

В.П. Ботвинко, канд. техн. наук

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

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЧИННИКІВ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ МІКРОГРАНУЛ З ТВЕРДИХ СПЛАВІВ ТИПУ ВК

Досліджено вплив технологічних факторів на структуру, мікротвердість, руйнівне навантаження при стисканні твердосплавних мікрогранул зі сплавів ВК. Визначено оптимальні технологічні режими спікання для виготовлення найміцніших та найтвердіших гранул.

Ключові слова: мікрогранула, міцність, мікротвердість.

В якості вихідної сировини для виготовлення гранул використовували серійні порошкові суміші ВК3, ВК3 ОМ, ВК6, ВК6 ОМ та ВК8 (СТП 00196144-0727-2004) виробництва ВАТ «Кіровоградський завод твердих сплавів», порошки карбіду вольфраму (WC) ТУ 48 – 19 – 265 – 77 та нікелю (Ni) марки ПНЕ – 1, ГОСТ 9722 – 79.

Перед перемішуванням порошків карбіду вольфраму з нікелем для одержання вихідних сумішей твердих сплавів ВН6, ВН8 та ВК6 з мікродобавками інтерметалідів гадолінію Co₅Gd та ітрію Co₅Y, карбідів танталу TaC та ванадію VC, вуглецевих нанотрубок з метою очищення їх від небажаних сторонніх домішок вихідні матеріали просіяли через сито з розміром отвору 0,1 мм.

Середній розмір зерен WC (\bar{d}_{wc}) та Ni (\bar{d}_{Ni}) у вихідних порошкових сумішах визначали методом ртутної порометрії [1]. Довірчу границю випадкової похибки виміру визначали за ДСТ 8.207-76 [1]. Зерновий склад мікродобавок не визначався. Результати визначення зернового складу вихідних порошків наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Зерновий склад вихідних порошків

Марка вихідного порошку	Значення середнього розміру зерна \bar{d}_{wc} , мкм	Значення середнього розміру зерна \bar{d}_{Ni} , мкм	Інтервал розподілення зерен по розмірах, мкм	Кількість зерен в інтервалі розподілення, %	Значення питомої поверхні, м ² /г
WC	1,7±0,1		від 1 до 2	69	2,0±0,1
Ni		2,1±0,1	від 1 до 4	81	1,7±0,1
ВК3	1,5±0,1		від 1 до 2	71	2,2±0,1
ВК3 ОМ	0,5±0,1		від 0,5 до 2	95	3,0±0,1
ВК6	1,3±0,1		від 1 до 2	74	2,3±0,1
ВК6 ОМ	0,6±0,1		від 0,5 до 2	93	3,1±0,1
ВК8	1,2±0,1		від 1 до 2	75	2,4±0,1

Кількість загального вуглецю ($C_{з\text{ар.}}$) у вихідних порошках та сумішах визначали абсорбційно – газооб'ємним методом [1], дані вимірювань наведено в табл. 2.

Таблиця 2. Кількість загального вуглецю у вихідних порошках WC та сумішах твердих сплавів BK3, BK3OM, BK6, BK6OM, BK8, BN6 та BN8

Марка порошку та сплаву	Кількість загального вуглецю ($C_{\text{заг.}}$), мас. %	
	при стехіометричному складі суміші	фактично в порошковій суміші
WC	6,12	6,09–6,11
BK3	5,94	6,0–6,07
BK3 OM	5,94	6,0–6,07
BK6	5,75	5,86–5,89
BK6 OM	5,75	5,86–5,89
BK8	5,63	5,72–5,75
BN6	5,75	5,87–5,89
BN8	5,63	5,73–5,75

Після дозування складових їх мокре перемішування проводилось у кілограмовому барабані, футерованому твердосплавними пластинами BK6 в середовищі етилового спирту C_2H_5OH , протягом 24 годин.

Кулі в барабані займали 45 % його об'єму. Співвідношення ваги куль і суміші в барабані дорівнювало 20:1. Кількість спирту складала 300 мл на 1 кг порошку суміші. Діаметри розмельних твердосплавних куль складала 6–10 мм. В процесі розмелу проходило одночасно подальше перемішування порошків твердосплавної суміші та мікродобавок.

Відповідно до рекомендацій [2] тривалість розмелу – перемішування порошкової суміші склала 80 годин. Для забезпечення режиму перекочування куль у процесі розмелу порошкової суміші при зовнішньому діаметрі сталевого барабана, рівному 220 мм, число обертів барабана складало 56 об./хв.

