

- Co, produced by pressing in the solid and liquid phases], *Powder Metallurgy*, 9/10, 3–13[in Russian].
4. Loshak, M. G. & Aleksandrova, L. I.(1977). *Uprochnenie tverdykh splavov [Strengthening of hard alloys]*. Kiev: Naukova Dumka [in Russian].
 5. Loshak, M. G.(1984). *Prochnost' and dolgovechnost' tverdykh splavov [Strength and durability of hard alloys]*. Kiev: Naukova Dumka [in Russian].
 6. Hnatenko I. O. (2017). Udoskonalennia metodu otsiniuvannia stanu karbidnogo skeleta volframovykh tverdykh splaviv i vyznachennia vplyvu tekhnologichnykh factoriv na niogo [Improving the state evaluation method of tungsten carbide hard metal skeleton and determine the impact of technological factors on it]. *Extended abstract of candidates thesis*. Kyiv [in Ukrainian].

УДК 669.017.16

В. П. Бондаренко, член-кор. НАН України, **М. О. Юрчук**, канд. техн. наук

*Институт надтвердых материалов им. В.М.Бакуля НАН Украины,
вул. Автозаводська 2, 04074 м. Київ, e-mail: tverdospлав@ism.kiev.ua*

ВПЛИВ ЗОВНІШНЬОГО ОДНООСЬОВОГО СТИСКУ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ ПОПЕРЕДНЬО СПЕЧЕНОГО ТВЕРДОГО СПЛАВУ ВН20 (80% WC + 20% Ni) ПРИ КІНЦЕВОМУ СПІКАННІ У ВАКУУМІ

Наведено результати дослідження впливу зовнішнього одноосьового статичного стиску рівного 0,7 МПа на зміну структури та властивості при спіканні у вакуумі попередньо спеченого карбидовольфрамowego твердого сплаву з нікелевою зв'язкою (80% WC + 20% Ni) ВН20 при температурі 1460 °С.

Ключові слова: *твердий сплав, стиск, структура, властивості, спікання, температура.*

В роботі наведені результати дій зовнішнього одноосьового статичного стиску до 0,7 МПа різної тривалості на зміну структури та властивості при спіканні у вакуумі попередньо спеченого при різних режимах карбидовольфрамowego твердого сплаву з нікелевою зв'язкою (80% WC + 20% Ni) ВН20 при температурі 1460 °С. Відмінність наведеного методу одержання сплаву від методу гарячого пресування, що широко використовується, полягає в тому, що твердосплавну заготовку спікають під тиском у не в графітовій формі, яка надає заготовці відповідні форму та розміри, крім того вона призводить до надлишкового науглецювання заготовки. Також використання графітової форми погіршує умови праці, підвищує собівартість виробів.

Результати аналогічних більш прогресивних експериментів спікання твердих сплавів наведено в [1, 2]. Також можна відзначити, що відмінним приведеного методу одержання сплаву є прикладання стиску тільки до торця заготовки. За такої схеми спікання заготовка не обмежується з боків і може вільно розтікатись в різні боки.

Мета дослідження – дослідити вплив різної величини одноосьового стиску на структуру та властивості попередньо спеченого карбидовольфрамowego твердого сплаву з нікелевою зв'язкою (80% WC + 20% Ni) ВН20, при спіканні у вакуумі при температурі 1460 °С.

Марки вихідних порошкових сумішей, особливості та тривалість підготовки їх з метою одержання зразків для дослідів та їх розміри, значення середнього розміру зерна карбиду вольфраму, особливості визначення кількості загального вуглецю, особливості випалювання каучуку та нормалізуючи, попереднє та кінцеве спікання, особливості навантаження зразків, зовнішній вигляд зразків (циліндрів), попередньо спечених у відповідних режимах у метановодневому середовищі та вакуумі і вільно кінцевоспечених у середовищі вакууму наведено в [2].

Особливості спікання сплавів під дією зовнішнього одноосьове напруження стиску наведено в табл. 1. Для порівняння наведені дані змін структури та властивостей сплаву при температурі 1400 °С.

