно реєструється термограма – температурна залежність маси зразка (ТГ крива). Диференціюванням кривої ТГ одержується крива ДТГ, що відповідає температурній залежності швидкості втрати маси і має піки, що відповідають десорбції та поетапному розкладу зразка. Зразки досліджувалися в режимі лінійного нагрівання від 25 до 1000 °C на повітрі. Швидкість нагрівання становила 10 К/хв.

Вимірювання електрофізичних характеристик металізованих алмазів у вигляді питомого електроопору виконували за розробленою в ІНМ НАН України методикою [6]. Вимірювання статичної (механічної) міцності алмазів з покриттями проводили за методикою [7].

Для оцінки ефективності використання зносостійкості композитів на основі алмазів марки АС6 зернистості 125/100, металізованих Ni і Cu, металізованих композиційними покриттями Ni–Al і Cu–Al була виготовлена серія шліфувальних кругів форми 12A2-45° на полімерній зв'язці В2-08. Досліджувалися зносостійкість експериментальних кругів по питомій (q_v) витраті алмазів [8].

Результати досліджень та їх обговорення. Всі сформовані зразки алмазів досліджувалися методом термогравіметрії. На рис. 1–5 наведені термограми цих зразків.

Для зразка АС 6 (рис. 1) згідно з кривою ДТГ стрибки зміни швидкості втрати маси зафіксовано при 900°C, що відповідає горінню алмазного ядра. На кривій ТГ спостерігається невеликий максимум при 80°C, що можна пояснити відщепленням гідроксильних груп та фізично адсорбованих форм води і відповідає екзотермічному ефекту на кривій ДТА. При температурах вищих за 930°C починається інтенсивна втрата маси зразка за рахунок горіння вуглецю (крива ТГ). Загальна втрата маси складає 8 мг зі 100 мг наважки (8%).

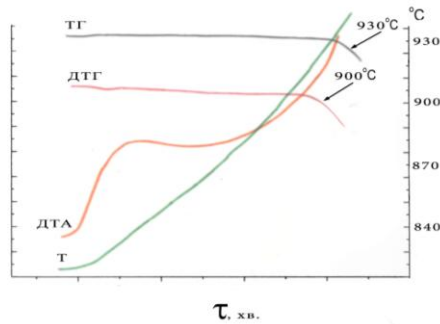


Рис. 1. Дані термогравіметричного аналізу для зразка вихідного алмазу (зразок АС 6)

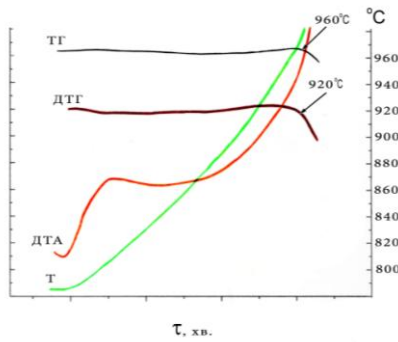


Рис. 2. Дані термогравіметричного аналізу для зразка алмазу, обробленого Ni (зразок АС 6 Ni)

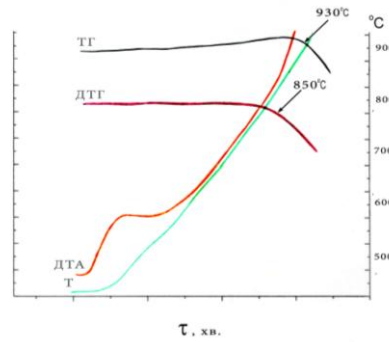


Рис. 3. Дані термогравіметричного аналізу для зразка алмазу, обробленого Cu (зразок АС 6 Cu)

На рис. 2 спостерігаються значні стрибки ТГ та ДТГ при температурах 960°C та 920°C відповідно, що відповідає горінню алмазу. Крім того на початку кривої ДТА до 100°C спостерігається характерний стрибок виділення гідроксильних груп та фізично адсорбованої форми води. Загальна втрата маси складає 7 мг.