Після розмелу – перемішування висушені суміші повторно просівали через сито з розміром отвору 0,1 мм.

Просіяні суміші замішували 5 % розчином синтетичного каучуку (каучук синтетичний натрійбутадієновий СКБ–50р, СКБ–60р [93]) у бензині Б–70, [з розрахунку 150 cm^3 розчину на 1 кг суміші. Розчин каучуку приготувляли по технологічній інструкції [2]. Просушені суміші подрібнювали у вібротліні з порцеляновими кулями діаметром 15 мм протягом 3 год і просівали через сито з розміром отвору 0,4 мм відповідно.

Атестацію (визначення оптимальної температури спікання) вихідних сумішей BK3, BK3 OM, BK6, BK6 OM, BK8, BN3, BN6 та BN8 та сумішей з мікродобавками інтерметалідів гадолінію Co_5Gd та ітрію Co_5Y , карбідів танталу TaC та ванадію VC проводили шляхом спікання зразків у вакуумі в камерній вакуумній електропечі опору типу СНВЭ—1.3.1/16—ИЗ—УХЛЧ.1 за різних температур нагріву та витримки 30 хв. Залишковий тиск у камері спікання складав 0,13 Па (10^{-3} мм. рт. ст.). На спечених зразках визначали деякі фізико-механічні властивості. Зразки мали форму пластин (штапики) розмірами 7×7×45 мм. Пресування зразків (штапиків) проводили у сталевих пресформах на гідравлічному пресі. Величина наважки на один зразок була підрахована, виходячи з об'єму спеченого зразка і густини відповідної марки сплаву. Пористість сирової пресовки складала 50 %.

Всі одержані зразки (штапики) були просушені у сушильній шафі за $T \approx 150$ ° С протягом 24 год. З метою забезпечення більшої однорідності сплаву за вмістом вуглецю зразки

були попередньо спечені у контрольованому газовому середовищі прохідних печей в засипці із графітової крупки за температури близько 1050 °С.

Відмітною рисою попереднього спікання у контрольованому газовому середовищі сплавів є те, що шляхом регулювання вуглецевого потенціалу газового середовища в процесі спікання вдавалося довести кількість загального вуглецю в сплаві до стехіометричного складу та зберегти його до закінчення спікання.

Вимірювання температури нагріву при всіх методах спікання у різних печах здійснювали за допомогою вольфрам-ренієвої термопари. Поле можливого відхилення температури спікання знаходилося в межах ± 10 °С.

Усадку зразків визначали шляхом виміру лінійних розмірів по довжині та ширині зразків. Коерцитивну силу H_{cm} (кА/м) зразків вимірювали приладом "Кобальт-1" [1], густину спечених зразків ρ (г/см³) – методом гідростатичного зважування лабораторними вагами ВЛР-200м [2], твердість зразків за Роквеллом (шкала А) HRA шляхом вдавлення алмазного наконечника з внутрішнім кутом $120^\circ \pm 0,5^\circ$ під попереднім навантаженням 98,07 Н і загальним 1471 Н твердоміром моделі ТК-2 [2].

Міцність при згині сплавів R_{bm} (МПа) визначали за методикою випробувань твердих сплавів [1]. Для одержання достовірних значень в одній точці використовували по п'ятнадцять зразків розміром 5×5×35 мм, попередньо відшліфованих до стандартної шорсткості поверхні [1]. Випробування здійснювали відповідно до вимог стандарту [1] на універсальній випробувальній машині $FP-10$ (максимальне навантаження 9,8 кН) за трьохточкового навантаження при відстані між опорами $30 \pm 0,5$ мм. Навантажуючі опори були оснащені вкладками з твердого сплаву ВКЗ, що виключають зминання в місцях контакту опор з випробовуваним зразком при навантаженні. Фіксували руйнівне навантаження, будували діаграму «навантаження P – переміщення по лінії дії сили F ». Швидкість переміщення рухливої траверси становила 2 мм/хв. Межі міцності при згині сплавів обчислювали за формулою

$$R_{bm} = \frac{3 Pl}{2 bh},$$

де P – навантаження руйнування зразка; l – відстань між опорами; b , h – розміри зразка в поперечному розрізі.

Вміст вільного вуглецю у структурі сплавів визначали за [74] по нетравленому шліфу зразка із збільшенням у 100 разів на мікроскопі МІМ-6 шляхом порівняння обраної ділянки зору шліфа з найбільшим вмістом включень вільного вуглецю з мікрофотографіями шкали ІІ.