Таблиця 1. Технологічні режими попередньої термообробки (спікання) кінцевого спікання в вакуумі твердого сплаву під дією зовнішнього напруження стиску

Напруження стискання при кінцевому спіканні, МПа	Температура випалювання каучуку у метановодневому середовищі, °С	Температура нормалізуючого спікання у метановодневому середовищі, °С	Температура попереднього спікання у метановодневому середовищі, °С	Температура повторного попереднього спікання у вакуумі, °С	Температура кінцевого спікання у вакуумі, °С
Від 0 до 0,7	1060	1150	1250	1350	1400
Від 0 до 0,7	1060	1150	1250	1350	1460

В табл. 2 наведені результати визначення коефіцієнтів усадки сплаву після різних варіантів попереднього спікання у водні та вакуумі при температурах від 1060 до 1460 °С.

Таблиця 2. Вплив режимів попереднього спікання у водні та вакуумі твердого сплаву ВН20 на коефіцієнти усадки: а) попереднє спікання у водні при температурах від 1060 до 1250 °С

Режими попереднього спікання			Коефіцієнт усадки	
Температура випалювання у водні каучуку (°С) при витримці 60 хв	Температура нормалізуючого спікання у водні (°С) при витримці 180 хв	Температура спікання у водні (°С) при витримці 60 хв	$K_{ус} = \frac{D_{\text{брикета}}}{D_{\text{спеченого зразка}}}$ по	
			діаметру	висоті
1060	–	–	1,08	1,05
	1150	1250	1,15	1,15

б) попередні спікання у водні та вакуумі при температурах від 1060 до 1350 °С і кінцеве спікання у вакуумі при температурі 1400 °С

Режими попереднього спікання					Коефіцієнт усадки	
Температура випалювання у водні каучуку (°С) при витримці 60 хв	Температура нормалізуючого спікання (°С) при витримці 180 хв	Температура першого попереднього спікання (°С) при витримці 60 хв	Температура другого попереднього спікання у вакуумі (°С) при витримці 30 хв	Температура кінцевого спікання у вакуумі (°С) при витримці 30 хв	$K_{ус} = D_{\text{брикета}} / D_{\text{спеченого зразка}}$ по	
					діаметру	висоті
1060	–	–	–	1400	1,22	1,20
	1150	1250	1350		1,25	1,25

в) спікання у водні та вакуумі при різних варіантах попереднього спікання і температурі кінцевого спікання у вакуумі при 1460 °С

Режими попереднього спікання					Коефіцієнт усадки	
Температура випалювання у водні каучуку (°С) при витримці 60 хв	Температура нормалізуючого спікання у водні (°С) при витримці 180 хв	Температура першого попереднього спікання у водні (°С) при витримці 60 хв	Температура другого попереднього спікання у вакуумі (°С) при витримці 30 хв	Температура кінцевого спікання у вакуумі (°С) при витримці 30 хв	$K_{ус} = D_{\text{брикета}} / D_{\text{спеченого зразка}}$ по	
					діаметру	висоті
1060	–	–	–	1460	1,25	1,23
	1150	1250	1350		1,25	1,25

Графіки залежності усадки по висоті та діаметру циліндричних зразків, попередньо спечених по різних режимах та кінцево спечених під дією одноосьового стиску у вакуумі при температурах 1400 та 1460 °С, наведено на рис. 1 та 2.

