

**І.О. Гнатенко, А.С. Беляєв, І.В. Андреев, О.С. Осіпов,**  
кандидати технічних наук

*Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України,  
вул. Автозаводська, 2, 04074 м. Київ, e-mail: gnatenko\_i@ukr.net*

## **ВИВЧЕННЯ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ WC–Co ТВЕРДИХ СПЛАВІВ, ОБРОБЛЕНИХ ТИСКОМ 8 ГПа ЗА ВИСОКОЇ ТЕМПЕРАТУРИ**

*Спечені тверді сплави є найпоширенішим типом матеріалів, що застосовуються для виготовлення ріжучих інструментів завдяки гарному поєднанню високої твердості та міцності. Високі температури, що утворюються під час обробки, можуть чинити шкідливий вплив на ріжучий інструмент. Таким чином, здатність інструментального матеріалу ефективно відводити тепло (теплопровідність) є важливою властивістю, яку необхідно зрозуміти та визначити кількісно.*

*Відомостей щодо впливу різних технологічних прийомів, таких як механічна, термомеханічна, термічна та баротермічна обробки, на теплопровідність твердих сплавів в літературі недостатньо. Тому в наведеній роботі було вивчено теплопровідність спечених твердих сплавів WC–6Co та WC-15Co внаслідок впливу на них високого тиску 8 ГПа та високої температури (НРНТ обробки).*

*Для вимірювання коефіцієнта теплопровідності використано метод еталону, який реалізували за допомогою комп'ютеризованої установки, розробленої в Інституті надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України. Дослідження проводилися на спечених та оброблених в апаратах високого тиску типу «Тороїд» зразках із твердих сплавів WC–6Co та WC-15Co.*

*Результати показують, що на теплопровідність значною мірою впливають вміст Co, розмір зерна WC і режим наступної НРНТ обробки. Теплопровідність спечених твердих сплавів WC-15Co становить 110 Вт/(м·К), а твердого сплаву WC–6Co – 124 Вт/(м·К). Встановлено, що застосування НРНТ обробки до спечених твердих сплавів веде до зниження їх теплопровідності.*

*Також в роботі показано ефективність застосування представленого методу, який дозволяє оцінити зміни теплопровідності в межах однієї марки сплаву внаслідок їх додаткової НРНТ обробки.*

**Ключові слова:** *твердий сплав, теплопровідність, високий тиск, карбід вольфраму, розмір карбідного зерна.*

### **Актуальність**

Вольфрамкобальтові тверді сплави є одним із найбільш широко використовуваних інструментальних матеріалів у багатьох галузях промисловості. Високі теплові властивості твердих сплавів можуть визначати максимальну робочу температуру, температурний градієнт і термічну напругу деталі. Усі ці фактори можуть сильно впливати на експлуатаційні властивості матеріалів та інструментів. Тому важливо характеризувати механічні властивості та розуміти теплові властивості таких матеріалів як тверді сплави, наприклад, WC–Co. Теплопровідність – властивість (здатність) матеріалу проводити тепло. Вона вимірюється швидкістю теплопередачі. В той же час, теплопровідність твердих сплавів відноситься до групи найменш вивчених властивостей.

В [1] зазначається, що властивості теплопередачі (теплопровідність) і коефіцієнт теплового розширення (КТР) твердосплавного інструменту можна контролювати як розміром зерна тугоплавкої складової, так і вмістом металеві зв'язувальної фази.

Дослідженню теплопровідності твердих сплавів присвячено ряд робіт [1-6]. Наприклад, в роботі [1] за допомогою регресійного аналізу робиться спроба передбачити теплопровідність різних марок твердих сплавів за хімічним складом матеріалу та значенням коерцитивної сили.

Можливість прогнозування теплопровідності на основі провідності фаз Co і WC, їх об'ємних часток і термічного опору поверхонь розділу між ними детально обговорюється Wang et al. [2], Vornberger та ін. [3] В роботі [4] досліджено теплопровідність твердих сплавів типу WC-Co-TiC в залежності від температури та вмісту карбиду титану в сплавах. Встановлено, що із збільшенням вмісту TiC теплопровідність зменшується з 83 Вт/(м·К) до 37 Вт/(м·К).

