

9. Kuryliak, T. O. (2019). *Udoskonalennia protsesu otrymannia nanokompozytu almaz – karbid volframu modyfikuvanniam nanoporoshku almazu volframovnisnymy spolukamy [Improving the process of obtaining diamond-tungsten carbide nanocomposite by modifying diamond nanopowder with tungsten-containing compounds]*. [Candidate's dissertation]. Kyiv [in Ukrainian].

УДК 621.921.34-492.2:539.89:621.762.5

DOI: 10.33839/2708-731X-25-1-202-206

В. О. Веніков, аспірант

*Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України,
вул. Автозаводська, 2, 04074 м. Київ, Україна,
e-mail: vladislav.venikovv@gmail.com*

ВПЛИВ МОДИФІКАЦІЇ АЛМАЗНИХ ЧАСТИНОК КАРБІДОУТВОРЮЮЧИМИ ПОКРИТТЯМИ НА ВЛАСТИВОСТІ АЛМАЗНИХ КОМПОЗИТІВ

Розглянуто вплив покриття поверхні алмазних порошків титаном бору та хромом на властивості алмазних полікристалів, спечених за високого тиску та температури. Переважна більшість існуючих покриттів на поверхні алмазу ізолюють його поверхню від кисню, що міститься в атмосфері, завдяки чому зносостійкість алмазного інструменту зростає. Титанове покриття алмазних частинок хоч і не виділяється істотними перевагами над іншими покриттями, проте відоме своєю універсальністю шляхом покращення кількох властивостей водночас.

Ключові слова: алмазні порошки, полікристали алмазу, карбідоутворююче покриття, міжфазний зв'язок.

Вступ

Процесу ущільнення алмазних порошків під дією високого тиску та температури присвячено ряд робіт. Загальноновизнаною є точка зору, згідно якої процес ущільнення може відбуватись за трьома механізмами: пластична деформація алмазних частинок за високої температури [1, 2], дроблення алмазних частинок за високого тиску [3], та взаємне проковзування частинок під дією тиску [4]. Одним зі способів покращення останнього є нанесення покриттів, що сприяє зменшенню тертя між алмазними частинками та кращому взаємному проковзуванню. Для кращого зв'язку між покриттям та алмазними частинками використовуються матеріали, що утворюють хімічний зв'язок з поверхнею алмазу, в результаті чого на поверхні частинок алмазного порошку утворюються карбіди матеріалу цього покриття, що в подальшому сприяє ущільненню алмазного порошку за високого тиску та температури при утворенні алмазних полікристалів.

В даній роботі розглянуто зміну та покращення властивостей полікристалів алмазу та метал-алмазних композитів, спечених з алмазних порошків, на які було нанесено карбідоутворюючі покриття титану бору та хрому.

Бор

Алмаз легко окислюється приблизно при 700 °С під час нагрівання в окислювальній атмосфері, наприклад, повітрі. Це призводить до негайного виходу продуктів окислення алмазу в зовнішнє середовище та великої кількості кисневих корозійних ям [5]. Крім того, дефекти викликають серйозну втрату механічних властивостей, що серйозно обмежує термін служби та ефективність алмазно-металевих композитів [6]. Таким чином, різноманітні

застосування алмазних інструментів при високій температурі вимагають захисного бар'єру без пошкодження алмазних частинок. Нанесення на поверхню алмазу бору або його карбідів підвищує стійкість алмазу до окислення. Наприклад, в роботі [7] було визначено температуру, за якої алмазний порошок без покриття за атмосферного тиску починав втрачати масу (720°C). В свою чергу, алмазний порошок з покриттям B_4C мав вищу температуру початку втрати маси, яка склала 1090°C .

Частинки алмазу з покриттям B_4C використовуються для покращення міжфазного зв'язку та теплових властивостей композитів алмаз-мідь. В роботі [8] вказано, що покриття частинок алмазу B_4C збільшило теплопровідність композиту алмаз-мідь до 665 (Вт/мК), що на 164% перевершує теплопровідність композиту алмаз-мідь без покриття. Також композит алмаз-мідь з покриттям B_4C мав на 43% менший коефіцієнт термічного розширення в порівнянні з алмазно-мідним композитом без напилення B_4C .

