

О. О. Матвійчук, М. О. Юрчук, І. О. Гнатенко, кандидати технічних наук

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

**ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ
СЕРЕДНЬОЗЕРНИСТОГО ТВЕРДОГО СПЛАВУ З НІКЕЛЕВОЮ
ЗВ'ЯЗКОЮ (92% WC + 8% Ni), СПЕЧЕНОГО У ВАКУУМІ
ПРИ ТЕМПЕРАТУРІ 1350 °С ПІД РІЗНИМИ ВЕЛИЧИНАМИ
ЗОВНІШНЬОГО ОДНООСЬОВОГО СТИСКУ**

Описані можливості подальшого підвищення експлуатаційних характеристик низьконікелевого твердого сплаву 92 % WC–8 % Ni шляхом використання різних методів інтенсифікації спікання. Стверджується, що направлене розміщення крупних зерен карбіду вольфраму (WC) може забезпечити анізотропію властивостей сплаву, використання якої підвищить експлуатаційні характеристики виробу. Систематичних досліджень впливу стиску на особливості зміни властивостей сплаву, в тому числі за рахунок зміни характеру розподілу зерен WC по об'єму виробу, в роботах не проводилось. На нашу думку, відсутність таких знань не дозволяє заздалегідь створювати твердосплавні вироби з підвищеними властивостями і за рахунок оптимального розподілення карбідної складової по їх об'єму.

Тому метою цього дослідження є визначення впливу одноосьового стиску на характер розподілу складових твердого сплаву з нікелевою зв'язкою, що в цілому забезпечить підвищення рівня його властивостей.

В роботі наведені результати дослідження особливостей формування структури та властивостей середньозернистого твердого сплаву ВН8 при спіканні у вакуумі за температури 1350 °С під різними величинами зовнішнього одноосьового стиску від 0 МПа (вільне спікання) до 0,6 МПа (0,4, 0,6).

В роботі розгорнуто описана методика дослідження сплаву та одержання зразків. Визначені стандартні значення властивостей сплаву.

Встановлено, що структурний стан твердого сплаву ВН8, спеченого у вакуумі без прикладання одноосьового тиску та під дією зовнішнього напруження тиску, не змінюється з ростом напруження стиску. Середній розмір перерізів зерен WC зменшився. Причиною зменшення розміру перерізів зерен WC з 1,46 мкм до 1,39 мкм є те, що при спіканні маса сплаву під дією напруження стиску переміщується. Це не дає можливості для утворення у сплаві конгломератів зерен карбіду.

Під впливом тиску в процесі спікання структура сплаву децю текстуризується, з'являються випадкові поодинокі орієнтовані групи зерен WC. Очевидно, підвищення температури спікання забезпечить підвищення текстуризації структури сплаву.

Показано, що метод спікання доволі перспективний для виготовлення твердосплавних виробів конструкційного призначення.

Ключові слова: *твердий сплав, інтенсифікація, спікання, експлуатаційна характеристика, високий тиск, коефіцієнт усадки, кристалічна ґратка, карбід вольфраму.*

Вступ

Серед карбідовольфрамових твердих сплавів з нікелевою зв'язкою, що одержали досить значне місце в якості матеріалу як конструкційного, так і інструментального призначення, є твердий сплав з вмістом нікелевої зв'язки 8 % (за масою). Для подальшого підвищення його експлуатаційних характеристик використовують різні методи інтенсифікації

спікання. До одного із методів можна віднести механічну інтенсифікацію, яка здійснюється шляхом використання зовнішніх навантажень в процесі спікання заготовки [1–6]. На сьогодні, найбільш широкого розповсюдження одержав метод гарячого пресування з статичним та динамічним прикладанням стиску. Основною особливістю цього методу є те, що твердосплавна заготовка спікається під стиском в графітовій прес-формі, яка і надає заготовці відповідні форму та розміри. 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 стиск прикладається тільки до торця заготовки. При цьому заготовка не обмежується з бокових сторін і може вільно розповзатись в різні боки під дією стиску. В роботах [7–10] наведені результати дослідження такого методу спікання.