В роботі [5] було досліджено теплопровідність WC-Co твердих сплавів за криогенних температур (близько 150 К (-123 °C)) і встановлено, що тверді сплави з вищим вмістом Co мають нижчі значення теплопровідності. За температури 150 К теплопровідність твердих сплавів знаходиться в діапазоні від 80 до 160 Вт/(м·К).

В роботах [1, 5] зроблено висновок про те, що теплопровідність твердих сплавів збільшується із збільшенням середнього розміру карбідного зерна сплавів та зменшенням

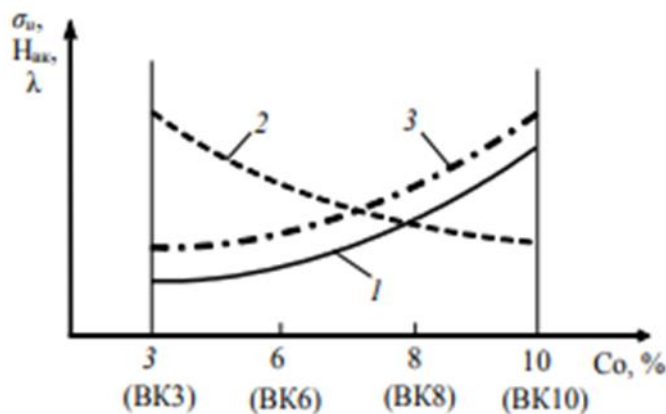


Рис. 1. Вплив вмісту кобальту на властивості твердого сплаву групи BK [7]: 1 – міцність при вигині  $\sigma_v$ ; 2 – твердість  $H_{BK}$ ; 3 – теплопровідність  $\lambda$

[11, 8], а чистого карбиду – 155 Вт/(м·К) [2] або сягає 200 Вт/(м·К) [1].

Разом з цим, в технології виробництва твердих сплавів часто, окрім основних методів отримання твердих сплавів, застосовують додаткові способи обробки твердих сплавів [12–14], які можуть впливати на структурні та механічні характеристики твердих сплавів. І відомостей про вплив таких методів на теплопровідність твердих сплавів в літературі недостатньо. Тому в наведеній роботі було вивчено теплопровідність спечених твердих сплавів WC-6Co та WC-15Co внаслідок впливу на них високого тиску 8 ГПа та високої температури (НРНТ обробки).

### Методика експерименту

Для проведення дослідження було виготовлено зразки циліндричної форми. Компонентний склад твердосплавної суміші з вмістом Co 6 та 15 % (за масою). Температура спікання для сплаву WC-6Co була 1450 °C, а для сплаву WC-15Co становила 1370 °C, витримка – 20 хв, залишковий тиск під час спікання – 2,6 Па, розміри спечених зразків після спікання: діаметр – 8,0 мм, висота – 6,0 мм, коефіцієнт усадки становив 1,25. Густина спечених зразків для сплаву WC-6Co становила 14,85 г/см<sup>3</sup>, а для сплаву WC-15Co – 13,90 г/см<sup>3</sup>. Термобаричну (НРНТ) обробку спечених зразків твердого сплаву здійснювали в апараті високого тиску типу

«тороїд» з розміром робочої камери 15 мм. Параметри НРНТ обробки були наступними: тиск – 8 ГПа з витримкою під тиском 2 хв; температура для сплаву WC–6Co – 1550 і 1700 °С; для сплаву WC–15Co температура обробки була дещо нижчою і становила 1450 і 1600 °С.

