

## References

1. Bondarenko, V. P., Galkov, O. V., Yurchuk, M. O. (2014). Osoblyvosti struktury ta vlastyvoosti 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 metalloobrabativayushchii 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 metalloobrabativayushchii 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

DOI: 10.33839/2223-3938-2018-21-1-360-369

**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

інструменту російські, китайські і вітчизняні фірми з об'єктивних причин продовжують застосовувати технології вільного спікання в метано-водневому середовищі і у вакуумі. Причиною низької якості такого інструменту є наявність у структурі матеріалу високої залишкової мікропористості і окремих крупних пор розміром  $> 50$  мкм. Висока ціна на імпорту сировину, обмеженість матеріальних ресурсів, велика конкуренція на глобальному ринку стали основними причинами призупинення промислового випуску вітчизняного твердосплавного інструменту.

В ІНМ ім. В. М. Бакуля НАН України проводяться дослідження для вирішення цієї проблеми шляхом обробки робочих поверхонь інструменту розплавами металів [5], відпалу у вакуумі [6], термокомпресійної обробки під тиском газу до 3 МПа [7].

Одним з доступних і економічно доцільних способів підвищення властивостей твердих сплавів є також різні способи їх гартування [7, 8], поверхневе гартування [9], циклічне гартування [10] та ін. Можливість такої обробки ВК-сплавів автори цитованих робіт пов'язують в основному зі зміною розчинності карбіду вольфраму в кобальті у твердому стані і алотропічне перетворення Со-фази з підвищенням температури [11]. Об'єктом цих досліджень було визначення впливу гартування на еволюцію фаз, їх напружений стан у структурі переважно середньозернистих твердих сплавів після метано-водневого середовища. Через неоднозначність результатів досліджень різних авторів цей метод не знайшов широкого практичного застосування.

На сьогодні за допомогою цього методу в ІНМ ім. В. М. Бакуля НАН України підвищують експлуатаційну стійкість матриць з твердого сплаву ВК6 після метано-водневого спікання, які використовуються в апаратах високого тиску для синтезу штучних алмазів [12]. Причиною цього також є і те, що не досліджувався вплив гартування на еволюцію мікропористості в структурі, особливо поверхневого шару виробів з твердого сплаву.

Можна передбачити закономірний позитивний вплив різкої зміни температури на поверхні, нагрітій на повітрі до  $1350^{\circ}\text{C}$  і охолодженій в мастилі, на залишкову мікропористість в його структурі. До того ж ступінь такого впливу може залежати від умов попереднього спікання твердого сплаву. Крім того, нагрівання в повітряному середовищі і охолодження в мастилі може впливати також на пасивацію поверхневого шару інструменту до фізичної і хімічної взаємодії його з оброблюваним матеріалом у процесі різання.

Інформація про проведення аналогічних досліджень наразі нам не відома.

Метою роботи є дослідження впливу об'ємного гартування на залишкову мікропористість, фізико-механічні властивості, стійкість і механізми зношування в процесі різання дрібнодисперсного твердого сплаву ВК10-ОМ залежно від умов попереднього спікання.

#### **Методика дослідження**

Дослідження проводили на штабках розміром  $5 \times 5 \times 35$  мм (по 8 штук). Для дослідження використовували зразки, спечені в метано-водневому середовищі [13], вакуумі [14]. Вакуумно-компресійне спікання проводили під тиском газу (аргон) 2,5 МПа за температури  $1350^{\circ}\text{C}$  з 20-хвилинною витримкою та охолодженням під цим самим тиском [15].

Попередньо проводили нормалізувальне спікання у метано-водневому середовищі за температури  $970^{\circ}\text{C}$  [16] для забезпечення двофазності в структурі твердого сплаву.

Гартування зразків проводилась згідно з [10] нагріванням до температури  $1350^{\circ}\text{C}$  в соляній ванні (витримка 15 хв) з наступним охолодженням в мастилі до  $40^{\circ}\text{C}$ .

На шліфованих зразках  $5 \times 5 \times 35$  до і після гартування визначали коерцитивну силу, межу міцності під час вигину за триточковою схемою з відстанню між нижніми опорами 30 мм. Щільність зразків вимірювали методом гідростатичного зважування, твердість – за Роквеллом.