В роботі [7] відмічено, що зміна величини міцності сплаву ВК15 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, змінюють склад твердого розчину на основі кобальту, змінюють напружений стан у складових фазах сплаву та інш.), однак значного впливу на характер розміщення зерен карбіду по об'єму сплаву вони не мають.

В той же час в роботах [7–9] стверджується, що направлене розміщення крупних зерен карбіду вольфраму (WC) може забезпечити анізотропію властивостей сплаву, використання якої підвищить експлуатаційні характеристики виробу. Особливо це важливо для виробів конструкційного призначення.

Однак, систематичних досліджень впливу одноосьового стиску на особливості зміни властивостей сплаву, в тому числі за рахунок зміни характеру розподілу зерен WC по об'єму виробу, в роботах [7–9] не проводилось. На нашу думку, відсутність таких знань не дозволяє заздалегідь створювати твердосплавні вироби з підвищеними властивостями і в тому числі і за рахунок оптимального розподілення карбідної складової по їх об'єму.

Тому метою цього дослідження є визначення впливу одноосьового стиску на характер розподілу складових карбидовольфрамового твердого сплаву з нікелевою зв'язкою системи 80% WC + 8% Ni, що в цілому забезпечить підвищення рівня його властивостей.

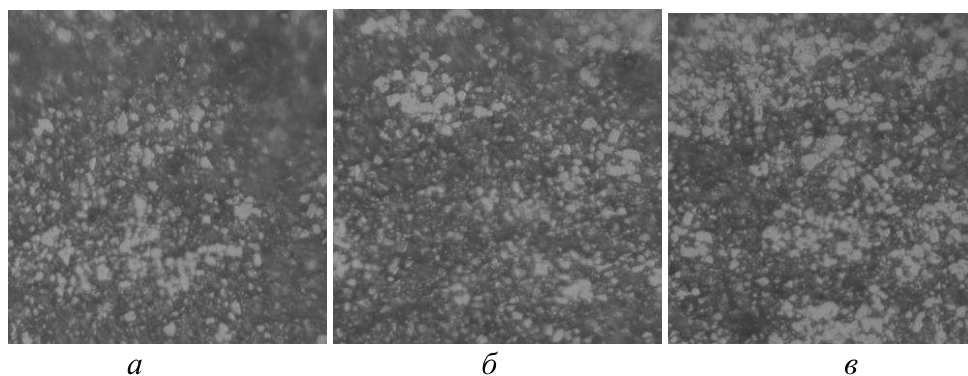


Рис. 1. Структури твердого сплаву ВН8 при спіканні у вакуумі за температури 1350 °С під різними величинами зовнішнього одноосьового стиску: а – $P = 0$ МПа, б – $P = 0,4$ МПа, в – $P = 0,6$ МПа

В роботі наведені результати дослідження особливостей формування структури та властивостей середньозернистого твердого сплаву ВН8 при спіканні у вакуумі за температури

1350 °С під різними величинами зовнішнього одноосьового стиску від 0 МПа (вільне спікання) до 0,6 МПа (0,4, 0,6), рис.1. Також наведені паспортні дані вихідної порошкової суміші сплаву, підготовка її до пресування і пресування дослідних зразків [9].

Методика дослідження

Коерцитивну силу H_{cm} (кА/м) зразків вимірювали приладом «Кобальт-1» [11], густину спечених зразків ρ (г/см³) – гідростатичним зважуванням лабораторними вагами ВЛР-200м [12], твердість зразків за Роквеллом (шкала А) HRA – вдавлуванням алмазного наконечника з внутрішнім кутом $120 \pm 0,5^\circ$ під попереднім навантаженням 98,07 Н і загальним 1471 Н твердоміром моделі ТК-2 [13].