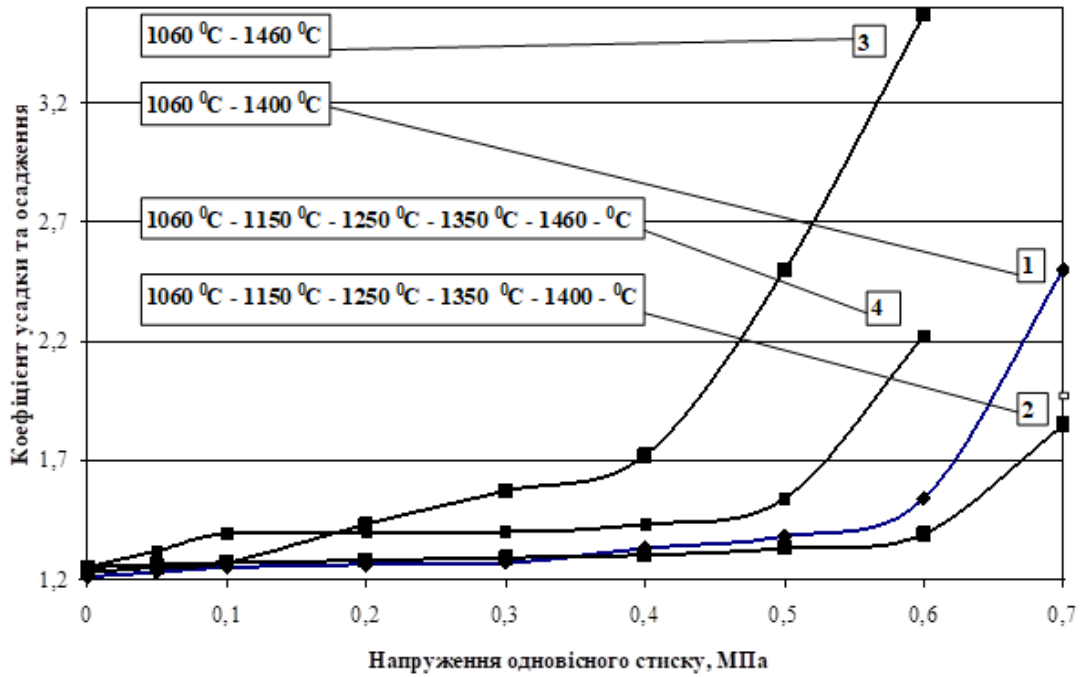


Рис. 1. Графік усадки по висоті циліндрів (зразків) твердого сплаву ВН20 попередньо спечених по різних режимах та кінцево спечених у водні та вакуумі при температурах 1400 та 1460 °C

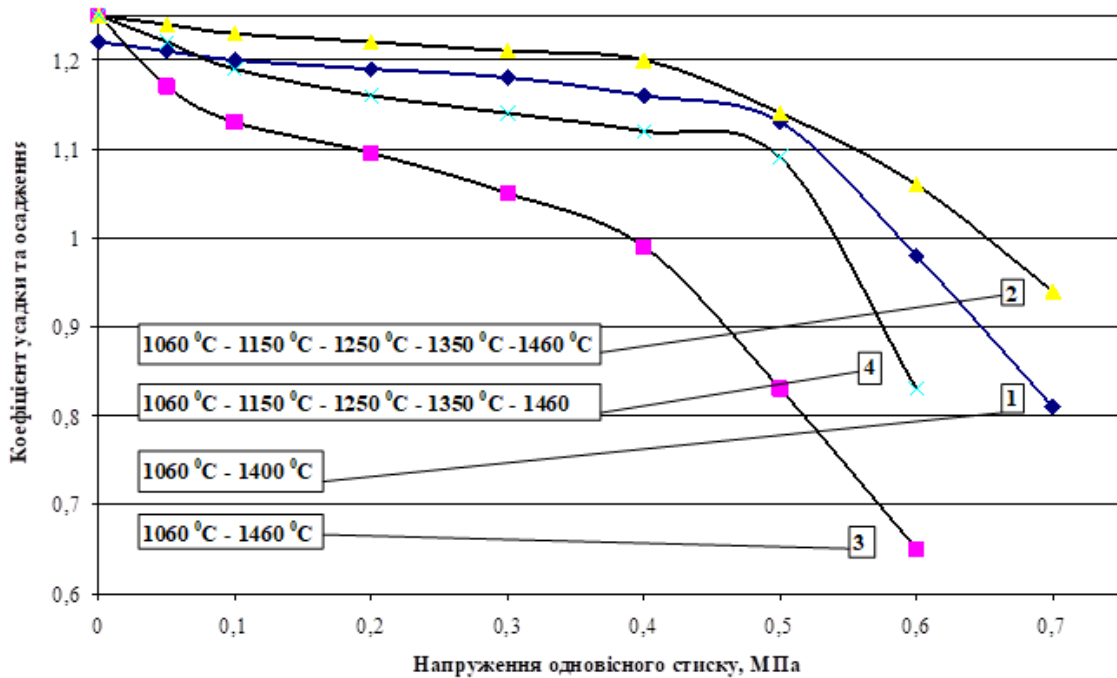


Рис. 2. Графік усадки по діаметру циліндрів (зразків) твердого сплаву ВН20 попередньо термооброблених по різних режимах та кінцево спечених у водні та вакуумі при температурах 1400 та 1460 °C

При температурі спікання 1400 °С (крива 1) форма «бочка» на зразках (різниця між діаметрами зразка на торцях і посередині висоти не менше 0,5 мм) утворилася при стиску 0,7 МПа (7,0 кг/см², навантаження 4,8 кг), а при температурі спікання 1460 °С (крива 3) форма «бочка» на зразках утворилася при тиску 0,6 МПа (6,0 кг/см², навантаження 4,08 кг). Зразки по вказаних режимах попередньо спікалися по спрощеному варіанту 1. Цей варіант проводився при температурі 1060 °С тривалістю 30 хв в графітовій крупці в водневому середовищі, при цьому спіканні проходила відгонка каучуку із зразка.

