

УДК 669.018.25:621.762.5

**О. О. Матвійчук*, В. З. Туркевич, Є. Ф. Кузьменко,
І. О. Гнатенко**

Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля

НАН України, м. Київ, Україна

*o.o.matviichuk@gmail.com

Теплопровідність сплавів WC–20 % Co та WC–20 % Ni з мезоструктурою

Повідомлено про результат дослідження теплопровідності сплавів WC–20 % (за масою) Co та WC–20 % (за масою) Ni з мезоструктурою, виготовлених вільним рідкофазним спіканням. Проведено порівняння з літературними даними для сплавів із вмістом зв'язки 20 % (за масою).

Ключові слова: теплопровідність, мезоструктура, твердий сплав.

Тверді сплави WC–Co та WC–Ni використовують в якості зносостійких матеріалів, з них виготовляють ущільнювачі, пари тертя ковзання, а також прокатні валки [1–3], на які суттєво впливають термічні напруження, що викликає терморозтріскування через утворення радіальних тріщин. У [4] було зроблено висновок, що підвищити опір зародженню та розповсюдженню термотріщин можна декількома способами: підвищенням теплопровідності для швидкого відводу тепла від перегрітої контактної ділянки та зниженням залишкових термічних напружень, гальмуванням зародження та розповсюдження мікротріщин, чого досягають завдяки збільшенню товщини зв'язуючого матеріалу між карбідними частинками [5].

Мезоструктурна композиція у твердих сплавах дозволяє підвищити тріщиностійкість [5, 6] та знизити залишкові термічні напруження порівняно з твердими сплавами з однорідною мікроструктурами [7], але вплив мезоструктури у твердих сплавах на рівень теплопровідності залишався поза увагою.

У цьому повідомленні представлено результати дослідження теплопровідності сплавів WC–20Co¹ та WC–20Ni з мезоструктурою та впливу зерен розміром > 10 мкм на теплопровідність.

Для вимірювання теплопровідності було виготовлено зразки у формі диска діаметром 10±0,01 мм та товщиною 1±0,01 мм зі сплавів WC–20Co, WC–20Ni, в яких було використано мезoelementи з карбіду вольфраму зернистістю 125/80 [8]. Сплави спікали у вакуумі за температури 1370 °C. Густина спече-

¹ Тут і далі склад сплавів приведено у % (за масою).

них зразків визначали гідростатичним зважуванням, для спечених сплавів WC–20Co та WC–20Ni вона становила 13,6 та 13,5 г/см³ відповідно. Підготовку зразків перед вимірюванням здійснювали їхнім притиранням за допомогою алмазної пасти зернистістю 20/14.

Теплопровідність зразків визначали за допомогою пристрою для вимірювання коефіцієнта теплопровідності високотеплопровідних матеріалів ИТ-02Ц. Значення теплопровідності одержували за середньоарифметичним значенням результатів трьох вимірювань. Відносна похибка визначення коефіцієнта теплопровідності склала 5 %. Повірку пристрою проводили на мідному еталоні М1 ($\lambda = 395$ Вт/м·К) за температури +21 °С.

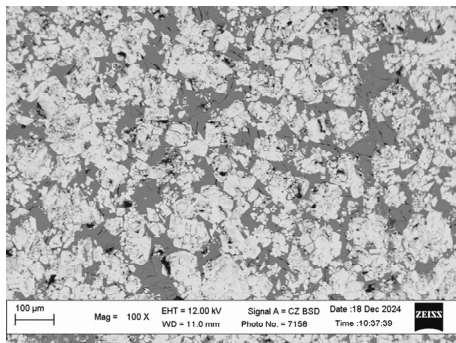
Параметри датчика для вимірювальної комірки були наступними: тепловий потік під час вимірювання рухався вздовж діаметра диска; площа теплового контакту нагрівач–зразок дорівнювала 8 мм²; потужність нагрівача під час вимірювання – 2,5 Вт; струм – 0,2 А; відстань між термопарами, що вимірювали градієнт температур, – 5 мм; відстань між нагрівачем та охолоджувачем – 7 мм; для зменшення теплових втрат на межі нагрівач–зразок та зразок–охолоджувач було застосовано теплопровідну пасту Liquid Pro (“Cool Laboratory”, Німеччина).

Зображення мікроструктури спечених зразків було отримано за допомогою електронного мікроскопа Zeiss EVO-40XVP у Центрі колективного користування науковими приладами Фізико-механічного інституту НАН України “Центр електронної мікроскопії та рентгенівського мікроаналізу” за збільшення $\times 50$ та $\times 250$. Як приклад, на рисунку приведено зображення мікроструктури сплаву WC–20Co з мезоелементами з різним збільшенням. Видно, що структура матеріалу однорідна з рівномірно розподіленими мезоелементами (див. рисунок, а). Мезоеlementи представляють собою полікристали з різною кількістю та з різними розмірами зерен WC, що можуть бути не розділені або частково розділені між собою зв’язуючою фазою (див. рисунок, б). Із застосуванням програмного пакета аналізу зображень JMicroVision 1.2.7 було визначено середній розмір мезоеlementів з WC як середнє арифметичне зі 100 вимірювань мезоеlementів. Середній розмір кожного мезоеlementу визначали як середнє значення мінімальної та максимальної довжини діаметрів еліпса, в який умовно вписується цей мезоеlement. Середню ширину прошарків зв’язки визначали як середнє арифметичне значення довжини лінійних відрізків січної, що перетинає сірі ділянки зв’язки на зображенні мікроструктури (загальна кількість проаналізованих відрізків – 120). У результаті аналізу зображення (див. рисунок, а) було проаналізовано 100 мезоеlementів і встановлено, що середній розмір мезоеlementів у сплаві дорівнював 83 мкм, максимальний – 135 мкм, мінімальний – 45 мкм; середня ширина прошарків зв’язки – 25 мкм, максимальна – 82 мкм, мінімальна – 4 мкм. Вимірюваннями було визначено, що теплопровідність сплавів WC–20Co та WC–20Ni становила 130 та 127 Вт/(м·К) відповідно.