Визначення пористості робили також на мікроскопі МІМ-6 із збільшенням у 100–200 разів. Оцінку ступеню пористості робили шляхом порівняння обраної ділянки нетравленого шліфа з максимальним числом пор із мікрофотографіями шкали І (ГОСТ 9391—80).

Характер розподілу кобальтової фази визначали шляхом перегляду нетравленого шліфа на мікроскопі МІМ-8 із збільшенням у 1350 разів з імерсійним (кедровим) маслом. Точність підрахунку розподілу – 10 %.

Наявність η_1 -фази визначали на травленому шліфі зразка при перегляді під мікроскопом при збільшенні в 1350 разів.

Величину зерен WC визначали на травленому шліфі сплаву при підрахунку 100 зерен на кожному зразку по точковому методу А.А. Глаголева з точністю до 10 % [1].

Однією із основних складових хімічного складу одержаних твердих сплавів є вміст в складі сплаву вуглецю. Надлишок його призводить до створення в структурі вуглецю, що вільно виділяється, а дефіцит – до створення крихкої складової у вигляді η_1 -фази. Тому в роботі значна увага приділялась забезпеченню оптимальної кількості та рівномірності

розподілу вуглецю як в висхідних сумішах, так і в кінцево спечених твердих сплавах, зокрема шляхом введення вуглецевих нанотрубок.

Для визначення вмісту вуглецю в сплавах, спечених по стандартній методиці, залишки шліфованих штапиків, що залишилися після визначення на них необхідних властивостей, подрібнювали в твердосплавній ступці. Одержану крупку просіювали через сито з розміром отвору 0,1 мм. В просіяному порошок з крупки визначали абсорбційно-газооб'ємним методом [1] кількість загального вуглецю ($C_{\text{заг.}}$).

Обробку одержаних результатів експериментальних досліджень властивостей сплавів провели у відповідності з [1]. Довірча ймовірність в роботі прийнята 0,95.

Для одержання гранул з атестованих сумішей (порошкових сумішей з мікродобавками) деяку кількість суміші замішували у 5 % -ному розчині синтетичного каучуку у бензині, змішвану суміш сушили в противнях в сушильній шафі протягом 2–4 год за температури біля 120 °С, потім протирали через сито з розміром отвору 350 мкм та брикетували шляхом пресування у сталевих прес-формах на гідравлічному пресі. Одержані брикети розмірами біля Ø70 мм та висотою біля 40 мм протирали через сито з розміром отвору 2 мм. Одержані гранули обкатували на вібрості. Використовуючи сита з відповідним розміром отвору, було одержано експериментальні партії гранул фракцій від 50/40 до 1000/900 мкм із наведених вище марок твердих сплавів. Після цього гранули сушили в сушильній шафі протягом 24 год за температури біля 120 °С. Просушені партії фракцій гранул попередньо спікали в середовищі водню та кінцево спікали у вакуумі.

Одержані при спіканні агломерати гранул деагломерували шляхом протирання їх через сито з відповідним розміром отвору, а окремі гранули овалізували шляхом обкатки між

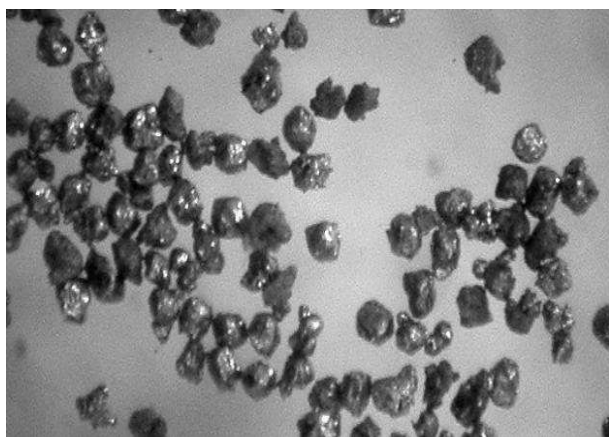


Рис. 1. Спечені гранули ВК6 зернистістю 63/50 мкм

масивними твердосплавними пластинами. Зовнішній вигляд гранул із твердого сплаву ВК6 зернистістю 63/50 мкм після обкатки наведено на рис. 1.