Для експериментів використовували вихідні порошки WC по ТУ 48-19-265-77 та карбонільного нікелю марки ПНУ ДЗТС 9722-79. З метою очищення від небажаних домішок вихідні порошки просіяли крізь сито з комірками розміром 40 мкм. Середній розмір зерна карбіду вольфраму визначали методом ртутної порометрії [14]. Середній розмір зерна карбіду вольфраму \bar{d}_{WC} становив $1,6 \pm 0,1$ мкм, вміст зерен розміром 0,6–4,0 мкм становив 82%, а питома площа поверхні – $1,9 \pm 0,1$ м²/г.

Порошки WC і нікелю перемішували у сталевому кульковому млині, футерованому твердим сплавом, в середовищі спирту етилового C₂H₅OH, ГОСТ 5962-67 (96%-вий розчин). Витрати спирту становили 0,2 л на 1 кг суміші. Як тіла для перемішування порошоків у млинах брали твердосплавні (твердий сплав марки ВК3) кулі діаметром 10–12 мм. Відношення твердосплавних куль до суміші становило 5:1. Тривалість перемішування – 10 год. Вивантажену з млинів перемішану суміш просушували в паровій шафі за температури ~120 °С протягом 24–30 год. Просушену суміш відокремлювали від твердосплавних куль за допомогою вібросита з розміром комірок сітки 100 мкм. З метою виключення можливості винесення потоком повітря з вібросита частинок суміші відокремлювання від куль здійснювали при виключеній місцевій витяжці. Готували суміш до пресування згідно з вимогами технологічних інструкцій ІНМ НАН України [15, 16]. Перед замішуванням на пластифікаторі суміш повторно просіювали крізь сито з розміром комірок 0,1 мм. Просіяну суміш замішували на 5%-ному розчині синтетичного каучуку в бензині, додаючи до 1 кг суміші 150 мл. розчину.



Рис. 2. Зовнішній вигляд зразка твердого сплаву ВН8, спеченого в вакуумі з прикладанням та без прикладання одноосьового стиску

Для дослідження використовували заготовки у вигляді циліндрів діаметром 10 мм і висотою $H = 20$ мм (рис. 2).

Пресували циліндри з підготовленої до пресування суміші на гідравлічному пресі у сталевих прес-формах. Масу наважки на один циліндр розраховували за загальноприйнятою методикою. Пористість пресовок становила ~50%. Пресовки сушили в сушильній шафі за температури ~150 °С протягом 24 год. Випалювання каучуку здійснювали в контрольованому метановодневому середовищі в горизонтальній тризонній трубчатій печі безперервної дії з молібденовими нагрівачами конструкції ІНМ НАН України (ГП-130). Вимірювали температуру нагрівання вольфрамрениєвою термопарою. Характерна особливість такого способу спікання

полягає в тому, що шляхом регулювання вуглецевого потенціалу газового середовища у процесі спікання вдавалось досягти необхідного вмісту загального вуглецю у сплаві та

зберегти його до завершення спікання. Вільне спікання здійснювали в електричній вакуумній печі моделі ОКБ-8086, ТУ 16-531.302-75. Залишковий тиск у камері спікання печі становив 0,13 Па. Температуру нагрівання вимірювали вольфрамрениєвою термпарою.

Вміст загального вуглецю $C_{\text{заг}}$ у вихідній суміші та вільно спеченому сплаві визначали абсорбційно-газооб'ємним методом [17]. Для визначення вмісту загального вуглецю в зразках-свідках спеченого сплаву (шліфованих штапиках) останні подрібнювали у твёрдосплавній ступці після визначення їх необхідних властивостей. Одержану крупку просіювали крізь сито з розміром комірок 0,1 мм. Вміст загального вуглецю в суміші та сплаві наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Вміст загального вуглецю у вихідній суміші та спеченому сплаві ВН8

Марка сплаву	Вміст загального вуглецю $C_{\text{заг}}$, % за мас.		
	при стехіометричному складі суміші	у фактично в порошковій суміші	у фактично в експериментальних зразках сплаву
ВН8	5,63	5,71–5,68	5,70–5,75

Зовнішній вигляд зразків, спечених під стиском та без прикладання одноосьового стиску у вакууму, майже не відрізнявся і показаний на рис. 2.