З рис. 1 (криві 1, 3) видно, що із зниженням температури кінцевого спікання зменшуються значення коефіцієнтів усадки. При температурі кінцевого спікання 1460 °С значення коефіцієнта усадки по висоті склало 3,57, а при 1400 °С – 2,5. Ускладнений (варіант 2) режим попереднього спікання складався з наступних етапів. Етап 1: попереднє спікання проводилось при 1060 °С тривалістю 30 хв. в графітовій крупці в водневому середовищі, при цьому спіканні проходила відгонка каучуку із зразка. Етап 2: попереднього спікання проводилось також в середовищі водню при 1150 °С загальною тривалістю 3 год. При цій температурі було проведено 3-х разове спікання. Тривалість кожного спікання становила 1 годину. При цьому спіканні проходило насичення сплаву вуглецем до його стехіометричного складу, спостерігалась зміна начального стану структури сплаву в бік її покращення. Критерієм закінчення цього етапу спікання була зупинка збільшення ваги зразка. Етап 3 проходив також в середовищі водню при 1250 °С тривалістю 2 год. При такому твердофазному спіканні більш повно видалялися гази з об'єму заготовки сплаву до захоплення пор та фіксувався менший розмір наявних пор. Етап 4 повторного попереднього спікання проводилось при температурі 1350 °С у вакуумі тривалістю 1 год. На цьому етапі сплав досягав компактного стану. В цілому варіант 2 попереднього спікання сплаву забезпечив дещо менші значення коефіцієнтів усадки по висоті зразка. Так, при температурі кінцевого спікання 1460 °С значення коефіцієнта усадки по висоті зразка склало 2,22, а при 1400 °С – тільки 1,85.

Важливо відмітити, що у спечених зразках досліджуваного сплаву при вказаних температурах та навантаженнях, при яких утворювалась форми «бочка», на бокових поверхнях зразків не спостерігалось виділення зв'язки. На рис. 2 приведено чотири кривих, з яких видно особливості зміни діаметра зразків (циліндрів) (зміни коефіцієнтів усадки) в залежності від температури спікання та величини стиску. Криві 1, 3 показують особливість зміни коефіцієнтів усадки, в яких перед кінцевим спіканням у вакуумі при температурах 1400 (крива 1) та 1460 °С (3) було відігнано каучук при температурі 1060 °С. Із зниженням температури кінцевого спікання зменшуються значення коефіцієнтів усадки. При температурі кінцевого спікання 1460 °С коефіцієнт усадки по діаметру склав 0,65, а при 1400 °С він збільшився до 0,81. Ускладнений режим спікання (варіант 2) в цілому забезпечив дещо більші значення коефіцієнта усадки по діаметру зразка. Так, при температурі кінцевого спікання 1460 °С значення коефіцієнта усадки по діаметру склало 0,81, а при 1400 °С – 0,94.

Слід відмітити, що на шліфах, одержаних на горизонтальній площині перерізу симетрії зразків, які мали набуту форму «бочка», були відсутні тріщини чи пустоти.

Зведені значення коефіцієнтів усадки по висоті та діаметру зразків при яких спостерігається на зразках сплаву утворення поверхонь, наближених до форми «бочка» в залежності від тривалості спікання, табл. 3.

Таблиця 3. Значення коефіцієнтів усадки по висоті та діаметру зразків при характерних температурах спікання та напруженнях стиску, при яких спостерігається на зразках сплаву ВН20 утворення поверхонь, наближених до форми «бочка» в залежності від тривалості спікання

Температура кінцевого спікання у вакуумі, °С	Варіант попереднього спікання зразка, °С	Напруження стиску, МПа	Коефіцієнт усадки зразка		Тривалість спікання в хв. при якій спостерігається утворення форми «бочка»
			по висоті	по діаметру	
1400	1	0,7	2,5	0,81	15
	2		1,85	0,94	30
1460	1	0,6	3,57	0,65	5
	2		2,22	0,83	

Утворення форми «бочка» у сплаві при температурі 1460 °С під дією навантаження 0,6 МПа на зразках спостерігалася починаючи з 5 хв. При температурі 1400 °С під дією навантаження від 0,7 МПа утворення форми «бочка» на зразках спостерігалася протягом 15 та 30 хв. Причина такої тривалості утворення бочки не встановлена.