Попередніми дослідженнями по темі було встановлено, що на даний момент найкращі властивості алмазовмісних композитів для бурових коронок забезпечують фракції гранул 250/200 та 200/160 мкм. Для отримання гранул максимальної густини з максимальним вмістом таких фракцій використовували сита з отворами 2000 мкм для диспергування пресовок на гранули та з отворами 315 мкм для сфероїдизації та просіювання потрібної розмірної фракції

гранул, враховуючи коефіцієнт усадки при спіканні 1,25. Вміст каучуку в розчині бензину повинен в обох випадках складати 7 % (мас.), тривалість розмелу суміші – 100 годин, кількість пресувань брикетів – одне. За цією технологією було виготовлено дослідну партію гранул масою 1 кг і встановлено, що вміст фракції 250/200 мкм складає 11 % по масі, а фракції 200/160 мкм – 4 %, що відповідає попереднім лабораторним дослідженням. Вміст більш крупних фракцій складає 71 %, дрібної (160/40 мкм) – 9 %, пиловидної (<40 мкм) фракції – 5 %. Фракції 200/160 та 250/200 мкм передані для виготовлення композитів. Шляхом розмелу крупних фракцій отримувати потрібні кількості середніх фракцій 250/200 та 200/160 мкм не вдалося. Для їх подрібнення необхідно використовувати роздавлювання в твердосплавній пресформі.

Також досліджено можливість отримання потрібних фракцій протиранням замішаної на каучуку та висушеної твердосплавної суміші через сита 315 та 700 мкм. Найбільший вміст потрібних фракцій гранул 250/200 та 200/160 мкм – 45 % отримано на ситі з отворами 315 мкм в порівнянні з 25 % для сита з отворами 700 мкм і 15 % при використанні сита з отворами 2000 мкм. Вміст крупних фракцій складав 25 % та 50 %, а дрібних – 30 % та 25 % відповідно для сит з отворами 315 та 700 мкм.

Таким чином, перспективними для виготовлення гранул з найбільш гладкою поверхнею є диспергування пресовок через сито з отворами 200 мкм з обкатуванням сирих гранул та подрібненням спечених крупних гранул, а для виготовлення гранул з більш шорсткою поверхнею, але з найбільшим вмістом фракцій 250/200 та 200/160 мкм – протирання замішаної на каучуку суміші через сито з отворами 315 мкм.

Досліджували вплив температури спікання і захисного середовища (водень, вакуум). Попередній вибір оптимальних температур спікання сплавів, з яких в подальшому були виготовлені гранули, проводили при спіканні контрольних зразків в середовищі водню та у вакуумі.

При нижчих від оптимальних температурах спікання сплави були крихкими та мали підвищену залишкову пористість, що призводило до суттєвого зниження міцності сплавів. При завищених температурах спікання у структурах сплавів та гранул з'являлися крупні зерна карбиду вольфраму.

Сприятливий вплив вакууму при спіканні сплавів полягає в тому, що при нагріванні у вакуумі проходить відновлення окислів зв'язки сплавів тільки за рахунок наявності вільного вуглецю, що знаходиться в зразку. В результаті цього вміст вуглецю в сплавах значно зменшується, однак майже без утворення зональної неоднорідності. Ступінь зневуглецювання сплавів в процесі спікання в вакуумі вища, в порівнянні з спіканням в інертному середовищі та в середовищі водню при атмосферному тиску. Тому для збереження необхідної кількості вуглецю в спечених сплавах у вихідну суміш вводиться надлишок вільного вуглецю рівний 0,2–0,3 % по масі. В нашому випадку надлишок вводився через газову метано-водневу атмосферу при попередньому спіканні та у вигляді вуглецевих нанотрубок.

Виконано спікання дрібних партій гранул в лабораторній вакуумній печі при температурах 1250°C, 1300°C, 1350°C, 1400°C, 1450°C та в прохідній печі в водневому середовищі при температурі 1450°C.

Структурні характеристики гранул визначали аналогічно штапикам, тобто по шліфу. Для приготування шліфів спечені гранули на сталевій пластині заливалися суперклеєм 505, що забезпечував міцне закріплення гранул при приготуванні шліфа.

Мікротвердість $HV_{0,2}$ гранул встановлювали на приладі ПМТЗ при навантаженні 2Н. Менше навантаження не дозволяло точно виміряти мікротвердість через малий розмір відбитка, а при більшому навантаженні деяка частина гранул руйнувалася при індентуванні. Руйнівне навантаження визначали з допомогою прилада DDA. Одиничні гранули поміщалися на касету з сапфіровими вкладишами, яка встановлювалася на поворотний столик приладу. Прилад DDA автоматично вимірює руйнівне навантаження для кожної окремої гранули. Густина, твердість та коерцитивну силу визначали аналогічно штапикам.