Хром

Композитні матеріали мідь-алмаз розглядаються як наступне покоління матеріалів для управління температурою для радіаторів та корпусів електроніки. Головним завданням у розробці цих композитів є отримання добре з'єднаної межі між міддю та алмазом. Одним зі способів покращення цього з'єднання є нанесення хрому на алмазний порошок, що спричиняє покращення міжфазного зв'язку, теплопровідності та ущільнення [9].

Нарізання злиwkів кремнію за допомогою гальванічних алмазних дротів є фундаментальним процесом у створенні напівпровідникових пристроїв, таких як мікросхеми та фотоелектричні елементи. В роботі [10] зазначено, що в разі нанесення покриття хрому на алмазні порошки для створення алмазного дроту збільшується опір дроту до абразивного відшарування після різання, що може підвищити опір алмазних частинок в дроті до їх випадання з матричного матеріалу.

Завдяки ізоляції частинок алмазного порошку покриттям хрому, або комбінованим покриттям з хромом як одним з основних складових, у алмазу значно збільшується стійкість до окислення за атмосферного тиску та високих температур. Як зазначається в роботі [7], нанесення покриття Cr-B-C на поверхню алмазу підвищило стійкість частинок до окислення. Для порівняння, порошок без напилення починав втрачати свою масу при 720°C , з напиленням B_4C – 1090°C , та з покриттям Cr-B-C – 1151°C .

Титан

Переважає більшість відомих методів покриття титаном поверхні алмазних порошків сприяє утворенню перехідного шару алмаз-карбід титану-титан на поверхні частинок алмазу, яке в окремих випадках може покривати всю поверхню зерна алмазу, повністю використовуючи титан що осаджується як вихідну сировину для росту [11].

Покриття з титану або карбиду титану, що утворюється під час взаємодії з алмазом, сприяє кращому ущільненню алмазних композитів, в порівнянні з композитами, де напилення відсутнє. Це сприяє підвищенню механічних характеристик готового композиту [12].

Завдяки активнішій в порівнянні з алмазом взаємодії з металами, титанове покриття сприяє кращому міжфазному зв'язку в композитах алмаз-метал, таких як алмазно-твердосплавні пластини, алмазно-мідні пластини тощо. Для прикладу, в роботі [13] зазначено, що титанове покриття на поверхні алмазних частинок з подальшим виготовленням пластин алмаз- WC-Co покращило зчучування між двома компонентами пластини, що спричинило зниження швидкості зношування алмазно-твердосплавної пластин в порівнянні з пластинами, де титану не було нанесено на поверхню алмазного порошку.

Модифікація поверхні алмазу титановим покриттям запобігає безпосередньому контакту кисню та алмазу, що сприяє зменшенню ступеню перетворення алмаз-графіт за

атмосферного тиску та утворенню карбїду титану замість прямого переходу алмаз-графїт в рїзальних інструментах за високих температур обробки [14].

В роботі [15] зазначено, що титанове покриття алмазних порошоків також спричиняє збільшення питомої поверхні зерен алмазу, що в свою чергу приводить до кращого утримання частинок алмазу в зв'язці під час виготовлення алмазних кругів, та пластин алмаз-метал, що в свою чергу сприяє підвищенню зносостійкості інструменту. В [15] вказано, що при виготовленні алмазно-нікелевої пластини покриття алмазного порошку титановим шаром значно покращило механічні властивості інструменту, такі як зносостійкість та зв'язок між частинками алмазу та нікелю, де титанове покриття використовувалось як перехідний шар.

Висновки

Переважає більшість існуючих покриттів на поверхні алмазу ізолюють його поверхню від кисню, що міститься в атмосфері, завдяки чому зносостійкість алмазного інструменту зростає. Серед покриттів титаном, бором та хромом виділяється комбіноване покриття Cr-B-C, яке завдяки утворенню оксидів хрому та бору збільшує стійкість алмазного порошку до окислення з 720°C до 1151°C.

Титанове покриття алмазних частинок хоч і не виділяється істотними перевагами над іншими покриттями, проте відоме своєю універсальністю шляхом покращення багатьох властивостей водночас, таких як ущільнення композитів, змочування між двома компонентами алмаз-металевих пластин, утримання частинок алмазу в алмазних кругах, збільшення питомої поверхні алмазного порошку, підвищення зносостійкості алмазно-металевих пластин тощо.