Для визначення коефіцієнта теплопровідності WC-Co зразків застосовували комп'ютеризовану установку, розроблену в Інституті надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України [15]. Для вимірювань використано метод еталону, в процесі вимірювання застосовано два еталони – холодний та гарячий. В якості еталона використано ARMSO-залізо, коефіцієнт теплопровідності якого складає 60 Вт/(м·К). Холодний еталон контактує з охолоджувачем, яким є масивний мідний циліндр. Гарячий еталон знаходиться в контакт з джерелом тепла потужністю 30 Вт. Для мінімізації контактного опору на всі поверхні еталонів та зразка нанесено спеціальний термоінтерфейс (металевий сплав), який при нормальних умовах знаходиться у рідкому стані і змочує контактні поверхні. Коефіцієнт теплопровідності термоінтерфейсу складає 80 Вт/(м·К).

Системою комп'ютерного моніторингу в режимі реального часу фіксуються покази чотирьох термодатчиків. Таким чином, для визначення коефіцієнта теплопровідності використано чотири термодатчики та два еталони. При визначенні теплопровідності зразків температура нагрівача не перевищувала 30 °С, різниця середніх температур на еталонах та зразку складала близько 6 °С. При тестуванні установки та методики на еталонних зразках з відомим коефіцієнтом теплопровідності відносна похибка вимірювань не перевищувала 5 %.

### Результати досліджень

Результати вимірювання теплопровідності спечених твердих сплавів за кімнатної температури та наведені в літературі значення теплопровідності зразків з аналогічних марок твердих сплавів наведено в таблиці.

Отримані значення теплопровідності, виміряні за допомогою наведеної методики, знаходяться у відповідності до значень теплопровідності, отриманих в роботі [6] за наведеною методикою [16]. Теплопровідність спечених твердих сплавів WC–15Co становить 110 Вт/(м·К), а твердого сплаву WC–6Co – 124 Вт/(м·К). Отримані експериментальні дані не співпадають з закономірністю, що наведена в [7], проте добре узгоджуються із дослідженнями [1, 2, 6].

Теплопровідність сплавів WC–6Co, оброблених під тиском 8 ГПа за температури 1700 °С (розмір зерна карбідної фази зростає на 30% від вихідних матеріалів), дещо нижча (122 Вт/(м·К)) від теплопровідності вихідних сплавів (124 Вт/(м·К)), оброблених за температури 1550 °С (розмір зерна збільшується на 15%). Теплопровідність знижується до 116 Вт/(м·К), повторне навантаження за таких умов не впливає на значення теплопровідності і знаходиться на рівні 118 Вт/(м·К). Слід зазначити, що в межах однієї марки сплаву із ростом зерна внаслідок дії тиску та температури теплопровідність знизилася. Таке явище можна пояснити ймовірною зміною якості міжзеренних границь внаслідок збільшення дефектів на них та руйнуванням карбідного скелета, попередньо сформованого при вільному спіканні твердих сплавів.

Встановлено, що внаслідок НРНТ обробки спечених твердих сплавів WC–15Co їх теплопровідність знижується на 20 % (за температури обробки 1450 °С) і з повторним навантаженням (2 цикл НРНТ обробки) падає до 87 Вт/(м·К). Збільшення температури НРНТ обробки до 1600 °С веде до появи в структурі спечених твердих сплавів WC–15Co сторонніх інтерметалідних фаз, які сприяють подрібненню зерна сплавів, збільшенню міжкарбідних та міжфазних границь і деякому підвищенню (на загальному фоні зниження) теплопровідності до 102 Вт/(м·К).