У всіх одержаних гранулах відсутні крупні пори, вільний вуглець та η_1 -фаза, пористість.

Встановлено можливість використання вказаних температурних режимів та спікального обладнання для виготовлення твердосплавних гранул різної дисперсності з твердих сплавів ВКЗ, ВКЗОМ, ВК6, ВК6ОМ, досліджено мікроструктурні параметри отриманих гранул (табл. 3) та визначено мікротвердість (рис. 2).

Таблиця 3. Мікроструктурні параметри гранул зі сплавів ВК3, ВК3ОМ, ВК6, ВК6ОМ, спечених при різних температурах у вакуумі і у водні*

№	Марка сплаву-температура спікання, середовище	Проша-рок коба-льту, мкм	Відсотковий вміст зерен WC по класам зернистості						
			0,5 мкм	1 мкм	2 мкм	3 мкм	4-5 мкм	6-7 мкм	8-10 мкм
1	ВК3-1250°C	0,1-0,3	20	50	21	9		-	-
2	ВК3ОМ-1250°C	0,1-0,2	19	17	19	16	5	3	1
3	ВК3ОМ-1300°C	0,1-0,2	40	50	8	1	1	-	
4	ВК3ОМ-1350°C	0,1-0,2	35	56	7	2	-	-	
5	ВК3-1400°C	0,1-0,3	34	56	10	1	-	-	
6	ВК3ОМ-1400°C	0,1-0,3	43	15	12	-	-	-	
7	ВК3-1450°C	0,1-0,5	32	42	17	9	-	-	
8	ВК3ОМ-1450°C	0,1-0,5	27	68	8	2	-		
9*	ВК3*-1450°C	0,1-0,3	10	44	20	16	9	1	-
10*	ВК3ОМ*-1450°C	0,1-0,2	9	48	24	12	6	1	-
11	ВК6-1400°C	0,1-0,3	38	51	10	1	-	-	
12	ВК6ОМ-1400°C	0,3-1,0	39	49	6	6	-	-	
15	ВК6-1450°C	0,2-0,5	8	54	25	9	4	-	
16	ВК6ОМ-1450°C	0,1-0,3	13	60	14	10	3	2	-
17*	ВК6*-1450°C	0,2-0,5	49	19	20	9	3	-	
18*	ВК6ОМ*-1450°C	0,1-0,2	56	18	12	11	3	-	-
19	ВК8-1400 °C**	0,1	39	38	17	4	1	1	-

*-спікання в прохідній печі у водні, **-додавання у суміш вуглецевих нанотрубок.

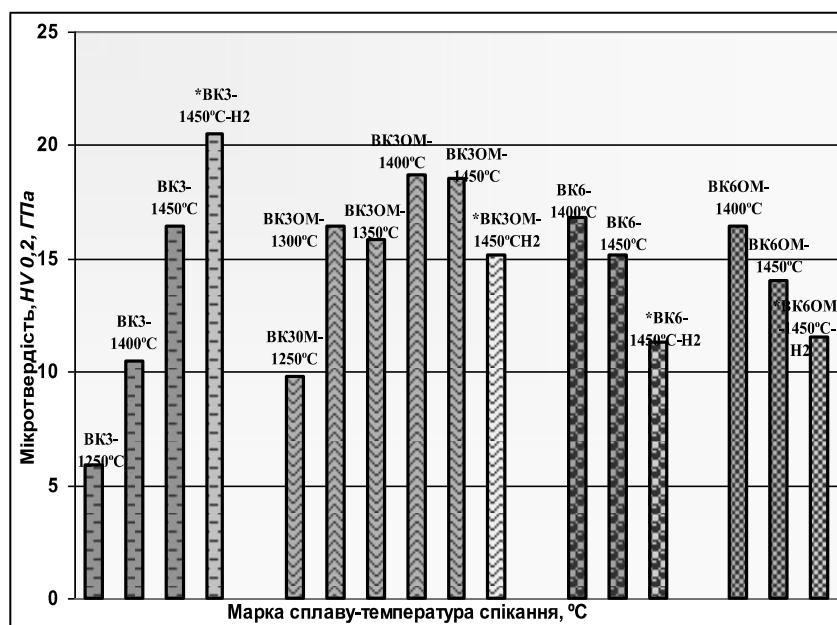


Рис. 2. Залежність мікротвердості гранул зі сплавів ВК3, ВК3ОМ, ВК6, ВК6ОМ від температури спікання та середовища спікання (вакуум, *- водень – H₂).