З дериватограми зразка АС 6 Cu видно (рис. 3), що крива ТГ десь після 520°C починає підвищуватись, досягнувши піку при 830°C, а далі різко йде на спад при 930°C. Причому загальна втрата маси при 830°C складає 7 мг, а після 830°C – 12 мг (зі 100 мг наважки). Паралельно цьому процесу на кривій ДТГ різкий стрибок зафіксовано при 850°C чому відповідає горіння алмазу. Крім того на початку кривої ДТА до 100°C спостерігається характерний стрибок виділення гідроксильних груп та фізично адсорбованої форми води.

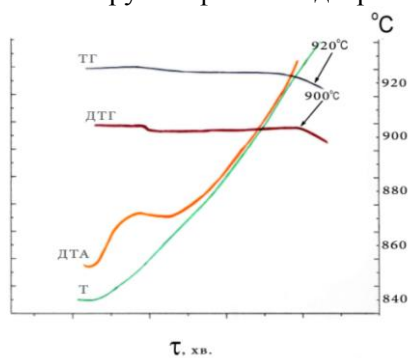


Рис. 4. Дані термогравіметричного аналізу для зразка алмазу, обробленого Ni+Al (зразок АС 6 Ni+Al)

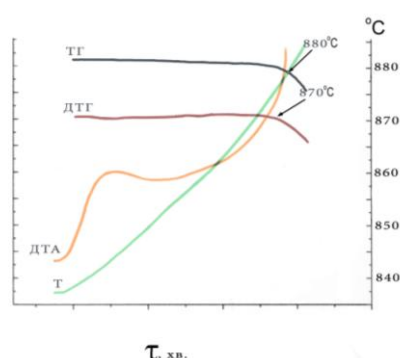


Рис. 5. Дані термогравіметричного аналізу для зразка алмазу, обробленого Cu+Al при 750°C (зразок АС 6 Cu+Al при 750°C)

Для зразка АС 6 Ni+Al (рис. 4) на кривій ТГ спостерігається спочатку незначне підняття десь біля 80°C, далі вона опускається до 440°C, ну і різко спадає при температурі 920°C. На кривій ДТГ стрибки зміни швидкості втрати маси зафіксовано при 120°C та 900°C. При температурах вищих за 440°C починається інтенсивна втрата маси зразка за рахунок горіння вуглецю, при

більших температурах відбувається горіння алмазного ядра. Загальна втрата маси складає 8 мг зі 100 мг вихідного зразка.

Дані термогравіметричного аналізу зразків показали, що всі представлені зразки виявились досить стійкими до 1000°C, для всіх них загальна втрата маси складає не більше 1–2,5 %. Для зразків алмазу з обробкою Ni та Al (зразок АС 6 Ni+Al) до 1000°C взагалі не зафіксована втрата маси. Лише для зразка чистого алмазу (АС6) спостерігається невеликий, але чіткий стрибок на кривій ТГ і ДТГ, що може свідчити про наявність ОН-груп на поверхні цього зразка. Для решти зразків явних піків на кривих ТГ і ДТГ, які могли б свідчити про наявність тих чи інших груп, що входять до складу зразків і могли б руйнуватись при тих чи інших температурах, не виявлено.

Таким чином, було отримано дериватограми алмазів початкових і металізованих, в інтервалі температур 20–1000°C, в повітряному середовищі. Загальна втрата маси початкових алмазів склала 8 %. Втрата маси пов'язана як з термоокисленням алмазів при температурі вище 500°C, так і з графітизацією алмазу при більш високих температурах (~930°C).

Аналогічна картина спостерігається при окисленні зразків алмазу металізованих Ni і Cu (рис. 5). Металізація алмазу Cu забезпечує температуру початку втрати маси в області ~930°C, Ni при більш високій температурі (~960°C). Композиційне покриття Cu–Al сприяє зниженню температури початку основної втрати маси до ~880°C, а для зразків металізованих Ni–Al до ~920°C. Для зразків алмазу АС6–Ni–Al на кривій термограми спостерігається незначна втрата маси при температурі 440°C, що ймовірно пов'язане з більш високою по відношенню до вуглецю алмазу каталітичною активністю Ni в порівнянні з Cu, руйнуванням на поверхні алмазів карбонільних і карбоксильних груп.