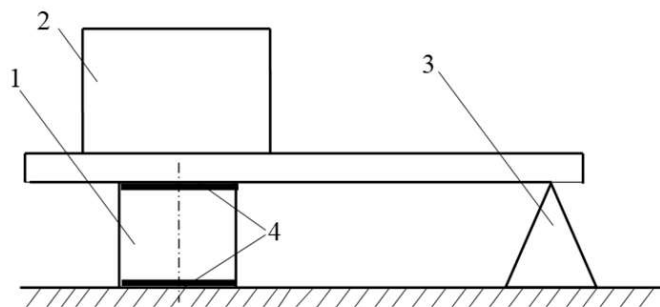


Рис. 3. Схема навантаження циліндричного твёрдосплавного зразка при його випробуванні на однісіне стиснення в вакуумі в умовах високих температур: 1 – зразок; 2 – вантаж; 3 – опора; 4 – прокладка (шар) з дрібнозернистого чистого корунду (Al_2O_3)

Усадку заготовок визначали шляхом вимірювання лінійних розмірів – діаметра і висоти.

Зовнішнє одноосьове напруження стискання здійснювали через графітові прокладки (рис. 3).

З метою виключення контакту експериментального зразка з графітовим оснащенням, в якому здійснювали спікання, що призвело б до зміни його хімічного складу внаслідок дифузії вуглецю при високих температурах спікання, на торці заготовок наносили тонкий шар дрібнозернистого чистого корунду (Al_2O_3). Величину навантаження змінювали шляхом

зміни відстані зразка до опори.

Результати дослідження та їх обговорення

Прикладання одноосьового стиску в процесі спікання сплаву ВН8 при температурі 1350 °С не призводить до помітних змін коефіцієнтів усадки сплаву як по висоті, так і по діаметру (табл. 2). Майже не змінюються фізико-механічні властивості сплаву – густина та твердість (табл. 3).

В зразках-свідках сплавів η_1 -фази не виявлено.

Стандартні значення властивостей сплаву: густина $\rho = 14,60\text{--}14,90 \text{ г/см}^3$, границя міцності при згині $R_{bm} = 1350 \text{ МПа}$, твердість $HRA = 85$.

Таблиця 2. Коефіцієнт усадки твердого сплаву ВН8 після спікання під дією зовнішнього напруження стиску при температурі 1350 °С

Напруження стиску, кг/см ² (вантаж, кг)	Тривалість дії напруження, хв	Коефіцієнт усадки по	
		діаметру	висоті
0	30	1,15	1,15
0,4	30	1,13	1,23
0,6	30	1,13	1,23

Таблиця 3. Властивості твердого сплаву ВН8 після спікання під дією зовнішнього напруження стиску при температурі 1350 °С

Напруження стиску, МПа	Тривалість дії напруження, хв	Густина ρ , г/см ³	Коерцитивна сила H_{cm} , кА/м	Твердість, HRA	Кількість пор		Середній розмір зерна WC перерізу $d_{сер.}$, мкм	Переріз зерна WC розміром 1,0 мкм в % на шліфах	Переріз зерна WC розміром 2,0 мкм в % на шліфах
					до 50 мкм, %	від 50 до 100 мкм, шт			
0	30	11,70	0,9	73,0	Д-1-0,1	54	1,46	64	28
0,4	30	11,66	0,8	89,0	А-1-0,02 В-4-0,2	90, по краю скупчення пор 3×54	1,99	46	22
0,6	30	12,05	0,9	76,0	А-2-0,01		1,39	72	21

Встановлено, що структурний стан твердого сплаву ВН8, спеченого у вакуумі без прикладання одноосьового тиску та під дією зовнішнього напруження тиску, не змінюється з ростом напруження стиску. Середній розмір перерізів зерен WC зменшився з 1,46 до 1,39 мкм. При цьому збільшується кількість перерізів зерен WC з розмірами 1 мкм з 64 до 72 % і зменшується кількість перерізів зерен WC з розмірами 2 мкм з 28 до 21 %.

