

18. ГОСТ 25.506–85. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения).
19. ГОСТ 9391–80. Сплавы твердые спеченные. Методы определения пористости и микроструктуры.

Надійшла 26.05.17

УДК 669.017.16

В. П. Бондаренко, член-кор. НАН України, **М. О. Юрчук**, канд. техн. наук
Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України, м. Київ

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ УМОВ СПІКАННЯ ТВЕРДОГО СПЛАВУ VN20 (80% WC + 20% Ni) У ВАКУУМІ ПІД ЗОВНІШНІМ ОДНООСЬОВИМ ТИСКОМ НА ЙОГО УСАДКУ ТА ГУСТИНУ

Наведено результати дослідження впливу зовнішнього одноосьового статичного тиску при спіканні карбідовольфрамowego твердого сплаву VN20 з нікелевою зв'язкою (80% WC + 20% Ni) на усадку та густину залежно від режимів попереднього спікання.

Ключові слова: *твердий сплав, тиск, усадка, густина, спікання, температура.*

У практиці твердосплавного виробництва широко застосовують метод спікання сплавів під дією зовнішнього навантаження, тобто гарячого пресування за статичного та динамічного тиску. Основна особливість цього методу полягає в тому, що твердосплавну заготовку спікають під тиском у графітовій формі, що надає заготовці відповідної форми та розмірів. Проте використання графітової прес-форми призводить до надлишкового навуглецювання заготовки, погіршує умови праці, підвищує собівартість виробів.

Результати експериментів спікання твердих сплавів без графітової прес-форми під тиском у робочому об'ємі печі, коли тиск прикладається тільки до торця заготовки, наведено в [1; 2]. За такої схеми спікання заготовка не обмежувалась з боків і могла вільно розтікатися в різні боки під дією тиску, який прикладали до верхнього торця заготовки. Досліджували сплави BK6 та BK15.

Мета цього дослідження – дослідити вплив одноосьового тиску на усадку та густину карбідовольфрамowego твердого сплаву VN20 з нікелевою зв'язкою (80% WC + 20% Ni) при спіканні у вакуумі залежно від режиму попередньої термообробки (спікання). Як вихідні суміші використали порошки WC згідно з ТУ 48-19-265-77 і карбонільного нікелю марки ПНУ згідно з ДЗТС 9722-79.

Порошки карбиду вольфраму (WC) і нікелю (Ni) перемішували у сталевому кульковому млині (футерованому твердим сплавом) у середовищі етилового спирту 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 BK3) кулі діаметром 10–12 мм. Відношення твердосплавних куль до суміші становило 5:1, тривалість перемішування – 8 год. Вивантажену з млинів суміш просушували в паровій шафі за температури ~120 °C протягом 24–30 год. Просушену суміш відокремлювали від твердосплавних куль за допомогою вібросита з розміром комірок 100 мкм. З метою виключення можливості винесення потоком повітря з вібросита частинок суміші

відокремлювання від куль здійснювали при вимкненій місцевій витяжці. Готували суміш до пресування згідно з вимогами технологічних інструкцій ІНМ ім. В. М. Бакуля НАН України. Перед замішуванням на пластифікаторі суміш повторно просіювали крізь сито з розміром комірок 0,1 мм. Просіяну порошкову суміш замішували 5%-ним розчином синтетичного каучуку (каучук синтетичний натрійбутадієновий СКБ – 50р, СКБ – 60р, ГОСТ 38003.79-74) у бензині Б – 70 (ГОСТ 1012–72) з розрахунку 150 см³ розчину на 1 кг суміші.

Розчин каучуку приготувляли за технологічною інструкцією 25000.20063 ІНМ. Просушену суміш подрібнювали у вібротліні з порцеляновими кулями ~Ø15 мм протягом 3 год і просівали крізь сито з розміром отворів 0,4 мм відповідно до технологічної інструкції 25000.20072 ІНМ.

Середній розмір зерна d_{wc} карбїду вольфраму у вихідній порошоків суміші визначали методом ртутної порометрії [3]. Отримали $d_{wc} = 1,6 \pm 0,1$ мкм. Кількість зерен з розмірами зерна 0,5-5 мкм становила 80%, а питома площа поверхні – $1,7 \pm 0,1$ м²/г. Довірчу межу випадкової похибки вимірювання визначали за ДСТУ 8.207–76.

Вміст загального вуглецю $C_{заг.}$ у вихідній порошоків суміші визначали абсорбційно-газооб'ємним методом [4]; фактично в порошоків суміші $C_{заг.} = 5,17–5,27$ мас.% за стехіометричного складу 4,90 мас.%.