Структуру зразків досліджували на полірованих шліфах за допомогою оптичного мікроскопа МІМ-8М і растрового електронного мікроскопа «CamScan». Дрібну пористість (до 50 мкм), скупчення сполучної і WC-фаз оцінювали відповідно до ГОСТ 9391-80 на оптичному мікроскопі МІМ-6 зі збільшенням 100.

Розподіл зерен за фракціями визначали за методом Глаголева зі збільшенням  $\times 1350$  на оптичному мікроскопі МІМ-8М.

Для дослідження впливу гартування на різальні властивості сплаву на торцевій частині половинок штапиків після вивчення їхніх фізико-механічних властивостей заточували різальні кромки з радіусом заокруглення  $r = 0,4$  мм. Порівняльні випробування проводили під час поздовжнього точіння сталі 45 (ГОСТ 1050-74) з режимами різання: швидкість  $v = 110$  м/хв, глибина  $t = 0,5, 1,0$  мм, подача  $s = 0,2$  мм/об. Значення швидкості різання вибрали так, щоб воно виходило за межі (90 м/хв.), вище від якої в процесі безперервного різання не повинен утворюватися наріст стружки на передній робочій частині різця [17]. Головний і допоміжний кути в плані мали величину  $45^\circ$ , задній і передній кути пластини досягалися установкою державки в супорті токарного верстата моделі 16К20 і становили  $7^\circ$ .

Критерієм затушення різальної крайки був розмір ( $h_3 = 0,8$  мм) стрічки зносу на задній поверхні, який фіксувався кожні 5 хв. різання за допомогою мікроскопа з відліковою мікрометричною голівкою. Випробовували по шість пластин кожної партії. Поверхню зносу різальної крайки досліджували на електронному мікроскопі «CamScan» і оптичному (МІМ-8), оснащеному цифровою камерою для фотографування.

#### Результати досліджень

У таблиці подано результати дослідження характеристик структури та фізико-механічних властивостей зразків сплаву ВК10-ОМ, спеченого за трьома технологіями з гартуванням. У зразках після спікання були відсутні вкраплення вільного графіту і  $\eta$ -фази.

#### Структурні і фізико-механічні властивості твердого сплаву ВК10-ОМ після спікання і гартування

№ п/п	Властивості	Технологія спікання					
		Метано-водневе		Вакуумне		Вакуумно-компресійне	
		вихідний	ТО	вихідний	ТО	вихідний	ТО
1	Середній розмір зерна $d_{wc}$ мкм	1,48	1,55	1,34	1,39	1,44	1,49
2	Розмір окремих великих зерен WC мкм	18, 20	16, 19	15, 21	16, 22	15, 20	15, 20
3	Об'ємна пористість %	Д3 0,3	Д2 0,3	В3 0,3	В2 0,2	А2 0,2	А2 0,2
4	Кількість пор $> 50$ мкм	2 $\times$ 75, 1 $\times$ 55	2 $\times$ 75, 1 $\times$ 55	1 $\times$ 63, 1 $\times$ 52	1 $\times$ 51	–	–
5	Кількість вільного вуглецю %	0,1	0,1	–	–	–	–
6	Коерцитивна сила $H_c$ кА/м	16,4	16,7	16,9	16,9	16,7	16,7
7	Густина $\gamma$ г/см <sup>3</sup>	14,3	14,35	14,4	14,48	14,55	14,55
8	Твердість $HRA$	88,0	88,2	88,5	88,7	89,2	89,2
9	Границя міцності під час згинання $R_{bm}$ , МПа	1550	1570	1580	1650	1950	1930
10	Коефіцієнт тріщиностійкості $K_{IC}$ МПа $\cdot$ м <sup>1/2</sup>	11,4	11,4	11,7	11,9	12,2	12,1

Як видно з таблиці, характеристики структури і фізико-механічні властивості твердого сплаву ВАК10-ОМ після вакуумного спікання дещо перевищують аналогічні характеристики сплаву після метано-водневого спікання. Гартування зразків трохи покращує ці показники. Так, для зразків після метано-водневого мікропористість зменшується з ДЗ 0,3 до Д2 0,3, а після вакуумного – з В2 0,3 до В2 0,2. Крім того, в структурі останніх зразків зменшується розмір окремих крупних пор >50 мкм