Причиною зменшення розміру перерізів зерен WC з 1,46 мкм до 1,39 мкм є те, що при спіканні маса сплаву під дією напруження стиску переміщується. Це не дає можливості конгломератам зерен карбиду на початкових стадіях спікання утворюватись у сплаві, а в подальшому зрощуватись один з одним та коалесціувати.

Під впливом одноосьового тиску в процесі спікання структура сплаву дещо текстуризується, появляються випадкові поодинокі орієнтовані групи зерен WC. Очевидно, підвищення температури спікання забезпечить підвищення текстуризації структури сплаву.

Висновки

1. Хімічний склад сплаву (насамперед вміст у ньому вуглецю) при спіканні під дією зовнішнього напруження одноосьового стискання практично не змінюється.

2. Спіканням у вакуумі твердого сплаву ВН8 під дією одноосьового тиску можна зменшити пористість, а також дещо збільшити густину і твердість HRA сплаву.

3. В результаті дії напруження стиску на масу сплаву відбувається початкова текстуризація структури матеріалу. Очевидно, підвищення температури спікання призведе до відчутних змін властивостей сплаву.

4. Дослідження показали, що метод спікання твердих сплавів під дією зовнішнього напруження одноосового стискання доволі перспективний для виготовлення твердосплавних виробів конструкційного призначення.

О.О. Matviychuk, М. О. Yurchuk, І.О. Hnatenko

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

CHARACTERISTICS OF THE FORMATION OF THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF A MEDIUM-GRAINED HARD ALLOY WITH A NICKEL BINDER (92% WC + 8% Ni) SINTERED IN VACUUM AT A TEMPERATURE OF 1350 °C UNDER THE DIFFERENT VALUES OF THE EXTERNAL UNIAXIAL COMPRESSION

The possibilities of further improvement of the operational characteristics of the low-nickel hard alloy 92% WC-8% Ni by using various methods of sintering intensification are described. It is claimed that the directed placement of large grains of tungsten carbide (WC) can provide anisotropy of alloy properties, the use of which will increase the operational characteristics of the product. Systematic studies of the effect of compression on the specifics of the change in the properties of the alloy, including due to the change in the nature of the distribution of WC grains in the volume of the product, has not been carried out yet. In our opinion, the lack of such knowledge does not allow to create in advance hard alloy products with increased properties and due to the optimal distribution of the carbide component in their volume. Therefore, the purpose of this study is to determine the influence of uniaxial compression on the nature of the distribution of the components of a hard alloy with a nickel bond, which will generally ensure an increase in the level of its properties.

The paper presents the results of a study of the peculiarities of the formation of the structure and properties of the medium-grained hard alloy VN8 during sintering in a vacuum at a temperature of 1350 °C under different values of external uniaxial compression from 0 MPa (free sintering) up to 0.6 MPa (0.4, 0.6).

The work describes in detail the method of researching the alloy and obtaining samples. Standard values of alloy properties are determined.

It was established that the structural state of the VN8 hard alloy sintered in a vacuum without the application of uniaxial pressure and under the action of external pressure stress does not change with increasing compressive stress. The average cross-sectional size of WC grains was decreased. The reason for the decrease in the cross-sectional size of WC grains from 1.46 μm to 1.39 μm is that during sintering, the mass of the alloy moves under the action of compressive stress. This does not allow for conglomerates of carbide grains to appear in the alloy.