Зразки для дослідження та встановлення оптимальних режимів вільного спікання мали форму штапиків розміром 5×5×35 мм. Зразки для дослідження особливостей спікання під дією зовнішнього одноосьового статичного тиску мали форму циліндрів діаметром $D = 10$ мм і висотою $H = 20$ мм. Штапики та циліндри пресували з підготовленої до пресування суміші на гідравлічному пресі у сталевих прес-формах за тиску 130–140 МПа. Мінімальний тиск пресування визначався міцністю зразків, достатньою для їх транспортування без пошкодження. Максимальний тиск визначався міцністю прес-форми та здатністю пресовок не розшаровуватись. Масу наважки на одну заготовку розраховували за загальноприйнятою методикою, забезпечивши пористість сирії пресовки ~50%. Відпресовані заготовки просушували в сушильній шафі за температури ~150 °С протягом 24 год. Випалювання каучуку та нормалізуюче спікання здійснювали у промисловій прохідній печі в контрольованому метановодневому середовищі – горизонтальній тризонній трубчастій печі безперервної дії з молібденовими нагрівачами конструкції ІНМ НАН України (ГП-30). Температуру нагрівання вимірювали вольфрамрениєвою термопарою. 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.

Попереднє спікання зразків сплавів здійснювали за температури 1060 °С протягом 30 хв у графітовій крупці у водневому середовищі, а також за температури 1150 °С протягом 3 год та температури 1250 °С протягом 2 год (ступеневе нормалізуюче спікання) у середовищі водню (рис. 1).

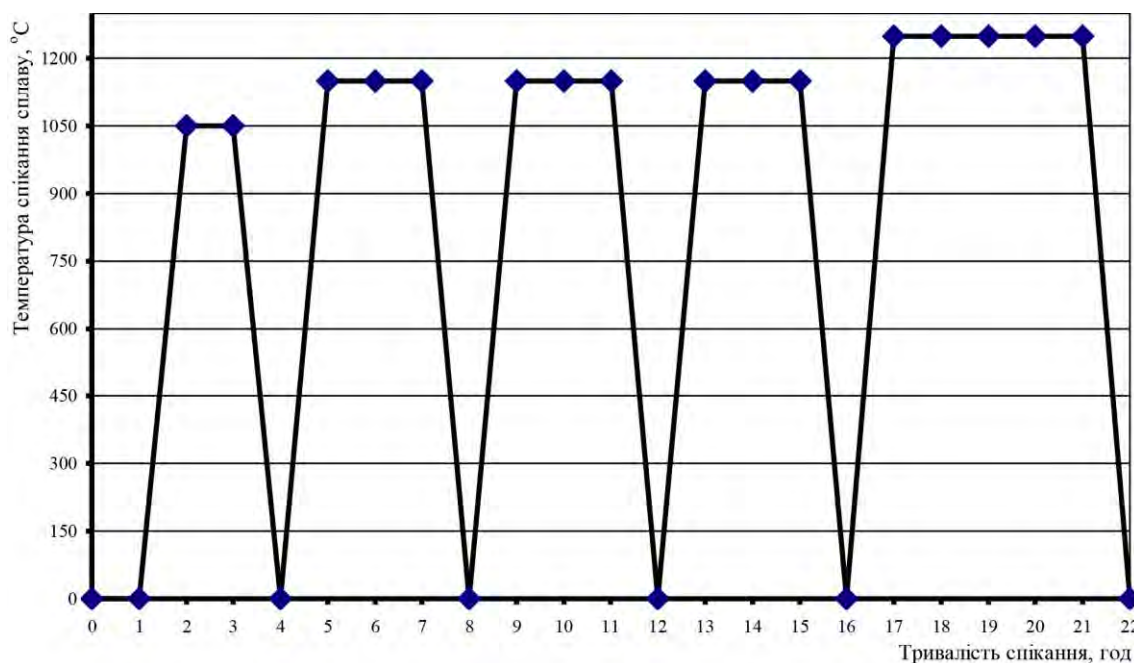


Рис 1. Графік режиму багатоступеневого нормалізуючого спікання зразків (за температури 1060, 1150 та 1250 °C) та багаторазового (за температури 1150 °C) для дослідження в середовищі водню у прохідних печах

У процесі спікання нормалізуюче спікання за температури 1150 °C здійснювали кілька разів (у середньому тричі) до досягнення стехіометричного складу сплавів (багаторазове нормалізуюче спікання). За температури 1060 °C спостерігалось вигорання каучуку у зразках, що спричиняло зменшення їх маси. При багаторазовому спіканні зразків за температури 1150 °C маса зразків збільшувалась, оскільки за такої температури сплав насичується вуглецем до стехіометричного складу. При досягненні останнього, маса зразків перестає збільшуватись. Залежно від кількості та тривалості нормалізуючих спікань за температури 1150 °C у сплаві спостерігали зміну початкового стану структури в бік покращення. Попереднє твердофазне спікання здійснювали в метановодневому середовищі при температурі 1250 °C, за якої спостерігалось повніше видалення газів з об'єму заготовки сплавів до захлопування пор та менший розмір наявних пор. Покращення структур зберігалось до кінцевого спікання зразків. Температура повторного попереднього спікання у вакуумі, якої сплав досяг компактного стану, становила 1350 °C. Повторне попереднє спікання у вакуумі здійснювали в електричній вакуумній печі моделі СНВЭ-1.3.1/16.