Порівняльні результати вимірювання статичної (механічної) міцності алмазів вихідних без покриття та з металізованими покриттями наведені в таблиці 1.

Таблиця 1.

Статична (механічна) міцність алмазів вихідних без покриття та з металізованими покриттями

Найменування зразків	Статична (механічна) міцність, Р, 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°C)	13,10
АС6 125/100 – Cu–Al (900°C)	7,99

З табл. 1 випливає, що міцність металізованих порошків вище, ніж вихідних. Якщо міцність вихідних порошків алмазу склала 7,8 Н, то після металізації поверхні порошку алмазу Ni збільшилася приблизно на 10%, а після покриття Al збільшилася на 16% і склала 9,0 Н. Після металізації порошку алмазу Cu міцність склала 12,3 Н, після покриття Al – 13,10 Н, що приблизно на 50% вище в порівнянні з міцністю вихідного порошку.

Вимірювання електрофізичних характеристик алмазів, металізованих композиційними покриттями у вигляді питомого електроопору (ρ) показали, що якщо вихідний порошок алмазу ($\rho = 5,5 \cdot 10^{10}$ Ом м), то після металізації порошків алмазу електропровідними металами Ni і Cu матеріал, природно, стає електропровідним з $\rho = 1 \cdot 10^{-5}$ і $\rho = 1 \cdot 10^{-6}$ Ом·м відповідно. Алмази, металізовані композиційними покриттями (Ni–Al і Cu–Al) мають питомий електроопір на порядок вище. При цьому якщо металізовані алмази мають низькі значення питомого електроопору, то електропровідність процесу буде вище і при електроерозійному шліфуванні повинно позитивно позначатися на зносостійкості інструменту.

Для оцінки ефективності використання зносостійкості композитів на основі алмазів марки АС6 зернистості 125/100, металізованих Ni і Cu, металізованих композиційними покриттями Ni–Al і Cu–Al була виготовлена серія шліфувальних кругів форми 12А2-45° на металевій зв'язці і полімерній зв'язці М1(100х5х3х32). Випробування цих кругів проводилися на базі модернізованого універсального точильного верстата моделі 3В642 при шліфуванні зразків твердого сплаву марки ВК8 розміром 63х15х7. Продуктивність обробки була 200 мм³/хв і 500 мм³/хв. Досліджувалися зносостійкість експериментальних кругів по питомій (q_v) витраті алмазів [7]. Результати випробувань представлені в таблицях 2 та 3.

Таблиця 2.

Обробка електроерозії твердого сплаву ВК8 шліфувальними кругами, оснащені алмазами отримані в системі Ni–Mn–C (Q= 200 мм³/хв)

№ п/п	Шліфувальний інструмент	U, В	I, А	N _{еф} , кВт	Втрати, q, мг/г
1	АС6 125/100 М1-10 50%	30	1	0,01	3,51
2	АС6 125/100 – Ni М1-10 50%	30	1	0,01	2,97
3	АС6 125/100 – Cu М1-10 50%	30	1	0,01	2,81
4	АС6 125/100 – Ni–Al М1-10 50%	30	1	0,01	2,77
5	АС6 125/100 – Cu–Al (750°C) М1-10 50%	30	1	0,01	2,65
6	АС6 125/100 – Cu–Al (900°C) М1-10 50%	30	1	0,01	2,58

Таблиця 3.