**Виміряні за кімнатної температури та наведені в літературі  
 значення теплопровідності зразків з твердих сплавів**

Зразок твердого сплаву	Теплопровідність, Вт/(м·К)	Літературне джерело	Середній розмір карбідного зерна сплаву, мкм
WC-6Co	34,6	[17]	
WC-6Co	62,8	[11]	
WC-6Co	80	[18]	1,0-3,0
WC-6Co	80	[18]	0,5-5,0
WC-6Co	114±6	[6]	
WC-6Co	124±2		1,8
WC-6Co після НРНТ обробки (P=8 ГПа, T=1700, τ=2 хв.)	122±3		2,3
WC-6Co після НРНТ обробки (P=8 ГПа, T=1550, τ=2 хв.)	117±2		2,1
WC-6Co після НРНТ обробки 2 цикл (P=8 ГПа, T=1550, τ=2 хв.)	118±2		2,1
WC-15Co	34,6	[17]	
WC-15Co	67	[11]	
WC-15Co	68	[18]	1,0-5,0
WC-15Co	67	[18]	2,0-8,0
WC-15Co після НРНТ обробки (P=8 ГПа, T=1500, τ=45 с)	113±6	[6]	5
WC-15Co	110±1		1,9
WC-15Co після НРНТ обробки (P=8 ГПа, T=1600, τ=2 хв.)	103±2		2,2
WC-15Co після НРНТ обробки (P=8 ГПа, T=1450, τ=2 хв.)	93±1		2,2
WC-15Co після НРНТ обробки 2 цикл (P=8 ГПа, T=1450, τ=2 хв.)	86±2		2,5

Виміряні значення теплопровідності в межах однієї марки сплаву із збільшенням зерна зменшуються, на відміну від [2, 3]. Скоріше за все, в даному випадку за передачу тепла відповідає не тільки кількість границь, але і їх якість. В [2] стверджується, що дефекти мікроструктури, такі як пористість, вакансії, додаткові компоненти в решітці або межі зерен, діють як центри розсіювання як для електронів, так і для фононів, які проводять тепло в твердих металах. Таким чином, із збільшенням щільності дефектів теплопровідність зменшується. Тому при прикладанні високого тиску (НРНТ обробка) до WC-Co твердих сплавів збільшується кількість дефектів в решітці або на границях зерен, які і перешкоджають передачі тепла.

**Висновки**

Результати проведеного дослідження показують, що на теплопровідність значною мірою впливають вміст Co, розмір зерна WC і режим наступної НРНТ обробки.

Теплопровідність спечених твердих сплавів WC–15Co становить 110 Вт/(м·К), а твердого сплаву WC–6Co – 124 Вт/(м·К). Встановлено, що застосування НРПТ обробки до спечених твердих сплавів веде до зниження їх теплопровідності.

Також в роботі показано ефективність застосування представленого методу, який дозволяє оцінити зміни теплопровідності в межах однієї марки сплаву внаслідок їх додаткової НРПТ обробки.

**I. Hnatenko, A. Bieliaiev, I. Andreiev, O. Osipov**

*V. N. Bakul Institut for Superhard Materials of National Academy of Sciences of Ukraine*

### **STUDY OF THERMAL CONDUCTIVITY OF WC-Co SOLID ALLOYS TREATED WITH 8 GPa PRESSURE AT HIGH TEMPERATURE**

*Sintered cemented carbides are the most common type of material used in cutting tools due to their good combination of high hardness and strength. High temperatures generated during processing can have a harmful effect on the cutting tool. Thus, the ability of a tool material to efficiently dissipate heat (the thermal conductivity) is an important property to understand and quantify.*

*There is not enough information in the literature on the influence of various technological techniques, such as mechanical, thermomechanical, thermal and barothermal processing, on the thermal conductivity of cemented carbides. Therefore, the thermal conductivity of sintered cemented carbides types of WC-6Co and WC-15Co as a result of the effect of high pressure of 8 GPa and high temperature (HPHT treatment) on them was studied in this work.*

*To measure the coefficient of thermal conductivity, the standard method was used, which was implemented with the help of a computerized installation developed at the V. N. Bakul Institut for Superhard Materials of National Academy of Sciences of Ukraine. The research was carried out on samples made of hard alloys WC-6Co and WC-15Co sintered and processed in high-pressure apparatus of the "Toroid" type.*

*The results show that the thermal conductivity is significantly affected by the Co content, WC grain size, and mode of subsequent HPHT processing. The thermal conductivity of WC - 15Co sintered hard alloys is 110 W/m·K, and WC - 6Co hard alloy is 124 W/m·K . It was established that the application of HPHT treatment to sintered hard alloys leads to a decrease in their thermal conductivity.*

*The paper also shows the effectiveness of the application of the presented method, which allows evaluating changes in thermal conductivity within one brand of alloy as a result of their additional HPHT processing.*