Кінцеве спікання здійснювали в електричних вакуумних печах моделі ОКБ-8086 згідно з ТУ 16-531.302-75 та моделі СНВЭ-1.3.1/16. Залишковий тиск у камері спікання печей становив 0,13 Па. Температуру нагрівання вимірювали вольфрамрениєвою термопарою. Температура кінцевого спікання становила 1350, 1400 та 1460 °C, тривалість витримування – 30 хв (рис. 2).

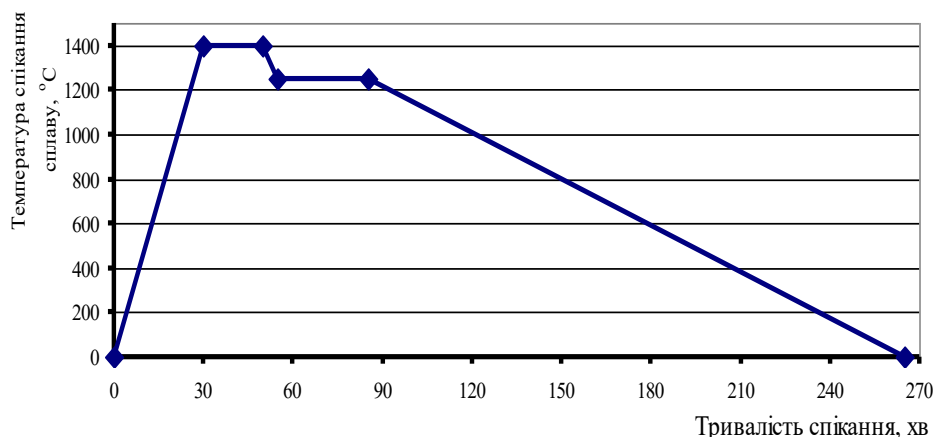


Рис 2. Графік режиму кінцевого спікання у вакуумі досліджуваних зразків за температури 1400 °C

Зовнішнє одноосьове напруження стискання змінювалось від 0 до 1,6 МПа і здійснювалось через графітові прокладки. З метою виключення контакту експериментального зразка з графітовим оснащенням, де здійснювали спікання, що призвело б до зміни його хімічного складу внаслідок дифузії вуглецю при високій температурі спікання, на торці заготовок наносили тонкий шар дрібнозернистого чистого корунду Al_2O_3 (рис. 3). Навантаження змінювали шляхом зміни відстані зразка до опори.

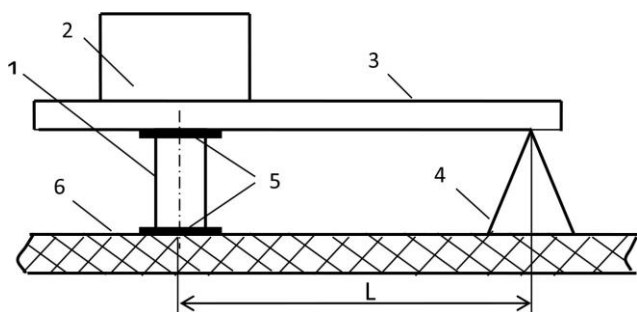


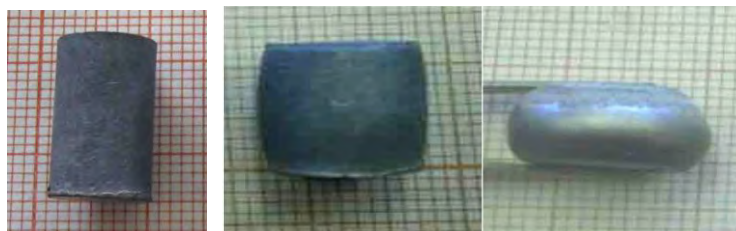
Рис 3. Схема навантаження циліндричного твердосплавного зразка при його випробуванні на одноосьове стискання в вакуумі за високої температури: 1 – зразок; 2 – вантаж; 3 – пластина; 4 – опора; 5 – прокладка (шар) з дрібнозернистого чистого корунду Al_2O_3 ; 6 – основа

Особливості спікання сплавів під дією зовнішнього одноосьове напруження стискання наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Технологічні режими попереднього термооброблення (спікання) і кінцевого спікання у вакуумі твердого сплаву під дією зовнішнього напруження стискання

Напруження стискання при кінцевому спіканні, МПа	Температура випалювання каучуку в метановодневому середовищі, °C	Температура нормалізуючого спікання в метановодневому середовищі, °C	Температура попереднього спікання в метановодневому середовищі, °C	Температура повторного попереднього спікання у вакуумі, °C	Температура кінцевого спікання у вакуумі, °C
0–1,6	1060	1150	1250	1350	1350
0–1,6	1060	1150	1250	1350	1400
0–1,6	1060	1150	1250	1350	1460

Зовнішній вигляд зразків (циліндрів), попередньо спечених за відповідних режимів у метановодневому середовищі та вакуумі, показано на рис. 4 а, спечених у вакуумі за одноосьового тиску з різним осадженням по вертикальній осі – на рис. 4 б.