Варто відзначити вплив гартування на зменшення до А1 0,1 (рис. 1) залишкової мікропористості в структурі поверхневого шару на глибину 0,04-0,1 мм зразка після вакуумного спікання. При цьому на глибині від 0,1 до 0,3 мм мікропористість була вже на рівні А2 0,3. Окремих крупних зерен розміром >50 мкм в поверхневій структурі не виявлено.

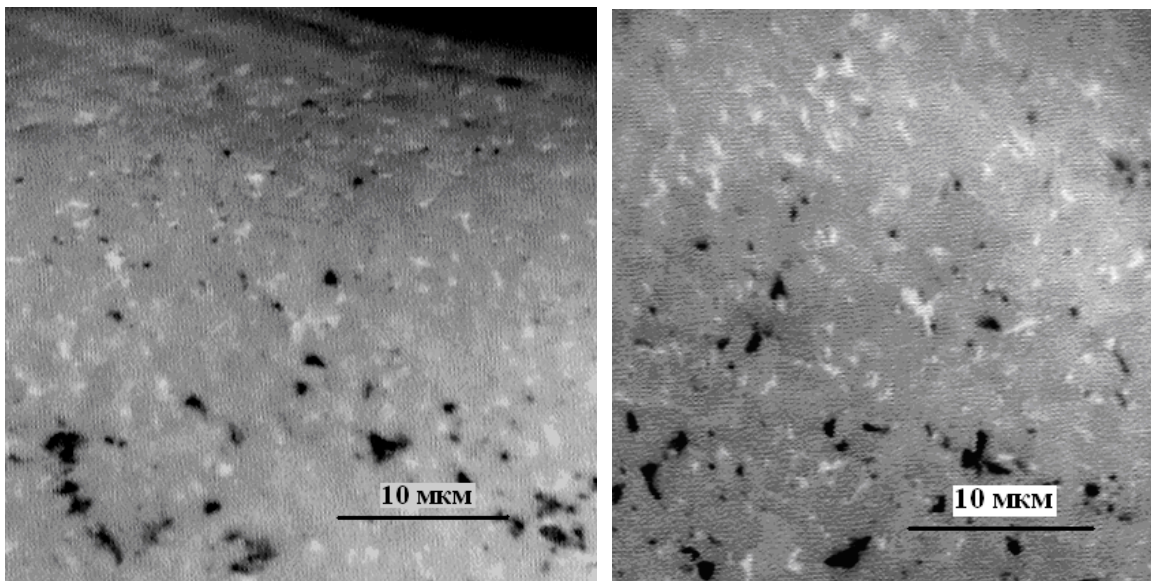


Рис. 1. Структура поверхневого шару на зразках, спечених за технологією вакуумного спікання і після гартування  $\times 1250$

Отже, процес гартування у вказаних умовах твердого сплаву ВК10-ОМ більшою мірою зменшує мікропористість в структурі після вакуумного спікання, ніж після метано-водневого. До того ж, цей вплив значно більший на поверхні пластини, ніж в її об'ємі. Як наслідок, збільшується густина та границя міцності під час згинання (див. таблицю).

Залишкова мікропористість в структурі зразків після вакуумно-компресійного спікання – на рівні А2 0,2. Така ж мікропористість залишилася і в структурі цього зразка після гартування. Без істотних змін залишилися й інші основні структурні характеристики і фізико-механічні властивості цих зразків.

Результати дослідження експлуатаційної стійкості різців із твердого сплаву ВК10-ОМ після метано-водневого, вакуумного і вакуумно-компресійного спікання і додаткового гартування показано на рис. 2.