Under the influence of pressure during the sintering process, the structure of the alloy becomes texturized, random individual oriented groups of WC grains appear. Obviously, an increase in the sintering temperature will ensure an increase in the texturization of the alloy structure. It has been shown that the sintering method is quite promising for the production of structural hard alloy products.

Key words: *hard alloy, intensification, sintering, operational characteristics, high pressure, shrinkage coefficient, crystal lattice, tungsten carbide.*

Література

1. Третьяков В.И. Основы металловедения и технологии производства спеченных твердых сплавов. – М.: Металлургия, 1976. – 528 с.
2. Бабич М.М. Неоднородность твердых сплавов по содержанию углерода и ее устранение. – К.: Наукова думка, 1975. – 174 с.
3. Бондаренко В.П., Павлоцкая Э.Г. Спекание вольфрамовых твердых сплавов в прецизионно контролируемой газовой среде. – К.: Наукова думка, 1995. – 202 с.

4. Бондаренко В.П. Спечені тверді сплави – високоефективні інструментальні та конструкційні матеріали Прогресивні матеріали і технології. У 2-х т. Т. 2. – К.: Академперіодика, 2003. – С. 219–251.
5. Бондаренко В.П. Условия обеспечения максимальной прочности и пластичности зернистых композитов // Высоконаполненные зернистые композиты. Сб. науч. тр. – К., 1991. – С. 4–14.
6. Лошак М.Г. Прочность и долговечность твердых сплавов. – К.: Наукова думка, 1984. – 328 с.
7. Бондаренко В.П., Юрчук Н.А. Спекание твердого сплава ВК15 под действием сжимающего напряжения // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент-техника и технология его изготовления и применения. Сб. науч. трудов. – Выпуск 8. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2005. – С. 249–255.
8. Бондаренко В.П., Юрчук М.О. Структурный стан та властивості твердих сплавів ВК6 і ВК15 спечених під зовнішнім одноосьовим тиском // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент-техника и технология его изготовления и применения. Сб. науч. тр. – Выпуск 10. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2007. – С. 393–400.
9. Бондаренко В.П., Юрчук М.О., Галков О.В. Особливості структури та властивості карбидовольфрамового твердого сплаву з нікелевою зв'язкою ВН 20 (80 % WC + 20 % Ni), спеченого у вакуумі під зовнішнім одноосьовим тиском // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент-техника и технология его изготовления и применения. Сб. науч. тр. – Выпуск 17. – К. ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2014. – С. 437–444.
10. Ковальченко М.С., Лаптев А.В., Жидков А.Б., Юрчук Н.А. Связь количественных характеристик структуры с механическими свойствами горячепрессованных керметов // Материалы на основе карбидов. – К.: ИПМ АН УССР, 1986. – С. 174–180.
11. Сплавы твердые спеченные. Метод определения коэрцитивной силы: ГОСТ 24916-81 [Введен в действие от 1982-01-01]. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1981. – 8 с.
12. Сплавы твердые спеченные. Метод определения плотности: ГОСТ 20018-74 [Введен в действие от 1976-01-01]. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1974. – 11 с.
13. Сплавы твердые спеченные. Метод определения твердости по Роквеллу: ГОСТ 20017-74 [Введен в действие от 1976-01-01]. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1974. – 10 с.
14. Ермоленко Н.Ф., Эфрос М.Д. Регулирование пористой структуры оксидных адсорбентов и катализаторов – Минск: Наука и техника, 1971. – 285 с.
15. Приготовление раствора синтетического каучука в бензине: Технологическая инструкция 25000.20063. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля АН УССР, 1979. – 11 с.
16. Замешивание твердосплавных смесей: Технологическая инструкция 25000.20072. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля АН УССР, 1980. – 10 с.
17. Дымов А.М. Технический анализ. (Методы определения содержания элементов). – М.: Металлургия, 1964. – С. 31–51.