а

б

Рис 4. Зовнішній вигляд зразків сплаву, спечених у вакуумі після попереднього спікання в метановодневому середовищі та повторного попереднього спікання у вакуумі (а), та зразків (з утворенням форми «бочка»), спечених у вакуумі за одноосьового тиску з різним осадженням по вертикальній осі (б)

Коефіцієнти усадки сплаву після різних варіантів попереднього спікання у водні та вакуумі за температури 1060–1460 °С наведено в табл. 2–4.

Графіки залежності усадки по висоті та діаметру циліндричних зразків, попередньо спечених за різних режимів та остаточно спечених за одноосьового тиску у вакуумі та температури 1350, 1400 та 1460 °С, показано відповідно на рис. 5 а та криві 3 ілюструють закономірності усадки зразків, попередньо спечених за температури 1060 °С у водні (варіант 1). У процесі усадки циліндра (зразка) за температури спікання у вакуумі 1350 °С під тиском (крива 1) форми «бочка» на зразках (різниця між діаметрами зразка на торцях і посередині висоти не менше 0,5 мм) навіть за тиску 1,6 МПа не утворилось. За температури спікання 1400 °С (крива 2) форма «бочка» утворилась на зразках при тиску 0,7 МПа (7,0 кг/см², навантаження 4,8 кг), а за температури спікання 1460 °С (крива 3) форма «бочка» утворилася на зразках при тиску 0,6 МПа (6,0 кг/см², навантаження 4,08 кг).

Крім того, з кривих 1–3 на рис. 5 а впливає, що з зниженням температури кінцевого спікання коефіцієнт усадки зменшується. За температури кінцевого спікання 1460 °С коефіцієнт усадки по висоті становив 3,57, за температури 1400 °С – 2,5. Ускладнений режим попереднього спікання (варіант 2) складається з кількох етапів. Перший етап: попереднє спікання за температури 1060 °С протягом 30 хв у графітовій крупці у водневому середовищі; при цьому відбувалася відгонка каучуку з зразка. Другий етап: попереднє спікання в середовищі водню за температури 1150 °С протягом 3 год; при цьому спікання здійснювали тричі. Тривалість кожного спікання становила 1 год. При цьому сплав насичувався вуглецем до його стехіометричного складу, змінювався початковий стан структури сплаву в бік покращення. Критерієм завершення цього етапу спікання було припинення збільшення маси зразка. Третій етап: у середовищі водню за температури 1250 °С протягом 2 год. При такому твердофазному спіканні повніше видалялись гази з об'єму заготовки сплаву до захлопування пор та фіксувався менший розмір наявних пор. Четвертий етап: повторне попереднє спікання за температури 1350 °С у вакуумі протягом 1 год. На цьому етапі сплав досягав компактного стану. Загалом варіант 2 попереднього спікання сплаву забезпечив дещо менші значення коефіцієнтів усадки по висоті зразка. Так, за температури кінцевого спікання 1460 °С коефіцієнт усадки по висоті зразка становив 2,22, за температури 1400 °С – тільки 1,85.

Таблиця 2. Вплив на коефіцієнт усадки режимів попереднього спікання у водні та вакуумі
твердого сплаву ВН20 за температури 1060–1250 °С