**Key words:** *cemented carbides, thermal conductivity, high pressure, tungsten carbide, carbide grain size.*

### **Література**

1. Kazymyrovych V., Kryzhanivskyy V. Thermal properties of cemented carbides used for metal cutting. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. 2023. Vol. 111. 106097.
2. Wang H., Webb T., Bitler J. W. Study of thermal expansion and thermal conductivity of cemented WC–Co composite. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. 2015. Vol. 49. P. 170–177.
3. Vornberger A., Pötschke J., Gestrich T., Herrmann M., Michaelis A. Influence of microstructure on hardness and thermal conductivity of hardmetals. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. 2020. Vol. 88. 105170.
4. Tan J., Wen Sh., Liu Yu., Du Y., Kaptay G. Thermal conductivity of WC-Co-TiC cemented carbides: Measurement and modeling. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. 2023. Vol. 112. 106153.

5. Marvin F. & Wendell W. Thermal Conductivity and Electrical Resistivity of Cemented Transition-Metal Carbides at Low Temperatures. *Journal of the American Ceramic Society*. 2005. Vol. 74, N 6. P. 1411–1416.
6. Изучение теплопроводности композиционных материалов на основе алмаза, кубического нитрида бора, карбида вольфрама и нитрида алюминия / Осипов А.С., Коростышевский Д.Л., Никишина М.В., Сербенюк Т.Б., Колабылина Т.В. и др. / Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент - техника и технология его изготовления и применения. Сб. науч. Тр. Вып. 13. К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2010. С. 338–342.
7. Залога В. О., Гончаров В. Д., Залога О. О. Сучасні інструментальні матеріали у машинобудуванні: навчальний посібник / за заг. ред. В. О. Залого. – Суми : Сумський державний університет, 2013. 371 с.
8. Лошак М.Г. Прочность и долговечность твердых сплавов. – К.: Наукова думка, 1984. 326 с.
9. Свойства элементов / под ред. Г.В. Самсонова. М.: Металлургия, 1976. Ч.1: Физические свойства. 600 с.
10. Смитлз К. Дж. Металлы: Справоч. изд.: пер. с англ. М.: Металлургия, 1980. 448 с.
11. Андриевский Р.А., Спивак И.И. Прочность тугоплавких соединений и материалов на их основе: справоч. изд. Челябинск: Металлургия, 1989. 368с.
12. Xiang Z., Li Z., Chang F., Dai P. Effect of Heat Treatment on the Microstructure and Properties of Ultrafine WC–Co Cemented Carbide. *Metals*. 2019. Vol. 9, N 12 P. 1302.
13. Owais T. M. Impact of Pressure on Sintering of Cemented Carbides: Master of Science Thesis – Materials Science. Stockholm: KTH Industrial Engineering and Management, 2013.
14. Гнатенко І. О., Лисовенко С.О., Андреев І.В., Осипов О.С. Визначення впливу тиску (7, 5 ГПа) на кристалічну будову карбиду вольфраму, що входить до складу твердого сплаву WC–6% Co. *Інструментальне матеріалознавство*. Зб. наук. пр. Вип. 23. Київ: ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, . 2020. С. 289–295.
15. Шмегера Р. С., Подоба Я. О., Кущ В. І., Беляев А. С. Вплив контактної теплопровідності міжфазної границі алмаз–металічна зв'язка на теплопровідність алмазовмісних композитів. *Сверхтвердые материалы*. 2015. – № 4. С. 39–52.
16. Азима Ю.И., Беляев Ю.И., Кулаков М. В. Устройство для измерения коэффициента теплопроводности высокотеплопроводных материалов. *Приборы и техника эксперимента*. 1985. № 4. С.248–249.
17. Туманов В.И. Свойства сплавов системы карбид вольфрама-кобальт: справоч. М.: Металлургия. 1971. 96 с.
18. Grades end physical properties (typical figures). *Everloy cemented carbide tools*. URL: <https://www.everloy-cemented-carbide.com/en/material/kind.html>.