Значення густини сплаву попередньо спеченого по різних режимах перед кінцевим спіканням наведено на рис. 3.

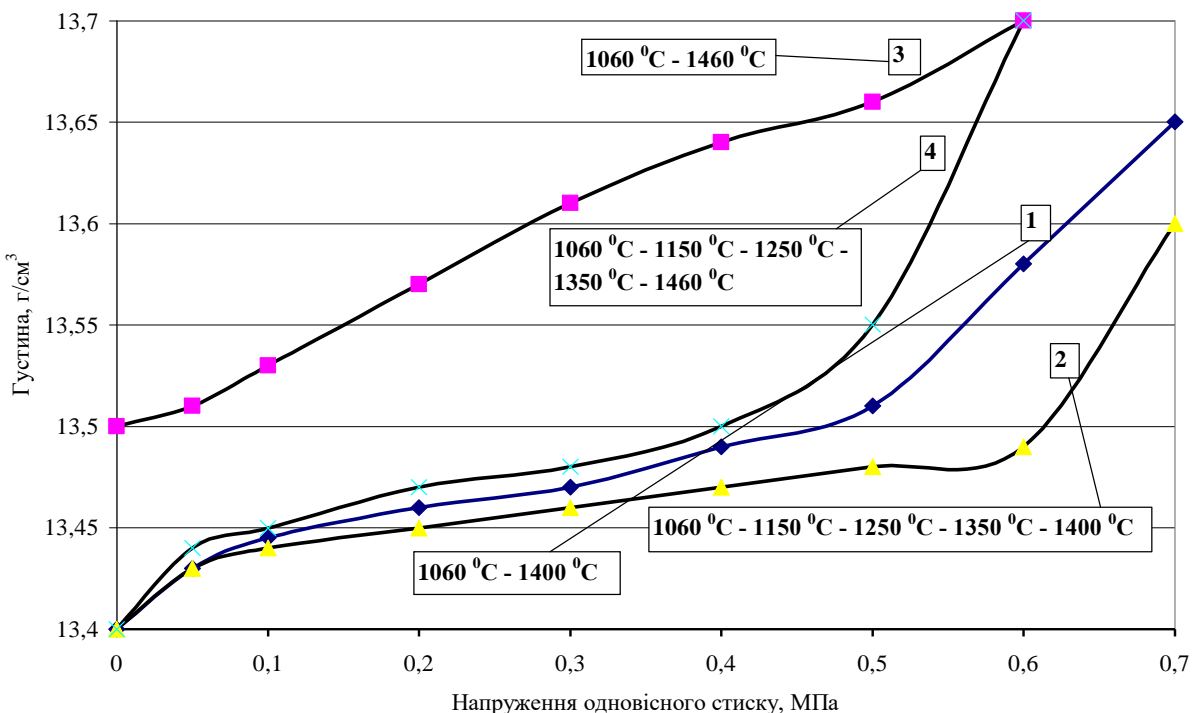


Рис. 3. Графік зміни значення густини твердого сплаву ВН20, попередньо термообробленого по різних режимах та кінцево спеченого у вакуумі при температурах 1400 та 1460 °С, від одноосьового стиску при кінцевому спіканні

Аналізуючи хід зміни значення густини сплаву, рис. 3, слід відзначити, що майже на всіх кривих спостерігається зона непропорціональної зміни густини від зміни величини напруження одноосісного стиску від 0 до 0,7 МПа.

На кривих 1, 2 та 4 спостерігалось зниження інтенсивності зростання значення густини від підвищення напруження одноосівого стиску. При напруженні одноосівого стиску від 0,1 до 0,6 МПа та при вище наведених температурах кінцевого спікання у сплаву не спостерігалось структурних змін. В той же час, зростання значення густини сплаву від підвищення напруження одноосівого стиску проходило з зміною структури сплаву внаслідок руйнування конгломератів із зерен карбиду вольфраму та карбідного скелету в цілому: крива 1 (1060–1400 °С), 3 (1060–1460 °С), 2 (1060–1150–1250–1350–1460 °С) та 4 (1060–1150–1250–1350–1400 °С). Крім того з поведінки кривих 1 (1060–1400 °С), 2 (1060–1150–1250–1350–1460 °С) та 4 (1060–1150–1250–1350 – 1400 °С) при температурах 1400 та 1460 °С кінцевого спікання у вакуумі сплаву, попередньо спеченого по різних режимах та при напруженнях одноосівого стиску від 0,1 до 0,4 МПа, спостерігалось майже однаковий непропорційний характер зміни густини від зміни величини напруження одноосісного стиску.