Електроерозійна обробка твердого сплаву ВК8 шліфувальними кругами, оснащені алмазами отриманими в системі Ni–Mn–C (Q= 500 мм³/хв)

№ п/п	Шліфувальний інструмент	U, В	I, А	N _{еф} , кВт	Втрати, q, мг/г
1	АС6 125/100 М1-10 50%	30	1	0,02	9,40
2	АС6 125/100 –Ni М1-10 50%	30	1	0,02	7,04
3	АС6 125/100 –Cu М1-10 50%	30	1	0,02	6,56
4	АС6 125/100 -Ni –Al М1-10 50%	30	1	0,02	5,45
5	АС6 125/100 -Cu -Al (750°C) М1-10 50%	30	1	0,02	5,14
6	АС6 125/100 - Cu -Al (900°C) М1-10 50%	30	1	0,02	4,96

Як впливає з таблиць 2, 3 втрата алмазів при обробці металізованими алмазами і алмазами з композиційними металевими покриттями нижче в порівнянні з порошками алмазу вихідними (без покриттів). Застосування металізованих покриттів Ni і Cu сприяють збільшенню зносостійкості шліфувального інструменту до 20 % при продуктивності обробки 200 мм³/хв і до 30 % при продуктивності обробки 500 мм³/хв. Оснащення шліфувального інструменту алмазами з композиційними металевими покриттями Ni–Al і Cu–Al призводять до збільшення зносостійкості інструменту приблизно на 25 % і 45 % при продуктивності обробки 200 мм³/хв і 500 мм³/хв відповідно.

Висновки

1. Вивчено вплив металізації поверхні синтетичних алмазів марки АС6 зернистості 125/100 Ni, Cu та Al на зносостійкість шліфувального інструменту.
2. Показано, що обробка алмазів металами стабілізує їх стійкість, особливо це видно для зразка, обробленого міддю та алюмінієм, який при 150°C виділяє невелику кількість кисню, досить багато води в інтервалі 200–300°C та далі залишається стабільним до 750°C.
3. Встановлено, що оснащення шліфувального інструменту алмазами з композиційними металевими покриттями Ni–Al і Cu–Al сприяє збільшенню зносостійкості інструменту приблизно на 25 % і 45 % при продуктивності обробки 200 мм³/хв і 500 мм³/хв відповідно.

1. Сверхтвердые материалы. получение и применение. Монография в 6 томах / Под общей ред. Н.В. Новикова. – Киев: ИСМ им. В. Н. Бакуля, ИПЦ «АЛКОН» НАНУ, 2003.
2. Лавріненко В. І., Ситник Б. В., Девицький О. А. Дослідження зміни напруженості електростатичного поля при шліфуванні. Високі технології в машинобудуванні. Збірник наукових праць НТУ «ХПІ», Харків – 2008, С. 215–220.
3. Лавріненко В. І. Електричні явища в процесах механічної обробки, їх взаємозв'язок із продуктивністю та енергоємністю оброблювання та способи ефективного застосування цих явищ / В. І. Лавріненко, О. А. Девицький, Б. В. Ситник // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжн. Зб. Наук. Праць. – Донецьк: ДонНТУ, 2009. – Вип. 38. – С. 122–126.
4. Лавріненко В. І. Особенности шероховатости обработанной поверхности при шлифовании кругами из СТМ с опорными элементами в рабочем слое / В. И. Лавриненко, В. Ю. Солод, Ю. И. Микитин, И. В. Лещук, Б. В. Ситник, В. Г. Полторацкий, А. А. Девицкий, В. А. Скрыбин // Резание и инструмент в технологических системах. – 2011. – Вып. 79. – С. 124–131.
5. Дуда Т. М. Эффективные покрытия для порошков алмаза и КНБ, их структурные особенности и области промышленного применения // Синтез, спекание и свойства сверхтвердых материалов. – Киев, ИСМ НАН Украины. – 2005. – С. 86–95.
6. М 23.9–303:2014 Методика определения удельного электрического сопротивления дисперсных порошков сверхтвердых материалов. – ИСМ НАН Украины, 2014. – 6 с.
7. ДСТУ 3292–95. Порошки алмазные синтетические. – Киев: ГОССТАНДАРТ Украины, 1996. – 70 с.

Стаття надійшла до редакції 20.04.2015.