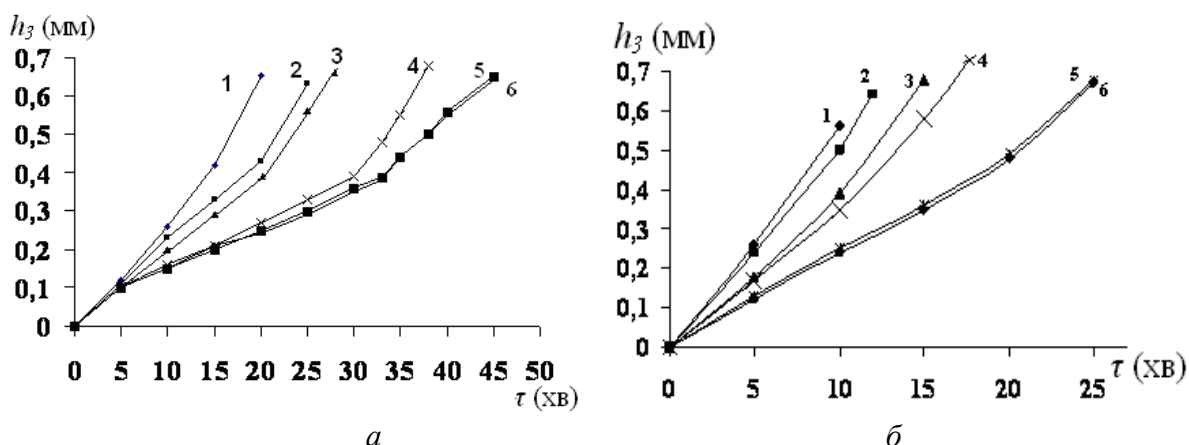


Рис. 2. Залежність величини зносу  $h_3$  (мм) від часу різання  $\tau$  (хв) з глибиною різання: а – 0,5 мм; б – 1,0 мм; пластин, спечених за різними технологіями: 1, 2 – метано-водневе; 3, 4 – вакуумне; 5, 6 – вакуумно-компресійне; 1, 3, 5 – вихідні; 2, 4, 6 – після гартування

Встановлено, що для різців, які спікались в метано-водневому середовищі і додатково гартувались, стійкість різання підвищилась на 10%. Зношування пластин відбувається в результаті абразивного зношування на задній поверхні з утворенням стрічки зносу та адгезійного – з утворенням лунки зносу на передній поверхні. Втрата працездатності відбувається в результаті досягнення  $h_3$  величини 0,7 мм мікросколювання різальної крайки. Налипання, приварювання чи утворення наросту стружки на передній поверхні робочої частини різця не виявлено.

Для глибини 1,0 мм пластини спечено за технологією метано-водневого спікання, та вони ж після гартування показали однакову стійкість на рівні 10 хв. Втрата працездатності сталася в результаті макроруйнування різальної крайки.

Гартування різців після вакуумного спікання підвищило на 20% стійкість під час різання з глибиною 0,5 мм. При цьому у вихідних пластин після 5 хв на передній поверхні під час сходження стружки виявлено її приварювання на довжині 1,0–1,5 мм до передньої поверхні різця. Втрата працездатності на 27 хвилині роботи сталася через досягнення  $h_3$  значення 0,69 мм (рис. 3 а, б).

Стійкість різців після вакуумного спікання на 15% перевищує стійкість різців після метано-водневого спікання і залишається на рівні стійкості тих же різців, але після гартування.

Водночас для пластин, спечених у вакуумі та гатованих, приварювання стружки на передній поверхні було відсутнє, але утворився нарост на різальній крайці висотою до 0,1 мм. Вихід з ладу різця зафіксовано на 38 хвилині через досягнення критичного зносу на задній поверхні 0,68 мм, утворення струмкового зносу на стрічці на задній поверхні та утворення лунки зносу на передній поверхні розміром 0,6х0,4 мм та глибиною 0,3 мм (рис. 3, в, г).