Надійшла 12.08.22

References

1. Tretiakov, V.I. (1976). *Osnovy metallovedeniia i tekhnologii proizvodstva spechennykh tverdyykh splavov* [Fundamentals of metallurgy and technology for the production of sintered hard alloys]. Moscow: Metallurhia [in Russian].
2. Babich, M.M. (1975). *Neodnorodnost tverdyykh splavov po sodержaniyu uhleroda i ee ustraneniye* [Heterogeneity of hard alloys in terms of carbon content and its elimination]. – Kiev: Naukova dumka [in Russian].
3. Bondarenko, V.P., & Pavlotskaia, E.G. (1995). *Spekanie volframovykh tverdyykh splavov v pretsizionno kontroliruyemoy gazovoy srede* [Sintering of Tungsten Hard Alloys in a Precisely Controlled Gas Environment]. Kiev: Naukova dumka [in Russian].
4. Bondarenko, V.P. (2003). Specheni tverdi splavy – vysokoefektyvni instrumentalni ta konstruktsiini materialy [Sintered hard alloys are highly efficient tool and construction materials]. *Prohresyvni materialy i tekhnologii* [Progressive materials and technologies]. (Vols. 1–2; Vol. 2). Kyiv: Akadempriodyka [in Ukrainian].
5. Bondarenko, V.P. (1991). Usloviya obespecheniya maksimal'noy prochnosti i plastichnosti zernistykh kompozitov [Conditions for ensuring maximum strength and plasticity of granular composites] *Vysokonapolnennyye zernistyye kompozity – Highly filled granular composites*. Kiev [in Russian].
6. Loshak, M.G. (1984). *Prochnost i dohovechnost tverdyykh splavov* [Strength and durability of hard alloys]. Kiev: Naukova dumka [in Russian].
7. Bondarenko, V.P., & Yurchuk, N.A. (2005). Spekanie tverdoho splava VK15 pod deistviem szhimaiushchego napriazheniia [Sintering of hard alloy VK15 under compressive stress]. *Porodorazrushaiushchii i metalloobratyvaiushchii instrument – tekhnika i tekhnologiya ego izgotovleniia i primeneniia – Rock Destruction and Metal-Working Tools – Techniques and Technology of the Tool Production and Applications*, 8, 249–255.
8. Bondarenko, V.P., & Yurchuk, M.O. (2007). Strukturnyi stan ta vlastyvoli tverdyykh splaviv VK6 i VK15 spechenyykh pid zovnishnim odnoosovym tyskom [Structural state and properties of VK6 and VK15 hard alloys sintered under external uniaxial pressure]. *Porodorazrushaiushchii i metalloobratyvaiushchii instrument – tekhnika i tekhnologiya ego izgotovleniia i primeneniia – Rock Destruction and Metal-Working Tools – Techniques and Technology of the Tool Production and Applications*, 10, 393–400 [in Ukrainian].
9. Bondarenko, V.P., Yurchuk, M.O., & Halkov, O.V. (2014). Osoblyvosti struktury ta vlastyvoli karbidovolframovoho tverdoho splavu z nikelvoiu zviazkoiu VN 20 (80 % WC + 20 % Ni), spechenoho u vakuumi pid zovnishnim odnoosovym tyskom [Features of the structure and properties of tungsten carbide hard alloy with nickel bond BH 20 (80% WC + 20% Ni), sintered in a vacuum under external uniaxial pressure]. *Porodorazrushaiushchii i metalloobratyvaiushchii instrument – tekhnika i tekhnologiya ego izgotovleniia i primeneniia – Rock Destruction and Metal-Working Tools – Techniques and Technology of the Tool Production and Applications*, 10, 437–444 [in Ukrainian].
10. Kovalchenko, M.S., Laptev, A.V., Zhidkov, A.B., & Yurchuk, N.A. (1986). Sviaz kolichestvennykh kharakteristik struktury s mekhanicheskimi svoistvami horiachepressovannykh kermetov [Relationship between the quantitative characteristics of the structure and the mechanical properties of hot-pressed cermets]. *Materialy na osnove karbidov – Materials based on carbides*, 174–180.
11. Splavy tverdye spechennyye. Metod opredeleniia koertsitivnoi sily [Hard sintered alloys. Method for determining the coercive force]. (1981). *HOST 24916-81 from 01th January 1982*. Moskow: Hosudarstvennyi komytet SSSR po standartam [in Russian].