V. O. Vienikov

V.N. Bakul institute for superhard materials of the National academy of sciences of Ukraine

INFLUENCE OF MODIFICATION OF DIAMOND PARTICLES WITH CARBIDE-FORMING COATINGS ON THE PROPERTIES OF DIAMOND COMPOSITES

The article reviews the effect of coating the surface of diamond powders with titanium boron and chromium on the properties of diamond polycrystals sintered under high pressure and temperature. The vast majority of existing coatings on the surface of the diamond isolate its surface from the oxygen contained in the atmosphere, due to which the wear resistance of the diamond tool increases. The titanium coating of diamond particles, although not distinguished by significant advantages over other coatings, is known for its versatility by improving several properties at the same time.

Key words: *diamond powders, diamond polycrystals, carbide-forming coating, interphase bond.*

Література

1. Weidner D. J., Wang Y. B., Vaughan M. T. Strength of diamond. *Science*. 1994. Vol. 266, N 5184. P. 419–422.
2. Britun V. F., Oleynik G. S., Semenenko N. P. Deformation process during high-pressure sintering of the diamond powders produced by catalytic synthesis. *J. Mater. Sci.* 1992. Vol. 27, N 16. P. 4472–4476.
3. Deng F., Yang X., Deng W., Zhou L., Wang H., Zhang Z. Law of crushing of diamond powders by ultra-high pressure extrusion. *Diamond and Related Materials*. 2019. Vol. 96, N 4446. P. 25–30.
4. Бочечка О. О., Чернієнко О. І., Куц О. В., Романко Л. О., Гаврилова В. С., Соколюк Д. В., Веніков В. О. Вплив модифікації поверхні частинок алмазного нанопорошку зв'язками C-W на спікання за високого тиску нанокompозиту алмаз – карбід вольфраму. *Інструментальне матеріалознавство. Зб. наук. пр. Вип. 25*. К.: ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, 2022. С. 219–228.

5. Okada T., Fukuoka K., Arata Y., Yonezawa S., Kiyokawa H., Takashima M., Tungsten carbide coating on diamond particles in molten mixture of Na₂CO₃ and NaCl. *Diam. Relat. Mater.* 2015. Vol. 52. P. 11–17.
6. Boland J. N., Li X. S. Microstructural characterisation and wear behaviour of diamond composite materials. *Materials*. 2010. Vol. 3, N 2. P. 1390–1419.
7. Zhang X., Sun Y., Meng Q., Wu J., He L. Enhancement of Oxidation Resistance via Chromium Boron Carbide on Diamond Particles. *Coatings*. 2021. Vol. 11. – N 2. P. 162.
8. Hu H, Kong J. Improved Thermal Performance of Diamond-Copper Composites with Boron Carbide Coating. *Journal of Materials Engineering and Performance*. 2014. Vol. 23. P. 651–657.
9. Chu K., Liu Z., Jia C., Chen H., Liang X., Gao W., Tian W., Guo H. Thermal conductivity of SPS consolidated Cu/diamond composites with Cr-coated diamond particles. *Journal of Alloys and Compounds*. 2010. Vol. 490, N 1-2. P. 453–458.
10. Su S., Zang J., Zhou Y., Liu W., Zhang X., Zhao M., Wang Y. Efficient manufacture of high-performance electroplated diamond wires utilizing Cr-coated diamond micro-powder. *Materials Science in Semiconductor Processing*. 2024. Vol. 179. P. 108511.
11. Sha X., Feng B., Yue W., Wang C. Comparison of tribological behaviors of polycrystalline diamonds synthesized by titanium- and boron-coated diamond particles. *Diamond and Related Materials*. 2022. Vol. 128, N 2. P. 109242.
12. Zhang H., Yue W., Sha X., Qin W., Wang C. Vacuum tribological properties and impact toughness of polycrystalline diamond based on titanium-coated diamond particle. *Diamond and Related Materials*. 2020. Vol. 103. P. 107712.
13. Gu Q., Han Z., Xu L., Wei S. Preparation of Ti-coated diamond/WC-Co-based cemented carbide composites by microwave-evaporation titanium-plating of diamond particles and microwave hot-press sintering. *Ceramics International*. 2023. Vol. 49, N 6. P. 10139–10150.
14. Sha X., Yue W., Zhang H., Qin W., She D., Wang C. Enhanced oxidation and graphitization resistance of polycrystalline diamond sintered with Ti-coated diamond powders. *Journal of Materials Science & Technology*. 2020. Vol. 43. P. 64–73.
15. Son K. S., Lee J. H., Choi Y. J., Jung U. C., Chung W. S. Effect of Intermediate Layer Coated Diamond Particles on Performance of Diamond Tool. *Journal of the Korean Institute of Surface Engineering*. 2013. Vol. 46, N 5. P. 216–222.