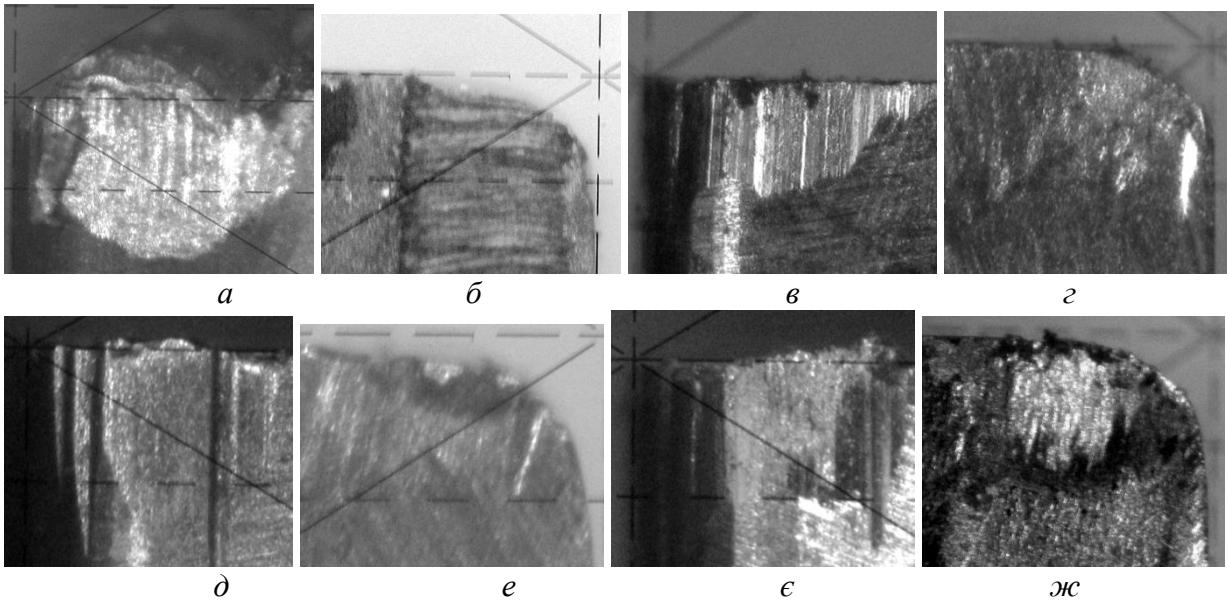


Рис. 3. Характер зносу пластин, спечених за технологією вакуумного спікання та гартованих, після закінчення роботи: а–г – глибина 0,5 мм; д–ж – глибина 1,0 мм; а, б, д, е – спечені у вакуумі; в, г, є, ж – спечені у вакуумі та гартовані

Для пластин, спечених у вакуумі, стійкість різання для глибини 1,0 мм до втрати працездатності зафіксовано на рівні 14 хв. За цей час знос на задній поверхні становить 0,66 мм. Крім того, в процесі різання на різальній крайці утворився нарост висотою 0,1 мм, а на задній поверхні довжиною 0,70 мм та передній від вершини довжиною 0,2 мм зафіксовано струмковий знос (рис. 3, д, е).

Для цих же пластин після гартування стійкість збільшилась на 25 %. Як і на глибині 0,5 мм, втрата працездатності сталася через знос по задній поверхні на ширину 0,65 мм, утворення струмкового зносу, утворення лунки зносу на передній поверхні 0,35×0,35 мм та глибиною 0,3 мм. При цьому лунка зносу на передній поверхні пластини має кільцеву структуру: в середині пляма світлого, а ззовні – кільце темного забарвлення (рис. 3, ж (поверхневий шар – основна структура – світла пляма)). Опосередковано можна вважати, що на поверхні пластини в процесі гартування під дією повітряного середовища за умови нагрівання і мастила – охолодження утворився шар з певною структурою. І цей шар зменшує активність до фізичної і хімічної взаємодії робочої поверхні різця до оброблюваного матеріалу, як наслідок – підвищення його стійкості.

Для технології вакуумно-компресійного спікання стійкість пластин (як вихідних, так і після гартування) зафіксовано на одному рівні 25 хв – вона перевищує стійкість пластин після вакуумного спікання в 1,6 разу та гартованих – у 1,25 разу.

Для пластин, виготовлених за технологією вакуумно-компресійного спікання, стійкість становила 25 хвилин – як для вихідних, так і для загартованих. Вихід з ладу пластин відбувається через досягнення величини зносу по задній поверхні значення 0,59–0,63 мм, утворення мікросколів на різальній крайці розміром 0,10–0,15 мм та лунки зносу на передній поверхні глибиною 0,1–0,13 мм.