Значення густини сплаву, попередньо спеченого по різних режимах та кінцево спеченого у вакуумі під дією одноосієвих тисків, які забезпечили утворення форми «бочка» на зразках наведено в табл. 4.

Таблица 4. Значення густини сплаву ВН20, попередньо спеченого по різних режимах та кінцево спеченого у вакуумі під дією одноосієвих тисків, які забезпечили утворення форми «бочка» на зразках

Температура кінцевого спікання у вакуумі, °С	Напруження стиску, МПа	Варіант попереднього спікання сплаву	Значення густини сплавів згідно з ГОСТ 3882–81 та ТУ У 28.4-30153645.001–2001, г/см ³	Значення густини досліджуваного сплаву, г/см ³
1400	0,7	1	13,4 – 13,7	13,65
	0,7	2	13,4 – 13,7	13,7
1460	0,6	1	13,4 – 13,7	13,7
	0,6	2	13,4 – 13,7	13,6

Встановлено, що підвищення густини сплаву в основному обумовлено зниженням мікропористості з 0,2 до 0%.

Висновки

Встановлені наступні особливості усадки - осадження зразків сплаву:

1. Найменша температура кінцевого спікання при якій утворюється «бочка» становить 1400 °С незалежно від температури попереднього спікання.
2. Підвищення температури кінцевого спікання на 60 °С (з 1400 до 1460 °С) при обох варіантах попереднього спікання привело до зменшення величини одноосісного стиску, при якому утворюється форма «бочка», на 0,1 МПа (з 0,7 до 0,6 МПа).
3. Ускладнення режиму попереднього спікання в цілому привело до зростання значення коефіцієнтів усадки – осадження по висоті і зниження по діаметру зразка сплаву при температурах кінцевого спікання (1400 та 1460 °С).

4. Вважається, що при утворенні форми «бочка» на зразках проходить максимальне переміщення маси сплаву під дією навантаження, при цьому проходить максимальне роздрібнення конгломератів зерен в сплаві, які утворюються в процесі перекристалізації в рідкій зв'язці. Утворення конгломератів зерен в сплаві проходить також і по другій причині - зерна, які знаходяться на центральній осі зразка, натикаються одне на одне під час спікання під дією зовнішнього напруження стиску, що активує процес коалесценції зерен карбиду вольфраму. Зерна, що знаходяться на периферії зразка, при осадженні мають можливість вільно переміщатися одне відносно одного разом зі зв'язкою до бокових сторін зразка, що в основному забезпечує зберігання своїх початкових розмірів. Серед цих зерен утворюються нові конгломерати зерен, але в процесі переміщення маси сплаву вони руйнуються, що забезпечує суттєве збереження вихідної зернистості сплаву. Це дає можливість створювати сплав з прогнозованою структурою, а значить і властивостями. Таке розмаїття процесів, що проходять в сплавах при утворенні форми «бочка» спонукало досліджування таких і близько до таких умов одержання сплаву.

5. З наведених даних видно, що пороговий термін 5 хв. утворення форми «бочка» при спіканні при температурі (1460 °C) по обох варіантах сплаву проходить при величині зусилля 0,6 МПа. Пороговий термін 15 хв. утворення форми «бочка» при кінцевому спіканні проходить при нижчій температурі 1400 °C, по першому варіанті, і при нижчій величині зусилля 0,7 МПа. При цій же температурі і величині зусилля, але при спіканні по другому варіанті пороговий термін утворення форми «бочка» здійснюється вже протягом 30 хв.

Приведены результаты исследования влияния внешнего одноосевого статического давления равного 0,7 МПа на изменение структуры и свойств при спекании у вакууме предварительно спеченого карбидовольфрамового твердого сплава на никелевой связке (80% WC + 20% Ni) BN20 при температуре 1460 °C

Ключевые слова: твердый сплав, давление, структура, свойства, спекание, температура.