12. Splavy tverdye spechennye. Metod opredeleniia plotnosti [Hard sintered alloys. Density determination method]. (1974). *HOST 20018-74 from 01th January 1976*. Moscow: Hosudarstvennyi komitet SSSR po standartam [in Russian].
13. Splavy tverdye spechennye. Metod opredeleniia tverdosti po Rokvellu [Hard sintered alloys. Rockwell hardness method]. (1974). *HOST 20017-74 from 01th January 1976*. Moscow: Hosudarstvennyi komitet SSSR po standartam [in Russian].
14. Yermolenko, N.F., & Efros M.D. (1971). *Regulirovanie poristoi struktury oksidnykh adsorbentov i katalizatorov [Regulation of the porous structure of oxide adsorbents and catalysts]*. Minsk: Navuka i tekhnika [in Russian].
15. Prihotovlenie rastvora sinteticheskogo kauchuka v benzine [Preparation of a solution of synthetic rubber in gasoline]. (1979). *Tekhnologicheskaiia instruktsiia 25000.20063*. Kiev: ISM im. V.N. Bakulia AN USSR [in Russian].
16. Zameshivaniye tverdosplavnykh smesey [Mixing carbide mixtures]. (1980). *Tekhnologicheskaiia instruktsiia 25000.20072*. Kiev: ISM im. V.N. Bakulia AN USSR [in Russian].
17. Dymov, A.M. (1964). *Tekhnicheskii analiz. (Metody opredeleniia sodержaniia elementov.) [Technical analysis. (Methods for determining the content of elements)]*. Moscow: Metallurhiia [in Russian].

УДК 621.762

DOI: 10.33839/2708-731X-24-1-259-265

Н. В. Литошенко, О. О. Матвійчук, І. В. Андреев, кандидати технічних наук

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

ОЦІНКА МІЦНОСТІ ТА ПЛАСТИЧНОСТІ ВИСОКОМОДУЛЬНИХ СКЕЛЕТНИХ КОМПОЗИТІВ, ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ ПРОСОЧУВАННЯ

Завдання наукового дослідження полягає в тому, щоб оцінити рівень міцності за умови випробування на стиск металокерамічного композиту, виготовленого з пористої високомодульної скелетної структури на основі WC методом просочування. А також дослідити залежність границь міцності σ_e , пружності σ_e , граничного значення пластичної деформації ϵ_{pf} , питомих робіт загальної A і пластичної A_p деформації від параметрів мікроструктури композитів даного класу.

Встановлено, що у випадку, коли пористий скелет WC(Co) просочено кобальтом (композит з максимальною міцністю), σ_e і σ_c слабо залежать від розміру зерна WC (в діапазоні від 20 до 80 мкм) і товщини кобальтового покриття δ (від 1,11 мкм до 7,6 мкм). Пластичність же суттєво зростає зі збільшенням d_{WC} і δ . Аналогічно змінюються значення A і A_p . Застосування запропонованого аналітичного методу математичного моделювання допомагає встановити оптимальні структуру, фазовий склад та технологічні параметри при розробці нових матеріалів.

Ключові слова: *високомодульний скелетний композит на основі WC, міцність, пластичність, структурні характеристики, просочування, аналітичний метод.*

Вступ

В Інституті надтвердих матеріалів імені В. Н. Бакуля НАН України (ІНМ) проводилися дослідження, спрямовані на отримання нових металокерамічних композитів на основі ультракрупнозернистих порошків карбиду WC, розміри частинок яких значно вищі за 10 мкм