#### Обговорення результатів

Зменшення впливу гартування на мікропористість в структурі твердого сплаву ВК10-ОМ після метано-водневого середовища пов'язано з наявністю в ній залишкових газів [18].

Це є причиною збільшення пасивності твердого сплаву до адгезійної взаємодії різця з оброблюваним матеріалом.

Більший вплив гартування на зменшення залишкової мікропористості в зразку після вакуумного спікання є наслідком відсутності залишкових газів в його структурі. Відсутність залишкових газів в структурі після вакуумного спікання і призвело до збільшення взаємодії різця з оброблюваним матеріалом, про що свідчить утворення наросту і приварювання стружки на його передній поверхні.

Підвищена стійкість різця після ВКС зумовлена низькою залишковою мікропористістю. Це стало причиною відсутності впливу гартування на рівень пористості, фізико-механічних і експлуатаційних властивостей твердого сплаву, а також на механізми його зношуванні під час точіння з глибинами різання 0,5 і 1,0 мм

Істотна зміна структури, особливо поверхневого шару різця, після вакуумного спікання та гартування пояснюється так: після вакуумного спікання в об'ємі сплаву залишаються пори зі зниженим (на рівні тиску 70 Па) тиском газу. Після нагрівання у соляній ванні до температури 1350 °С (температура рідкофазного спікання) і витримки впродовж 15 хв та охолодженні у мастилі за атмосферного тиску відбувається різка зміна температури на поверхні різця. Це закономірно створює високі напруження стиску на поверхні за існування рідкої фази в середині зразка, в результаті чого зменшується залишкова мікропористість структури, особливо суттєва в поверхневому шарі різця. Крім того, поверхня різця насичується компонентами соляної ванни після нагрівання до 1350 °С і парами мастила після охолодження. Внаслідок цього зменшується адгезійна та хімічна активність сплаву до взаємодії з оброблюваним матеріалом.

### **Висновки**

1. Встановлено, що залишкова мікропористість зменшується, а фізико-механічні властивості і експлуатаційна стійкість в умовах напівчистового безперервного точіння сталі 45 збільшується у зразків, які спікались в ряду: метано-водневе середовище, вакуум і ВКС.

2. Встановлено, що гартування зразків зі сплаву ВК10-ОМ впливає так:

- після метано-водневого спікання зменшує ДЗ 0,3 до Д2 0,2, залишкову мікропористість і не впливає на адгезійне зношування різця;
- вакуумне спікання зменшує ВЗ 0,3 до А1 0,2, залишкову мікропористість в структурі на поверхні пластини, збільшує адгезійну пасивність сплаву до оброблюваного матеріалу і підвищує його експлуатаційну стійкість;
- ВКС не впливає на залишкову мікропористість в структурі, фізико-механічні властивості, як результат – відсутність зміни стійкості і механізмів зношування.

*Приведены результаты исследования влияния тушения на структуру, физико-механические и эксплуатационные свойства сплава ВК-ОМ после спекания в различных технологических условиях. Показано, что тушение уменьшает микропористость в структуре сплава и в большей степени увеличивает его физико-механические свойства на поверхности, чем в объеме образца, особенно в случае вакуумного спекания. Показано, что увеличение эксплуатационной устойчивости резцов после закалки в условиях непрерывной разливки стали 45 коррелирует с увеличением свойств сплава и уменьшением адгезионного взаимодействия его с обработанным материалом. Такелаж не влияет на остаточную микропористость, физико-механические и эксплуатационные свойства сплава после вакуумного обжатия при давлении газа до 2,5 МПа.*

**Ключевые слова:** *закаливание, метано-водородная спекания, вакуумное спекание, вакуумно-компрессионное спекания, адгезионное взаимодействие, абразивный износ.*