З рис. 2 видно, що підвищення температури спікання для сплавів ВК3, ВК3ОМ, як правило, призводить до збільшення мікротвердості за рахунок отримання більш щільної структури сплаву. При спіканні у вакуумі найбільші значення мікротвердості для сплавів ВК3 досягаються при температурі 1450 °С, а для сплавів ВК3ОМ, ВК3, ВК6ОМ – при температурі 1400 °С. Подальше підвищення температури призводить до появи в структурі цих сплавів великих зерен (5 – 8 мкм) і збільшення товщини кобальтових прошарків від 0,1–0,2 до 0,3–0,5–1,0 мкм. При спіканні у водні для сплаву ВК3 максимальне значення мікротвердості досягається також при 1450°С. З рис. 3 і 4 видно, що підвищення температури спікання для сплавів ВК3, ВК3ОМ, як правило, призводить до зростання мікротвердості за рахунок отримання більш щільної структури сплаву (табл. 3). При цьому мікротвердість гранул із сплавів ВК6, ВК6ОМ менше, ніж у гранул зі сплавів ВК3, ВК3ОМ.

Спікання гранул в прохідній печі у водні тільки в єдиному випадку для гранул із сплаву ВК3 дозволило отримати більш високу мікротвердість в порівнянні зі спіканням у вакуумі (рис. 2, 3). Для всіх сплавів, крім сплаву ВК3, після водневого спікання тривалістю 7200 с в прохідних печах мікротвердість менше в порівнянні зі сплавами після вакуумного спікання тривалістю 240–300 с внаслідок отримання в першому випадку більш грубозернистої структури з товстими кобальтовими прошарками (до 0,5–1,0 мкм) (рис. 3).

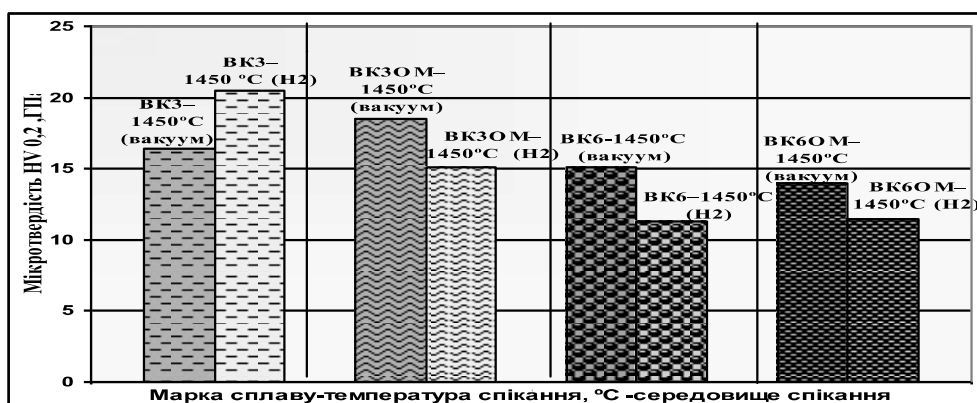


Рис. 3. Вплив середовища спікання на мікротвердість спечених гранул (250/200мкм) зі сплавів ВК3, ВК3ОМ, ВК6, ВК6ОМ

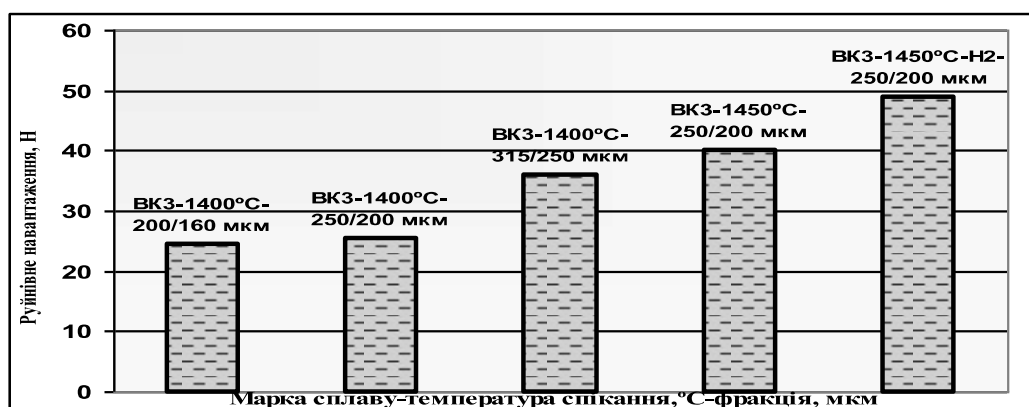


Рис. 4. Залежність руйнівного навантаження гранул зі сплавів ВК3 від розміру гранул