Надійшла 13.09.24

References

1. Weidner, D. J., Wang, Y. B., & Vaughan, M. T. (1994). Strength of diamond. *Science*, 266(5184), 419–422.
2. Britun, V. F., Oleynik, G. S., & Semenenko, N. P. (1992). Deformation process during high-pressure sintering of the diamond powders produced by catalytic synthesis. *J. Mater. Sci.*, 27(16), 4472–4476.
3. Deng, F., Yang, X., Deng, W., et al. (2019). Law of crushing of diamond powders by ultra-high pressure extrusion. *Diamond and Related Materials*, 96(4446), 25–30.
4. Bochechka, O. O., Chernienko, O. I., Kushch, O. V., et al. (2022). Vplyv modyfikatsii poverkhni chastynokalmaznoho nanoporoshku zviazkamy C–W na spikannia za vysokoho tysku nanokompozytualmaz – karbid volframu [The effect of modification of the surface of diamond nanopowder particles with C–W bonds on the high-pressure sintering of a diamond–tungsten carbide nanocomposite]. *Instrumentalne materialoznavstvo – Tooling material science*, (25nd Issue, p. 219–228) [in Ukrainian].
5. Okada, T., Fukuoka, K., Arata Y., et al. (2015). Tungsten carbide coating on diamond particles in molten mixture of Na₂CO₃ and NaCl. *Diam. Relat. Mater.*, 52, 11–17.

6. Boland, J. N., & Li X. S. (2010). Microstructural characterisation and wear behaviour of diamond composite materials. *Materials*, 3(2), 1390–1419.
7. Zhang, X., Sun, Y., Meng, Q., et al. (2021). Enhancement of Oxidation Resistance via Chromium Boron Carbide on Diamond Particles. *Coatings*, 11(2), 162.
8. Hu, H., & Kong, J. (2014). Improved Thermal Performance of Diamond-Copper Composites with Boron Carbide Coating. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 23, 651–657.
9. Chu, K., Liu, Z., Jia, C., et al. (2010). Thermal conductivity of SPS consolidated Cu/diamond composites with Cr-coated diamond particles. *Journal of Alloys and Compounds*, 490(1-2), 453–458.
10. Su, S., Zang, J., Zhou, Y., et al. (2024). Efficient manufacture of high-performance electroplated diamond wires utilizing Cr-coated diamond micro-powder. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 179, 108511.
11. Sha, X., Feng, B., Yue, W., & Wang C. (2022). Comparison of tribological behaviors of polycrystalline diamonds synthesized by titanium- and boron-coated diamond particles. *Diamond and Related Materials*, 128(2), 109242.
12. Zhang, H., Yue, W., Sha, X., et al. (2020). Vacuum tribological properties and impact toughness of polycrystalline diamond based on titanium-coated diamond particle. *Diamond and Related Materials*, 103, 107712.
13. Gu, Q., Han, Z., Xu, L., & Wei, S. (2023) Preparation of Ti-coated diamond/WC-Co-based cemented carbide composites by microwave-evaporation titanium-plating of diamond particles and microwave hot-press sintering. *Ceramics International*, 49(6), 10139–10150.
14. Sha, X., Yue, W., Zhang, H., et al. (2020). Enhanced oxidation and graphitization resistance of polycrystalline diamond sintered with Ti-coated diamond powders. *Journal of Materials Science & Technology*, 43, 64–73.
15. Son, K. S., Lee, J. H., Choi, Y. J., et al. (2013). Effect of Intermediate Layer Coated Diamond Particles on Performance of Diamond Tool. *Journal of the Korean Institute of Surface Engineering*, 46(5), 216–222.