N. M. Prokopiv, O. V. Kharchenko

**THE INFLUENCE OF MAKING ON STRUCTURE, PHYSICAL-MECHANICAL  
AND OPERATIONAL PROPERTIES OF ALLOY VK10 OM**

*The results of the study of the effect of quenching on the structure, physical-mechanical and operational properties of the alloy VK10 OM after the sintering under different technological conditions are presented. It is shown that quenching reduces microporosity in the alloy structure and increases its physical and mechanical properties to a greater extent on the surface than in the sample volume, especially in the case of vacuum sintering. It is shown that increasing the operational stability of the incisors after the quenching in the conditions of continuous casting of steel 45 correlates with the increase of the properties of the alloy and the decrease of adhesive interaction of it to the treated material. The rigging does not affect the residual microporosity, physical-mechanical and operational properties of the alloy after vacuum-compression baking under pressure of gas up to 2.5 MPa.*

**Key words:** *quenching, methano-hydrogen sintering, vacuum sintering, vacuum-compression sintering, adhesion interaction, abrasive wear.*

**Література**

1. Schubert C. Feinstkornegefuge erhohen Belastbarkeit maderner Werkyeugwerkstoffe. – Vfschienenmarkt. – 1999 – 105. – N 12. – P. 62–65.
2. Фальковский В. А., Клячко Л. И., Хохлов А. М. Тенденции совершенствования твёрдых сплавов карбид вольфрама – кобальт // Цветные металлы. – 2000. – №5. – С. 112–114.
3. German R M. Liquid phase sintering. – N.Y. London: Plenum Press. 1985. – 240 p.
4. Прокопів Н. М., Бондаренко В. П., Харченко О. В., Цап И. В. Вплив умов спікання сплаву VK10 OM на кінетику й механізми зносу його в умовах чистого й ударного точіння // Матер. Наук.-техн. конф. «Інтерпартнер 2008». – 2008. – С. 312–327.
5. Прокопів М. М., Харченко О. В. Вплив відпалу у вакуумі сплаву VK10 OM, спеченого у метано-водневому середовищі, на його структуру, фізико-механічні властивості, кінетику та механізми зносу в умовах різання // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: Изд-во ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2009. – Вып. № 12. – С. 431–437.
6. Прокопів М. М., Харченко О. В., Ущатовський Ю. П. Вплив умов спікання на стійкість інструменту для наплавлення міді тертям з перемішуванням із сплавом групи WC-Co // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2015. – Вып. 18. – С. 494–499.
7. Панов В. С., Чувилин А. М. Технология и свойства спечённых твёрдых сплавов и изделий из них. Учебное пособие для вузов. – М.: МИСиС, 2001. – 428 с.
8. Туманов В. И., Гольдберг З. А., Чернышев В. В., Павлова З. И. Термостойкость сплавов карбид вольфрама – кобальт. // Порошковая металлургия. – 1966. – № 10. – С.71–76.
9. Клочко Н.А., Херсонский А.К. Исследование влияния термической обработки на напряжённое состояние и свойства изделий из спечённых твёрдых сплавов WC-Co / Основы технологии пайки и термообработки твердосплавного инструмента: Сб. науч. трудов. – М.: Металлургия, 1981. – С. 56–60.
10. Лошак М. Г., Александрова Л. И. Упрочнение твердых сплавов – К.: Наукова думка, 1977. – С.123–126.



11. Третьяков В. И. Основы металловедения и технологии производства спеченных твёрдых сплавов – М.: Металлургия, 1976. – 528 с.
12. Бондаренко В. П. Павлоцкая Э. Г. Спекание твердых сплавов в прецизионно контролируемой газовой среде. – Киев: Наук.думка, 1995. – 201 с.
13. Фальковский В. А., Клячко Л. И. Твердые сплавы. – М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2005. – 416 с.
14. Харченко О. В. Визначення ефективних тисків азоту при спіканні дрібнозернистих інструментальних твердих сплавів WC-Co з підвищеною зносостійкістю: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.01 / НАН України, Ін-т надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля. – Київ: – 2014. – 20 с.
15. Панов В. С., Чувилин А. М., Фальковский В. А. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них. – М.: МИСиС, 2004. – 464 с.
16. Трент Е. М. Резание металлов. – М.: Машиностроение, 1980. – 263 с.
17. Термодесорбционная очистка твердых сплавов после спекания в газовых средах / Н. М. Прокопів, О. В. Харченко, Э. С. Геворкян, и др. // Сучасні технології в машинобудуванні. – 2012. – Вип. № 7. – С. 112–121.

