4. Wear Resistance of Electrospark-Deposited Coating in Dry Sliding Friction Conditions / V. M. Holubets', M. I. Pashechko, J. Borc, O. V. Tisov, Yu. S. Shpuliar. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*. 2021. Vol. 60. P. 90-96.

5. Іващенко Є. В., Лобачова Г. Г., Шаповалова Н. А., Ігнатюк К. Є. Створення функціональних покриттів на поверхні маловуглецевої сталі багатостадійним електроіскровим легуванням хромом та графітом у насичувальних середовищах. *Проблеми тертя та зношування*. 2016. № 2 (71). С.62-64.

6. Любченко В. И. Резание древесины и древесных материалов: учебник. М.: МГУЛ, 2004. 306 с.

Гончарук О. О., Головко Л. Ф., Кагляк О. Д.,
Волошко С. М., Бурмак А. П., Данилейко О. О.
(КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ)

АЛМАЗОВМІСНІ БРОНЗОВІ ПОКРИТТЯ НА СТАЛІ З ВИКОРИСТАННЯМ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

E-mail: danyleiko.oleksandr@gmail.com

Лазерні технології синтезу алмазовмісних шарів розглядаються як ефективний спосіб створення абразивного інструменту нового покоління [1-3]. Використання бронзових сплавів як зв'язки дозволяє отримати міцні металургійні з'єднання з алмазними зернами [4-6]. При цьому важливим завданням є оптимізація режимів лазерної обробки для забезпечення щільного шару без тріщин та дефектів [7, 8].

Дослідження виконували на сталевій підкладці 40Л (ГОСТ 977-88) із мікротвердістю 153-180 HV. Алмазні зерна – синтетичні АС125, фракція 425/300, статична міцність 166 Н. Зв'язка – бронза БрО10 (міцність на згин 450 МПа, мікротвердість 1150 МПа). Суміш (бронза + 20 % алмазів) механічно змішували 3 год, наносили на підкладку шаром 5×2,4 мм, ущільнювали роликом.

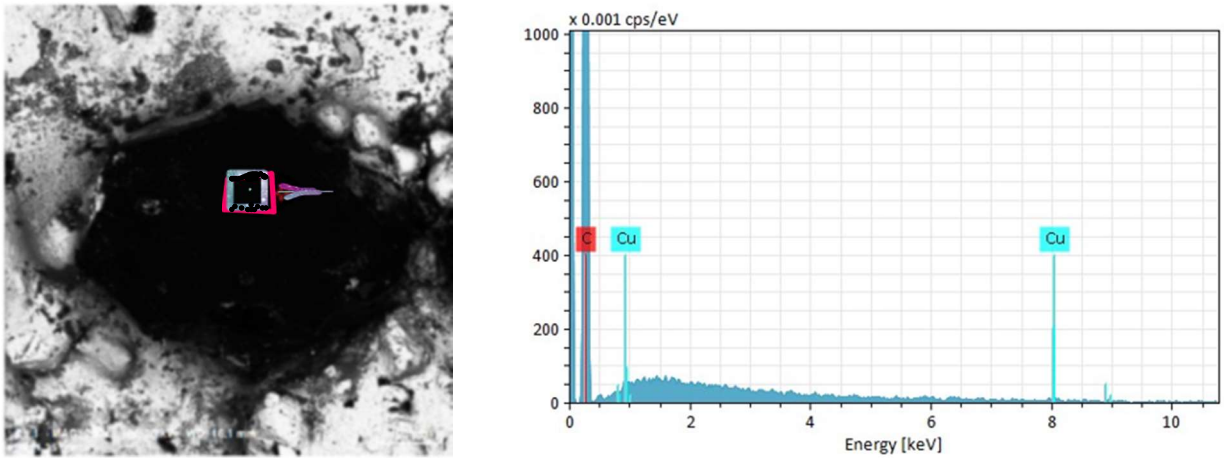
Лазерне спікання проводили оптоволоконним лазером ($\lambda = 1{,}06$ мкм, потужність 500 і 3000 Вт, час дії 0,18-1,8 с, швидкість 0,1-1 м/хв, діаметр плями – 3 мм). Процес відбувався у середовищі аргону (20 л/хв, кут подачі 45°). Основні параметри лазерного спікання наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Режими лазерного спікання алмазовмісних покриттів

№ зразка	v, м/хв	τ, с	P, Вт	$w \cdot 10^3$, Вт/см²
1	0,1	1,8	500	1,77
2	1,0	0,18	3000	10,62

Для аналізу використовували SEM (TESCAN Vega3), EDS, оптичну мікроскопію, рентгеноструктурний аналіз (Rigaku Ultima IV). Мікротвердість визначали у трьох зонах: валик, перехідний шар, ЗТВ (зона термічного впливу).