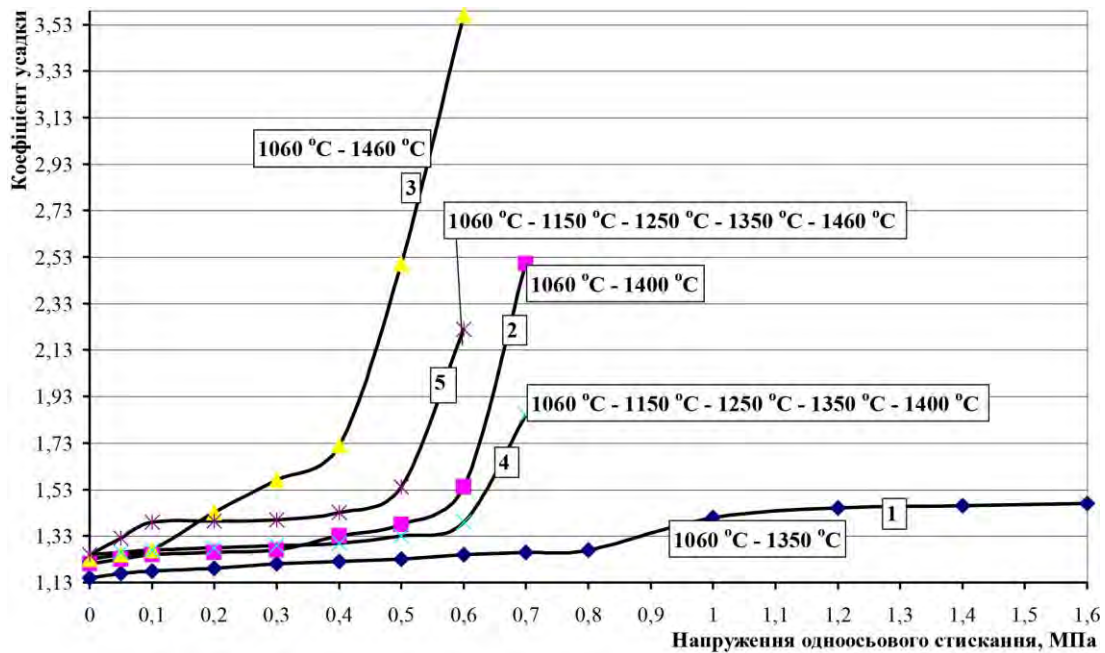
Режим попереднього спікання			Коефіцієнт усадки	
Температура випалювання у водні каучуку, °С, при витримуванні протягом 60 хв	Температура нормалізуючого спікання у водні, °С, при витримуванні протягом 180 хв	Температура спікання у водні, °С, при витримуванні протягом 60 хв	$K_{ус} = D_{брнк} / D_{спеч. зр}$	
			по діаметру	по висоті
1060	–	–	1,08	1,05
	1150	1250	1,15	1,15

Таблиця 3. Вплив на коефіцієнт усадки режимів попереднього спікання у водні та вакуумі
за температури 1060–1350 °С і кінцевого спікання у вакуумі за температури 1400 °С

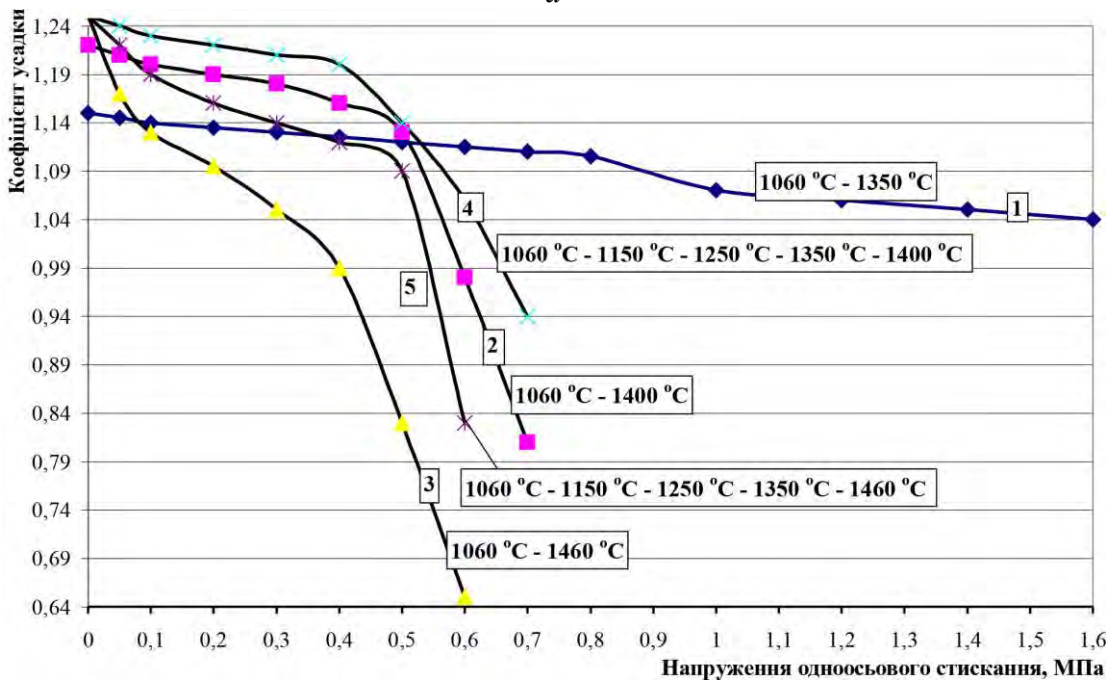
Режим попереднього спікання					Коефіцієнт усадки	
Температура випалювання у водні каучуку, °С, при витримуванні протягом 60 хв	Температура нормалізуючого спікання у водні, °С, при витримуванні протягом 180 хв	Температура першого попереднього спікання, °С, при витримуванні протягом 60 хв	Температура другого попереднього спікання у вакуумі, °С, при витримуванні протягом і 30 хв	Температура кінцевого спікання у вакуумі, °С, при витримуванні протягом 30 хв	$K_{ус} = D_{брнк} / D_{спеч. зр}$	
					по діаметру	по висоті
1060	–	–	–	1400	1,22	1,20
	1150	1250	1350		1,25	1,25