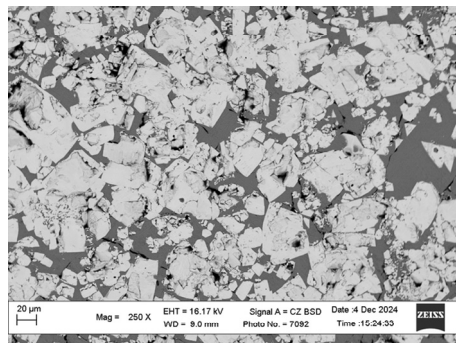
Теплопровідність є важливою характеристикою композиційних матеріалів [9]. На теплопровідність однорідних твердих сплавів групи WC–Co та WC–Ni впливає їхній склад та параметри мікроструктури, що залежать від технології їхнього виготовлення [3, 10]. У [3] продемонстровано, що в сплавах з розміром зерен карбіду вольфраму 5–10 мкм збільшення вмісту зв’язуючої фази від 10 до 20–25 % знижує теплопровідність від 130 до 85–72 Вт/(м·К).

Збільшення товщини прошарків зв’язки та значне збільшення розмірів зерен карбіду вольфраму до мезорівня приводить до збільшення теплопровідності композиційних матеріалів WC–Co та WC–Ni у 1,5 рази порівняно з од-

норідними сплавами того самого складу, що в умовах обмеженого змащування за великих швидкостей обертання пари тертя ковзання буде ефективно відводити тепло від границі ущільнення.



a



б

Зображення мікроструктури мезоструктурного твердого сплаву WC–20Co, SEM зображення отримані зі збільшенням $\times 50$ (*a*) та $\times 250$ (*б*).

ФІНАНСУВАННЯ

Дану роботу не фінансували із зовнішніх джерел.

КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ

Автори заявляють, що вони не мають конфлікту інтересів.

O. O. Matviichuk, V. Z. Turkevych, Ye. F. Kuz'menko,
I. O. Hnatenko
Bakul Institute for Superhard Materials,
National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
Thermal conductivity of WC–20%Co and WC–20%Ni alloys
with mesostructure

The article presents the results of the study of thermal conductivity of WC–20 wt % Co and WC–20 wt % Ni alloys with a mesostructure produced by free liquid-phase sintering. A comparison was made with literature data for alloys with a bond content of 20 wt %.

Keywords: thermal conductivity mesostructural cemented carbides.

1. Барановский А.М., Безручко А.Г. Антифрикционные материалы на основе твердого сплава типа ВН и опыт их применения в тяжелонагруженных парах трения скольжения. *Инструментальный світ*. 2013. № 1 (57). С. 12–15.
2. Матвійчук О.О. Формування мезоструктурних композицій в парах тертя. Огляд. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. 2024. Т. 61, № 3. С.78–84.
3. Wen S., Du Y., Liu Y., Tan J., Long J., Lou M., Chang K., Qiu L., Tan Z., Yin L., Kaptay G. Manipulation of the thermal conductivity for two-phase WC–Ni composites through a microstructure-based model along with key experiments. *J. Mater. Res. Technol.* 2023. Vol. 22. P. 895–912.
4. Kennedy F.E., Karpe S. A. Thermocracking of a mechanical face seal. *Wear*. 1982. Vol. 79, no. 1. P. 21–36.
5. Deng X., Patterson B.R., Chawla K.K., Koopman M.C., Fang Z., Lockwood G., Griffio A. Mechanical properties of a hybrid cemented carbide composite. *Int. J. Refract. Met. Hard Mater.* 2001. Vol. 19, nos. 4–6. P. 547–552.
6. Kushch V.I., Lisovsky A.F., Shestakov S.I. Modeling of the mesostructure in cemented carbides. *J. Superhard Mater.* 2003. Vol. 25, no. 3. P. 32–40.

7. Lytoshenko N.V., Matviichuk O.O. Residual thermal stresses in hard alloys with a mesostructure. *Mater. Sci.* 2024. Vol. 60, no. 1. P. 62–66.
8. Bondarenko V.P., Andreyev I.V., Savchuk I.V., Matviichuk O.O., Ievdokymova O.V., Galkov A.V. Recent researches on the metal-ceramic composites based on the decamicron-grained WC. *Int. J. Refract. Met. Hard Mater.* 2013. Vol. 39. P. 18–31.
9. Никишина М. В., Сербенюк Т.Б., Колабылина Т.В., Ткач С.В., Стратийчук Д.А., Фесенко Е.И., Часнык В.И., Гажа Г.П., Беловол В.С., Смирнова Т.И., Петруша И.А., Бондаренко Н.А., Лошак М.Г., Лавриненко В.И., Фесенко И.П., Осипов А.С., Коростышевский Д.Л. Изучение теплопроводности композиционных материалов на основе алмаза, кубического нитрида бора, карбида вольфрама и нитрида алюминия. *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр.* Вып. 13. Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2010. С. 338–342.
10. Гнатенко І.О., Беляєв А.С., Андреев І.В., Осіпов О.С. Вивчення теплопровідності WC–Co твердих сплавів, оброблених тиском 8 ГПа за високої температури. *Інструментальне матеріалознавство*. 2023. Т. 26, № 1. С. 253–260.

Надійшла до редакції 26.12.24

Після доопрацювання 17.01.25

Прийнята до опублікування 21.01.25