Надійшла 18.09.23

## References

1. Kazymyrovych V. & Kryzhanivskyy V. (2023). Thermal properties of cemented carbides used for metal cutting. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 111, 106097.
2. Wang H., Webb T. & Bitler J. W. (2015). Study of thermal expansion and thermal conductivity of cemented WC–Co composite. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 49, 170–177.
3. Vornberger A., Pötschke J., Gestrich T., et al. (2020). Influence of microstructure on hardness and thermal conductivity of hardmetals. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 88, 105170.

4. Tan J., Wen Sh., Liu Yu., et al. (2023). Thermal conductivity of WC-Co-TiC cemented carbides: Measurement and modeling. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 112, 106153.
5. Frandsen, Marvin & Williams, Wendell. (2005). Thermal Conductivity and Electrical Resistivity of Cemented Transition-Metal Carbides at Low Temperatures. *Journal of the American Ceramic Society*, 74(6):1411, 1416.
6. Osypov, A.S., Korostyshevskyy, D.L., Nikyshyna, M.V., et al. (2010). Izuchenie teploprovodnosti kompozitsyonnykh materialov na osnove almaza, kubycheskoho nytrida bora, karbida volframa i nitrída aliuminiia [Study of the thermal conductivity of composite materials based on diamond, cubic boron nitride, tungsten carbide and aluminum nitride]. *Porodorazrushaiushchii i metalloobrabatyvaiushchii instrument – tekhnika i tekhnolohiia eho izhotovleniia i primeneniia – Rock Destruction and Metal-Working Tools – Techniques and Technology of the Tool Production and Applications*. (13th Issue, p. 338–342). ISM im. V.N. Bakulia NAN Ukrainy [in Russian]
7. Zastava, V. O., Honcharov, V. D., & Zastava, O. O. (2013). *Suchasni instrumentalni materialy v mashynobuduvanni: navchalnyy posibnyk [Modern instrumental materials in mechanical engineering: a study guide]*. Sumskii derzhavnyi universytet [in Ukrainian].
8. Loshak, M.H. (1984). *Prochnost y dolhovechnost tverdykh splavov [Strength and durability of hard alloys]*. Naukova dumka [in Russian].
9. (1976). Samsonov, H.V. (Ed.), *Svoistva elementov [Element properties]*. P.1. *Fizicheskie svoistva [Physical properties]*. Metalurhiia [in Russian].
10. Smitlz, K.Dzh. (1980). *Metaly [Metals]*. Metalurhiia [in Russian].
11. Andriyevskii, R.A. & Spivak, I.I. (1989). *Prochnost tuhoplavkikh soedinenii i materialov na ikh osnove [Strength of refractory compounds and materials based on them]*. Metalurhiia [in Russian].
12. Xiang, Z., Li, Z., Chang, F., & Dai, P. (2019). Effect of Heat Treatment on the Microstructure and Properties of Ultrafine WC–Co Cemented Carbide. *Metals*, 9(12), 1302.
13. Owais, T. M. (2013). *Impact of Pressure on Sintering of Cemented Carbides: Master of Science Thesis – Materials Science*. KTH Industrial Engineering and Management.
14. Hnatenko, I.O., Lisovenko, S.O., Andreyev, I.V. & Osipov O.S. (2020) Vyznachennia vplyvu tysku (7,5 GPa) na krystalichnu budovu karbidu volframu, shcho vkhodyt do skladu tverdoho splavu WC–6% Co [Determination of the effect of pressure (7.5 GPa) on the crystal structure of tungsten carbide, which is part of the hard alloy WC-6% Co]. *Instrumental'ne materialoznavstvo – Instrumental materials science*. (2nd Issue, p. 289–295). ISM im. V.N. Bakulia NAN Ukrainy [in Ukrainian].
15. Shmehera, R. S., Podoba, Ya. O., Kushch, V. I. & Byelyayev O. S. (2015). Vplyv kontaktnoi teploprovodnosti mizhfaznoi mezhi almaz–metalichna zviazka na teploprovodnist almazovmisnykh kompozytiv [The effect of the contact thermal conductivity of the diamond–metal bond interface on the thermal conductivity of diamond-containing composites]. *Nadtverdi materialy - Superhard materials*, 4, 39–52 [in Ukrainian].
16. Azima Yu.I., Bieliaiev Yu.I., Kulakov M.V. (1985) Ustroistvo dlia izmereniia koeffitsienta teploprovodnosti vysokoteploprovodnykh materialov. [Device for measuring the thermal conductivity coefficient of highly thermally conductive materials]. *Pribory i tekhnika eksperimenta – Instruments and experimental technique*, 4, 248–249 [in Russian].
17. Tumanov, V.I. (1971) Svoistva splavov systemy karbid volframa–kobalt [Properties of alloys of the tungsten carbide–cobalt system] Metalurhiia [in Russian].