Таблиця 4. Вплив на коефіцієнт усадки режимів спікання у водні та вакуумі при різних
варіантах попереднього спікання і температурі кінцевого спікання у вакуумі 1460 °С

Режим попереднього спікання					Коефіцієнт усадки	
Температура випалювання у водні каучуку, °С, при витримуванні протягом 60 хв	Температура нормалізуючого спікання у водні, °С, при витримуванні протягом 180 хв	Температура першого попереднього спікання, °С, при витримуванні протягом 60 хв	Температура другого попереднього спікання у вакуумі, °С, при витримуванні протягом і 30 хв	Температура кінцевого спікання у вакуумі, °С, при витримуванні протягом 30 хв	$K_{ус} = D_{брнк} / D_{спеч. зр}$	
					по діаметру	по висоті
1060	–	–	–	1460	1,25	1,23
	1150	1250	1350		1,25	1,25



а



б

Рис 5 Графіки усадки по висоті (а) та діаметру (б) циліндрів (зразків) сплаву ВН20, попередньо термооброблених за різних режимів та остаточно спечених у водні та вакуумі за температури 1350, 1400 та 1460 °C

Важливо зауважити, що на бокових поверхнях спечених зразків досліджуваного сплаву за зазначеної температури та навантаженні, при яких утворювалась форма «бочка», зв'язки не спостерігалось. На рис. 5 б показано п'ять кривих, на яких видно особливості зміни діаметра зразків (циліндрів) (зміни коефіцієнта усадки) залежно від температури спікання та тиску. Криві 1–3 свідчать про особливість зміни коефіцієнтів усадки, в яких перед кінцевим

спіканням у вакуумі за температури 1350 °С (крива 1), 1400 °С (2) та 1460 °С (3) було відігнано каучук за температури 1060 °С. Як бачимо зі зниженням температури кінцевого спікання коефіцієнт усадки зменшується. За температури кінцевого спікання 1460 °С коефіцієнт усадки по діаметру становив 0,65, за температури 1400 °С збільшився до 0,81. Ускладнений режим спікання (варіант 2) загалом забезпечив більший коефіцієнт усадки по діаметру зразка. Так, за температури кінцевого спікання 1460 °С коефіцієнт усадки по діаметру становив 0,81, за 1400 °С – 0,94.

Слід зазначити, що на шліфах, одержаних на горизонтальній площині перерізу симетрії зразків, які мали набуту форму «бочки», не виявлено тріщин чи пустот.

Зведені значення коефіцієнта усадки по висоті та діаметру зразків, за яких на зразках сплаву утворюються поверхні, наближені до форми «бочка» залежно від тривалості спікання, табл. 5.

Таблиця 5. Коефіцієнт усадки по висоті та діаметру зразків за характерної температури спікання та напруженні стискання, коли на зразках сплаву ВН20 утворюються поверхні, наближені до форми «бочка» залежно від тривалості спікання

Температура кінцевого спікання вакуумі, °С	Варіант попереднього спікання зразка, °С	Напруження стискання, МПа	Коефіцієнт усадки зразка		Тривалість спікання, хв. коли утворюється форма «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	

Форма «бочка» утворюється у сплаві зразків за температури 1460 оС та навантаження 0,6 МПа починаючи від п'ятої хвилини. За температури 1400 оС та навантаженні від 0,7 МПа форма «бочка» зразків утворюється протягом 15 та 30 хв. Причини такої тривалості бочкоутворення не встановлено.

Графік зміни густини сплаву попередньо спеченого за різних режимів перед кінцевим спіканням показано на рис. 6.

Аналізуючи зміну густини сплаву (рис. 6), слід зауважити, що тільки на кривій 1 (1060–1350 °С) спостерігається зона пропорційної зміни густини від зміни напруження одноосьового стискання (0–0,3 МПа). На цій ділянці сплав інтенсивно ущільнюється без структурних змін (середнього розміру зерен карбїду вольфраму, кількості контактів зерен карбїду вольфраму, товщини прошарків зв'язки) і досягає густини тільки 13,3 г/см³ за густини згідно з нормативною документацією 13,4–13,7 г/см³. За подальшого підвищення напруження одноосьового стискання, що становить понад 0,3 МПа, пропорційність зміни густини від зміни напруження одноосьового стискання зникає. Крім того, спостерігалось зниження інтенсивності збільшення густини від підвищення напруження одноосьового стискання.