За вибраних режимів утворено щільні бездефектні алмазовмісні шари з рівномірним розподілом зерен у бронзовій матриці. Навколо зерен формується стабільний наплавочний валик без тріщин і пор (див. рис. 1), що свідчить про добру металургійну сумісність системи. Зерна частково занурені у зв'язку (до 1/3 розміру), ріжучі грані залишаються відкритими, що зберігає їх абразивні властивості.



а б

Рис. 1. Морфологія наплавочного валику (а) навколо зерна алмазу та локальний хімічний склад в області алмазу (б)

EDS-аналіз показав на межі алмаз-зв'язка вміст 99,78 % C і лише 0,22 % Cu, що підтверджує термічну стабільність зерен і відсутність графітизації. У перехідній зоні фіксується взаємна дифузія Cu та Fe з утворенням інтерметалевих сплавів, що

забезпечує високу адгезію шару до сталі. Мікротвердість залежить від режиму: зразок 2 (3000 Вт, 0,18 с) показав вищі значення у всіх зонах порівняно зі зразком 1 (500 Вт, 1,8 с). Найвищу мікротвердість зафіксовано у зоні термічного впливу, що перевищує показники валика та перехідної зони. Це пов'язано з утворенням твердих розчинів Cu-Fe різного складу.

Таким чином, оптимальні режими лазерного спікання забезпечують щільний тепловий контакт на межі алмаз/зв'язка і формування бездефектного шару. Бронза БрО10 виявилася ефективною зв'язкою завдяки високій температурі плавлення (1050 °С), що перевищує температуру графітизації алмазу (>700 °С).

Висновки.

1. Лазерне спікання з використанням оптоволоконного лазера (500-3000 Вт) дозволило синтезувати щільні алмазовмісні покриття на сталі 40Л із застосуванням бронзи БрО10.

2. Утворені композити характеризуються високою мікротвердістю, термічною стабільністю алмазних зерен та низькою пористістю.

3. Взаємна дифузія Cu та Fe забезпечує металургійний контакт бронзи зі сталлю і високу адгезію шару.

Отримані результати підтверджують перспективність застосування лазерного спікання для створення алмазного інструменту на основі покриттів БрО10 та визначають напрям подальших досліджень, пов'язаних з оптимізацією режимів та оцінкою експлуатаційних характеристик.

Вдячність. Дослідження фінансується Національним фондом досліджень України, проєкт «Синтез алмазовмісних композитів термодеформаційним лазерним спіканням для абразивної обробки великогабаритних деталей авіа-, судно- та машинобудування» (№ 0124U003940).

Література

1. A review of diamond synthesis, modification technology, and cutting tool application in ultra-precision machining / J. Zhang et al. *Materials & Design*. 2024. No. 237. P. 112577. URL: https://doi.org/10.1016/j.matdes.2023.112577.

2. Das P., Paul S., Bandyopadhyay P. P. HVOF sprayed diamond reinforced nano-structured bronze coatings. Journal of Alloys and Compounds. 2018. Vol. 746. P. 361-369. URL: https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.02.307.

3. Additive manufacturing of structured grinding wheels with a composite of Cu38Ni34Fe13Sn10Ti5 high-entropy alloy and Ni/Ti dual-coated diamonds: Interfacial characteristics, mechanical properties and grinding performance / J. Wang et al. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. 2025. Vol. 133. P. 107360. URL: https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2025.107360.

4. Визначення впливу технологічних параметрів лазерного спікання на процес формування та властивості абразивних композитів із надтвердих матеріалів / О. О. Гончарук та ін. Вісник НТУУ «КПІ». 2013. Т. 69, № 3. С. 158-165.

5. Material removal mechanism and surface quality in low-fluence femtosecond laser ablation of polycrystalline diamonds / G. Li et al. *Journal of Materials Processing Technology*. 2025. P. 118731. URL: https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2025.118731.

6. Voronin G. Diamond-SiC nanocomposites sintered from a mixture of diamond and silicon nanopowders. *Diamond and Related Materials*. 2003. Vol. 12, no. 9. P. 1477-1481. URL: https://doi.org/10.1016/S0925-9635(03)00176-6.

7. Interfacial characteristic and mechanical performance of maraging steel-copper functional bimetal produced by selective laser melting based hybrid manufacture / C. Tan et al. *Materials & Design*. 2018. Vol. 155. P. 77-85. URL: https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.05.064.

8. Interface microstructure and mechanical properties of laser welding copper-steel dissimilar joint / C. Yao et al. *Optics and Lasers in Engineering*. 2009. Vol. 47, no. 7-8. P. 807-814. URL: https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2009.02.004.