18. *Grades end physical properties (typical figures)*. (b.d.) Everloy cemented carbide tools.  
<https://www.everloy-cemented-carbide.com/en/material/kind.html>.

УДК 669.018.025

DOI: 10.33839/2708-731X-24-1-260-265

**О. О. Матвійчук, М. О. Юрчук, Н. В. Литошенко**, кандидати технічних наук

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

### **ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ СЕРЕДНЬОЗЕРНИСТОГО ТВЕРДОГО СПЛАВУ VN20 (80% WC + 20% Ni), СПЕЧЕНОГО У ВАКУУМІ ЗА ТЕМПЕРАТУРИ 1350 °C ТА ПІД ДІЄЮ ЗОВНІШНЬОГО ОДНООСЬОВОГО СТИСНЕННЯ**

*Завданням наукового дослідження було вивчення особливостей впливу одноосьового стиску на формування структури середньозернистого сплаву WC–20%Ni.*

*Показано, що існує метод, який дає можливість покращити структурні параметри твердого сплаву WC–20%Ni, що забезпечує підвищення експлуатаційних показників матеріалу. Стверджується, що направлена дія одноосьового стискання дає можливість значно вдосконалити характер взаємного розміщення карбідних зерен. Такі вдосконалення призводять до підвищення фізико-механічних характеристик твердого сплаву. В роботі наведено результати дослідження формування структури та властивостей сплаву за температури спікання 1350°C під дією одноосьового стискання від нуля до 1,6 МПа.*

**Ключові слова:** *твердий сплав WC–20%Ni, спікання під одноосьовим стисканням, карбідні зерна, фізико-механічні властивості.*

#### **Вступ**

Серед карбидовольфрамів твердих сплавів сплав з вмістом нікелевої зв'язки 20% (по масі) займає значне місце в якості матеріалу як конструкційного, так і інструментального призначення. Для подальшого підвищення його експлуатаційних характеристик використовують різні методи інтенсифікації спікання. До одного з таких методів можна віднести механічну інтенсифікацію, яка здійснюється шляхом використання зовнішніх навантажень в процесі спікання заготовки [1, 2]. На сьогодні найбільш широко використовується метод гарячого пресування зі статичним та динамічним прикладанням стиску. Основною особливістю цього методу є те, що твердосплавна заготовка спікається під стиском в графітовій прес-формі, певної форми та розміру. Але використання графітової прес-форми призводить до надлишкового науглецювання заготовки, що погіршує умови праці.

Більш прогресивним є спікання під стиском в робочому об'ємі печі, коли тиск прикладається тільки до торця заготовки. При цьому заготовка не обмежується з бокових сторін і може вільно розповзатись в різні боки під дією прикладеного навантаження. В роботах [3, 4] наведено результати дослідження такого методу спікання.

В [3] відзначено, що зміна міцнісних властивостей сплаву BK15 знаходиться в залежності від розміщення в сплаві крупних зерен, що мають форму довгих голок, шпилів. Одержання сплавів методами компресійного спікання, гарячого пресування, просочування розплавами металів, термічної обробки та іншими, безперечно, покращують структурний стан матеріалу (зменшують залишкову пористість, стримують ріст зерна карбідної складової,