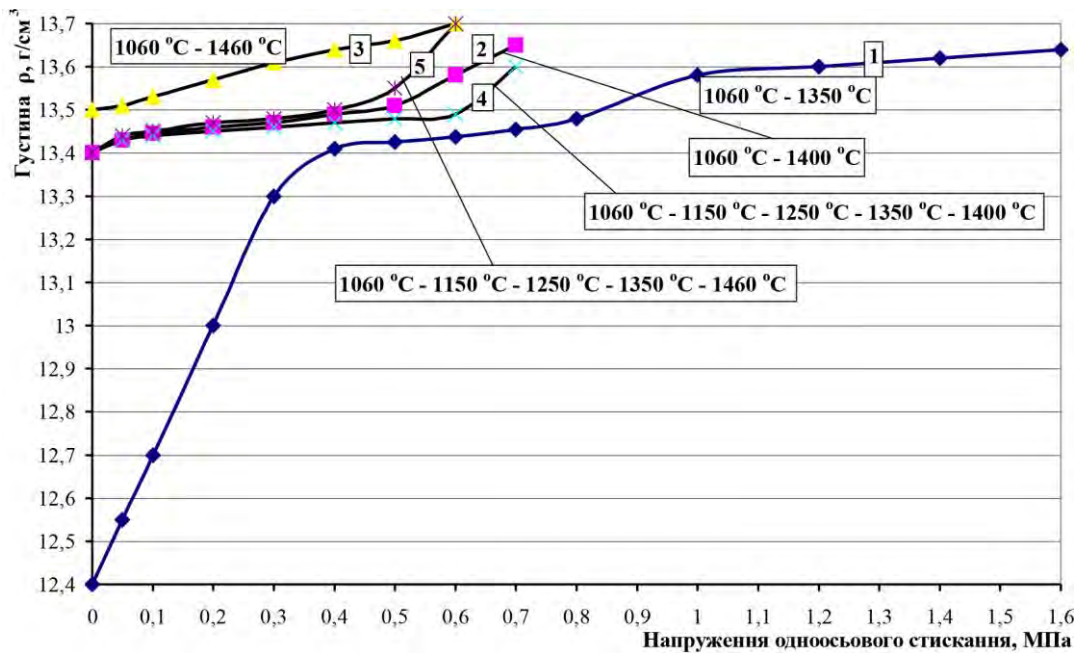


Рис 6. Графіки зміни густини сплаву ВН20, попередньо термообробленого за різних режимів та остаточно спеченого у вакуумі за температури 1350, 1400 та 1460 °С, від одноосового стискування при кінцевому спіканні

Майже подібний непропорційний характер зміни густини від зміни напруження одноосового стискування спостерігається у сплаві, попередньо спеченому за різних режимів та остаточно спеченого у водні та вакуумі за температури 1400; 1460 °С і напруженні одноосового стискування 0–0,7 МПа. За напруження одноосового стискування 0,3–1,6 МПа та при наведеної температури кінцевого спікання сплав так само не зазнавав структурних змін. Водночас за напруження одноосового стиску 0–0,7 МПа та такої самої температури кінцевого спікання у вакуумі сплаву, попередньо термообробленого за різних режимів, структурні зміни відбувались через руйнування конгломератів із зерен карбіду вольфраму та карбідного скелету загалом: криві 2 (1060–1400 °С), 3 (1060–1460 °С), 4 (1060–1150–1250–1350–1460 °С) та 5 (1060–1150–1250–1350–1400 °С). Крім того, за поведінкою кривих 2 (1060–1400 °С), 4 (1060–1150–1250–1350–1460 °С) та 5 (1060–1150–1250–1350–1400 °С) при температурі 1400 та 1460 °С кінцевого спікання у вакуумі сплаву, попередньо спеченого за різних режимів та напруження одноосового стискування 0,1–0,4 МПа, спостерігався майже однаковий непропорційний характер зміни густини від зміни напруження одноосового стискування.

Значення густини сплаву, попередньо спеченого за різних режимів та остаточно спеченого у вакуумі за одноосового стискування, які забезпечили утворення форми «бочка» зразків наведено в табл. 6.

Таблиця 6. Густина сплаву ВН20, попередньо спеченого за різних режимів та остаточно спеченого у вакуумі за одноосьового стискування, що забезпечила утворення форми «бочка» зразків

Температура кінцевого спікання у вакуумі, °С	Напруження стискування, МПа	Варіант попереднього спікання сплаву	Густина сплаву (за ГОСТ 3882-81 та ТУ У 28.4-30153645.001-2001), г/см ³	Густина досліджуваного сплаву, г/см ³
1400	0,7	1	13,4–13,7	13,65
		2		13,7
1460	0,6	1		13,7
		2		13,6

Остаточно встановлено, що підвищення густини сплаву в основному зумовлюється переважно зниженням мікропористості з 0,2 до 0%.