Досліджено структуру, мікротвердість, руйнівне навантаження при стиску гранул зі сплавів ВК6 з мікродобавками (табл. 4, табл. 5).

Таблиця 4. Мікроструктурні параметри гранул з легованого та нелегованих твердих сплавів ВК6, спечених у вакуумі при температурі 1400 °С та витримці 240–300 с

Марка сплаву	Товщина кобальтового прошарку, мкм	Вміст вуглецю, % (об.)	Процентний вміст зерен WC по класах зернистості, мкм							
			0,5	1	2	3	4-5	6--7	8--10	11--20
ВК6–0,01 % VC*	0,2–0,5	–	22	34	23	16	5	–	–	–
ВК6–0,02 % VC*	0,2–0,5	–	16	50	24	8	2	–	–	–
ВК6–0,01 % TaC*	0,2–0,5	–	12	43	21	15	9	–	–	–
ВК6–0,02 % (TaC+VC)*	0,2–0,5	–	10	50	22	13	5	–	–	–
ВК6–0,01 % Co ₅ Gd*	0,2–0,5	–	11	53	18	14	4	–	–	–
ВК6–0,01 % Co ₅ Y*	0,2–0,5	–	–	52	21	15	10	1	1	–
ВК6 *	0,2–0,5	сліди	29	29	19	10	5	3	1	4

* – сплави з додаванням вуглецевих нанотрубок перед розмелом.

Таблиця 5. Мікроструктурні параметри контрольних зразків з легованих та висхідного сплавів ВК6, спечених у вакуумі при температурі 1400 °С та витримці 240–300 с

Марка сплаву	Вміст пор до 50 мкм у об. %	Вміст вуглецю, % (об.)	Процентний вміст зерен WC по класах зернистості, мкм						
			0,5	1	2	3	4-5	6-7	8-10
ВК6–0,01 % VC,	В-5, 04	сліди	–	45	24	16	12	2	1
ВК6–0,02 % VC,	Д-3, 04	–	21	41	15	14	9	–	–
ВК6–0,01 % TaC	Д-3, 04	сліди	–	45	22	16	14	3	–
ВК6–0,02 % (TaC+VC)	В-6 0,8	0,2	–	46	24	19	10	1	–
ВК6–0,01 % Co ₅ Gd	Д-4 0,8	сліди	–	36	20	20	17	7	–
ВК6–0,01 % Co ₅ Y	Д-3 0,4	0,1	–	34	20	20	21	4	1
ВК6	Д-3 0,4	сліди	18	41	19	17	5	–	–

Пори, вільний вуглець і η₁-фаза відсутні, лише 5 % гранул містять дрібні пори на рівні 0,02–0,2 об. %. Вміст зерен WC розміром 0,5 – 1 мкм становить 52–62 %. Сплави, леговані VC, TaC більш дрібнозернисті. Гранули із сплавів ВК6, легованих 0,02% VC, (0,01 % TaC + 0,01 % VC), мають руйнівне навантаження при стиску на рівні нелегованого сплаву ВК6. Гранули із сплавів ВК6, легованих 0,01 % VC, TaC і Co₅Gd, мають на 20–25 % більше руйнівне навантаження при стиску, ніж нелегований сплав ВК6.

Враховуючі дані табл. 4 і 5, на нашу думку, в якості наповнювача для породоруйнівного інструменту потрібно використовувати в першу чергу такі склади як ВК6-0,01% VC, ВК6-0,01% Co₅Gd, ВК6-0,01% TaC.

Використання мікродобавок (інтерметаллідів гадолінію Co₅Gd та ітрію Co₅Y, карбідів танталу Ta та ванадію V) до складу сплавів у всіх випадках призводило до підвищення мікротвердості сплавів від 12 % до 90 % (табл. 6). Мікродобавки Co₅Y незначно на 10% зменшують руйнівне навантаження при стиску внаслідок більш крупнозернистої структури та появи в структурі крупних зерен (табл. 5).