V. P. Bondarenko, M. O. Yurchuk
INFLUENCE OF EXTERNAL SINGLE TANNING ON STRUCTURE AND FUNCTION
OF PREVIOUSLY CLEANED SOLID ALLOY VN20 (80% WC + 20% Ni)
AT THE END OF VICTORY SUCCESS

The influence of external uniaxial static compression (0,7 MPa) on the change of the structure and properties (80% WC + 20% Ni) BN20 hard alloy at sintering temperature 1460 °C under vacuum was studied.

Key words: hard alloy, cemented carbide, compression, structure, properties, sintering, temperature.

Література

1. Бондаренко В. П., Галков О. В., Юрчук М. О. 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, технология его изготовления и применения. Вып. 17. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2014. – С. 437–444.
2. Бондаренко В. П., Юрчук М. О. Результаты дослідження впливу умов спікання твердого сплаву ВН 20 (80 % WC + 20 % Ni) у вакуумі під зовнішнім одноосьовим тиском на його усадку та густину // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника, технология его изготовления и применения. Вып. 20. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2017. – С. 430–439.

Надійшла 06.06.18

References

1. Bondarenko, V. P., Galkov, O. V., Yurchuk, M. O. (2014). Osoblyvosti struktury ta vlastyvosti karbidovolfraimovogo tverdogo splavu z nikelvoiu zviazkoiu VN (80% WC = 20% Ni), zpechenogo u vakuumi pid zovnishnim odnoociovym tyskom [Features of the structure and properties of carbide-tungsten solid alloy with nickel bond VH 20 (80% WC + 20% Ni) sintered in a vacuum under external uniaxial pressure]. *Porodorazrushayushchii I metalloobrativayushchii instrument – tekhnika I tekhnologiya ego izgotovleniya i primineniya – Rock Destruction and Metal-Working Tools – Techniques and Technology of the Tool Production and Applications, Vol. 17, 437–444. [In Ukrainian].*
2. Bondarenko V.P. , & Yurchuk M.O. (2017). Rezultaty doslidzhennia vplyvu umov spikannia tverdogo splavu VN 20 (80 % WC + 20 % Ni) u vakuumi pid zovnishnim odnoociovym tyskom na yogo usadku ta gustynu [Results of the study of the influence of the conditions of sintering of a solid alloy VH 20 (80% WC + 20% Ni) in a vacuum under external uniaxial pressure on its shrinkage and density]. *Porodorazrushayushchii I metalloobrativayushchii instrument – tekhnika I tekhnologiya ego izgotovleniya i primineniya – Rock Destruction and Metal-Working Tools – Techniques and Technology of the Tool Production and Applications, Vol. 20, 430–439. [In Ukrainian].*

УДК 621.762

М. М. Прокопів, О. В. Харченко кандидати технічних наук

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, вул. Автозаводська, 2, 04074 м. Київ, e-mail: keramtex@ukr.net; e-mail: injenner214@bigmir.net

ВПЛИВ ГАРТУВАННЯ НА СТРУКТУРУ, ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ СПЛАВУ ВК10-ОМ

Подано результати дослідження впливу гартування на структуру, фізико-механічні та експлуатаційні властивості сплаву ВК10-ОМ після спікання в різних технологічних умовах. Показано, що гартування зменшує мікропористість в структурі сплаву і підвищує його фізико-механічні властивості більшою мірою на поверхні, ніж в об'ємі зразка, особливо після вакуумного спікання. Показано, що підвищення експлуатаційної стійкості різців після гартування в умовах безперервного точіння сталі 45 корелюється із підвищенням властивостей сплаву і зменшенням адгезійної взаємодії його щодо оброблюваного матеріалу. Гартування не впливає на залишкову мікропористість, фізико-механічні і експлуатаційні властивості сплаву після вакуумно-компресійного спікання під тиском газу до 2,5 МПа.

Ключові слова: *спікання, метано-водневе, вакуумне, вакуумно-компресійне, гартування, адгезійна взаємодія, абразивне зношення.*

На сьогодні металообробна галузь України використовує твердосплавний інструмент у великих обсягах. Це високоякісні і дорогі пластини провідних фірм світу і менш якісні, але значно дешевші пластини російських та китайських виробників.

Висока продуктивність сучасного твердосплавного інструменту у світовій практиці досягається шляхом формування однорідної, дрібнодисперсної високощільної структури матеріалу під час спікання з тиском газу до 10 МПа [1–4]. У виробництві менш якісного