Висновки

Встановлено основні особливості усадки – осадження зразків сплаву.

1. При температурі кінцевого спікання 1350 °С навіть якщо зразки були попередньо спечені за температури 1060 °С протягом 30 хв, досягти утворення форми «бочка» зразків не вдалося навіть при навантаженні 1,6 МПа.

2. Найнища температура кінцевого спікання, за якої утворюється «бочка», становить 1400 °С незалежно від температури попереднього спікання.

3. Підвищення температури кінцевого спікання на 60 °С (з 1400 до 1460 °С) за обох варіантів попереднього спікання зумовлено зменшення одноосьового стискування, за якого утворюється форма «бочка», на 0,1 МПа (з 0,7 до 0,6 МПа).

4. Ускладнення режиму попереднього спікання загалом зумовило збільшення коефіцієнтів усадки-осадження по висоті та зменшення по діаметру зразка сплаву при температурі кінцевого спікання (1400 та 1460 °С).

5. Вважається, що при утворенні форми «бочка» зразків маса сплаву максимально переміщається під дією навантаження; при цьому максимально подріблюються конгломерати зерен у сплаві, що утворюються при перекристалізації в рідкій зв'язці. Конгломерати зерен у сплаві утворюються також з іншої причини: зерна, що розміщені на центральній осі зразка, натикаються одне на одне під час спікання під дією зовнішнього напруження стискування, що активує коалесценцію зерен карбіду вольфраму. Зерна на периферії зразка при осадженні вільно взаємно переміщуються разом зі зв'язкою до бокових сторін зразка, що в основному забезпечує зберігання їх початкових розмірів. Серед цих зерен утворюються нові конгломерати зерен, але при переміщенні маси сплаву вони руйнуються, що забезпечує суттєве збереження вихідної зернистості сплаву. У свою чергу, це уможливило створення сплаву з прогнозованою структурою, а отже, властивостями. Таке розмаїття процесів, що відбуваються в сплавах при утворенні форми «бочка», спонукало дослідження таких самих і близько до таких умов одержання сплаву.

Приведены результаты исследования влияния внешнего одноосевого статического давления при спекании карбидовольфрамового твердого сплава VN20 на никелевой связке (80% WC + 20% Ni) на усадку и плотность в зависимости от режимов предварительного спекания.

Ключевые слова: твердый сплав, давление, усадка, плотность, спекание, температура.

**THE RESEARCH RESULTS OF INFLUENCE CONDITIONS OF SINTERING
OF VN20 (80% WC + 20 % WT. NI) HARD ALLOY IN VACUUM UNDER EXTERNAL
UNIAXIAL STATIC PRESSURE ON ITS SHRINKAGE AND DENSITY**

The research results of influence of external uniaxial static pressure during sintering of VN20 (80% WC + 20% Ni) tungsten carbide hard alloy with nickel binder on changes of structural and some physical and mechanical properties in dependence of the regime preliminary sintering were presented.

Key words: hard alloy, pressure, shrinkage, density, sintering, temperature.

Література

1. Третьяков В. И. Основы металловедения и технологии производства спеченных твердых сплавов. – М.: Металлургия, 1976. – 528 с.
2. Бондаренко В. П., Юрчук Н. А. Спекание твердого сплава BK15 под действием сжимающего напряжения // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент - техника и технология его изготовления и применения: сб. науч тр – К. ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2005.– Вып 8. – С. 249–255.
3. Ермоленко Н. Ф., Эфрос М. Д. Регулирование пористой структуры оксидных адсорбентов и катализаторов. – Минск: Навука и тэхніка, 1971. – 285 с.
4. Дымов А. М. Технический анализ (Методы определения содержания элементов). – М. Металлургия, 1964. – С. 31–51.

Надійшла 29.05.17

УДК 669.14.018.252.3

Л. В. Судник, д-р техн. наук¹; Ф. И. Рудницкий, канд. техн. наук²; К. Ф. Рудницкий¹;
Ю.А. Николайчик, канд. техн. наук²

¹ОХП «Научно-исследовательский институт импульсных процессов с опытным производством», г. Минск, Республика Беларусь

²Белорусский национальный технический университет, г. Минск

**МОДИФИЦИРОВАНИЕ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ
НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
РЕЖУЩИХ ВСТАВОК РЕЗЦОВ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ МАШИН**

Рассмотрены вопросы влияния модифицирования наноструктурированными материалами на структуру и физико-механические свойства быстрорежущих сталей для изготовления режущих вставок резцов горнодобывающих машин.

Ключевые слова: сплав, модифицирование, структура.

Пути развития машиностроения в целом и инструментального производства в частности лежат в области использования последних достижений науки, широкого внедрения более совершенных – материало- и энергосберегающих технологий на всех стадиях