Спикання гранул проводили сумісно із зразками-свідками (контрольними зразками). Результати досліджень структурних параметрів та мікротвердості гранул (після проведення ситового аналізу) та контрольних зразків, наприклад, з легованого та нелегованого твердого сплаву ВК6, спеченого у вакуумі за температурою 1400 °С та витримкою 240–300 с, наведені в табл. 4, 5.

Фізико-механічні властивості гранул та контрольних зразків із легованих та нелегованого твердого сплаву ВК6, спеченого у вакуумі при температурі 1400 °С та витримці 240–300 с, наведені в табл. 6.

Таблиця 6. Фізико-механічні властивості гранул та контрольних зразків

Марка сплаву	ВК6-0,01 % VC	ВК6-0,02 % VC	ВК6-0,01 % TaC	ВК6-0,02 % (TaC+VC)	ВК6-0,01 % Co ₅ Gd	ВК6-0,01 % Co ₅ Y	ВК6
Руйнівне навантаження гранул <i>P</i> , Н	50,9	43	50,5	44,7	57	31,7	42,6
Мікротвердість гранул <i>HV</i> _{0,2} , ГПа	28,9	19,8	22	23,1	19,1	17,1	15,2
Твердість циліндра <i>HRA</i>	89,8	92,1	89,5	90,2	88,1	89,4	91,1
Густина циліндра ρ , г/см ³	14,64	15,04	14,72	14,5	14,56	14,88	14,9
Коерцитивна сила циліндра <i>H</i> _{см} , кА/м	10,4	14,8	12,3	13,4	9,0	11,6	18,4

Встановлено, що найбільшу мікротвердість мають гранули з середнім розміром зерна WC приблизно 1,5 мкм та вмістом фракції дрібних зерен WC розміром до 0,5 – 1 мкм приблизно 50 % – 60 %, фракційним інтервалом зерен WC 0,5 – 5 мкм (табл. 5, 6).

Легування сплавів карбідами VC, TaC та інтерметалідом Co₅Gd підвищує руйнівне навантаження при стиску та мікротвердість (табл. 4, рис. 1–3).

Висновок

Визначено, що для твердосплавних гранул (зносостійких наповнювачів для бурового інструменту) зі сплавів ВК6, ВК8 найзначніші мікротвердість та руйнівне навантаження при стисканні мають гранули зі сплаву ВК6.

V. Botvinko

V.M. Bakul Institute for superhard materials of NAS of Ukraine

**INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL FACTORS ON THE STRUCTURE
AND PROPERTIES OF MICROGRANULES FROM HARD ALLOYS OF VK TYPE**

The effect of technological factors on structure, microhardness, bracing load in compression of microgranules of VK hard alloys was studied. Optimal technological conditions of sintering to obtain granules of the highest strength and hardness were determined.

Key words: *microgranules, strength, microhardness.*

Література

1. Третьяков В.И. Основы металловедения и технологии производства спеченых твердых сплавов. М.: Металлургиздат, 1976. 528 с.
2. Бондаренко В.П., Ботвинко В.П., Шмегера Р.С. и др. Влияние технологических факторов на структуру и свойства гранул из твердых сплавов ВК3, ВК3ОМ, ВК6, ВК6ОМ. *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения*. Сб. науч. тр. Вып. 14. Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2011. С. 476–478.

Надійшла 15.05.23

References

1. Tretiakov, V.I. (1976). *Osnovy metallovedeniia i tekhnologii proizvodstva spechenykh tverdyykh splavov* [Fundamentals of metallurgy and technology of sintered hard alloys production]. Metallurhizdat [in Russian].
2. Bondarenko, V.P., Botvinko, V.P., Shmehera, R.S., et al. *Vliianye tekhnolohicheskikh faktorov na strukturu i svoistva hranul iz tverdyykh splavov VK3, VK3OM, VK6, VK6OM* [Influence of technological factors on structure and properties of pellets from hard alloys VK3, VK3OM, VK6, VK6OM]. *Porodorazrushaiushchii i metalloobrabatyvaiushchii instrument – tekhnika i tekhnologiya ego izgotovleniia i primeneniia* – Rock Destruction and Metal-Working Tools – Techniques and Technology of the Tool Production and Applications (14nd Issue, p. 476–478). ISM im. V.N. Bakulia, NAN Ukrainy [in Russian].