Надійшла 18.06.18

### References

1. Schubert, C. (1999). Feinstkornegefuge erhohen Belastbarkeit maderner Werkzeugewerkstoffe. *Vfschienenmarkt. Vol. 105, 12*, 62–65.
2. Falkovsky, V. A., Klyachko, L. I., & Khoklov, A. M. (2000) Tendentsii sovershenstvovaniya tverdukh splyavov karbid wolframa – kobalt [Tendencies of perfection of solid alloys of tungsten carbide - cobalt]. *Zvetnye metally – Non-ferrous metals*, 5, 112–114 [in Russian].
3. German R. M. (1985). *Liquid phase sintering*. – N.Y. London: Plenum Press.
4. Prokopiv, N. M., Bondarenko, V. P., Kharchenko, & O. V., Tsap, I. V. (2008). Vplyv umov spikannia splavu VK10 OM na kinetyku i mekhanizmy znosu yoho v umovakh chystovoho i udarnoho tochinnia [Influence of the conditions of sintering of the alloy VK10 OM on the kinetics and mechanisms of its wear in conditions of finishing and impacting sharpening] Proceedings from Interpartner '08: *Nauchnotekhnicheskaiia konferentsiia – Technical sciences conf.* (pp. 312–327) [in Ukrainian].
5. Prokopiv, M. M., & Kharchenko, O. V. (2009) Vplyv vidpalu u vakuumi splavu VK10 OM, spechenoho u metano-vodnevomu seredovyshchi, na yoho strukturu, fizyko-mekhanichni vlastyivosti, kinetyku ta mekhanizmy znosu v umovakh rizannia [Influence of annealing in the vacuum of the alloy VK10 OM, sintered in the methane-hydrogen environment, on its structure, physical and mechanical properties, kinetics and mechanisms of wear under cutting conditions] *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. 12*, 431–437 [in Ukrainian]
6. Prokopiv, M. M., Kharchenko, O. V., & Uschapovsky, Yu. P. (2015) Vplyv umov spikannia na stiykist instrumentu dlya naplavlennya midi tertyam z peremishuvanniam iz splavu hrupy WC-Co [Influence of the sintering conditions on the stability of the instrument for welding the copper to friction with the mixing from the alloy of the group WC-Co] *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. 18, 494–499 [in Ukrainian].*
7. Panov, V. S., & Chuvilin, A. M. (2001) *Tekhnologiya i svoystva spechennykh tvordykh splavov i izdeliy iz nikh. [Technology and properties of sintered solid alloys and products from them.]* Moscow: MISiS [in Russian].
  8. Tumanov, V. I., Goldberg, Z. A., Chernyshev, V. V., & Pavlova Z. I. (1996) Termostoikost splavov karbid volframa – kobalt [Technology and properties of sintered solid alloys and products from them.] *Powder Metallurgy, 10, 71–76 [in Russian].*
  9. Klochko, O. N., & Khersonskii, A. K (1981) Issledovanie vliianiia termicheskoi obrabotki na napriazhonnoe sostoyanie i svoystva izdelii iz spechennykh tvordykh splavov WC–Co [Investigation of the influence of thermal treatment on the stress state and properties of products from sintered solid alloys WC–Co]. *Osnovy tekhnologii paiki i termooobrabotki tverdospлавного instrumenta – Fundamentals of the technology of soldering and heat treatment of a carbide tool.* (pp. 56–60). – Moscow: Metallurhia [in Russian].
  10. Loshak, M. G., & Alexandrova, L. I. (1977). *Uprochnenie tvordykh splavov [Hardening of hard alloys]*. (pp.123–126). Kiev: Naukova dumka [in Russian].
  11. Tretiakov, V. I. (1976). *Osnovy metallovedeniia i tekhnologii proizvodstva spechennykh tvordykh splavov [Fundamentals of metallurgy and technology of the production of sintered solid alloys]*. Moscow: Metallurhia [in Russian].
  12. Bondarenko, V. P., & Pavlotskaya, E. G. (1995) *Spekanie tvordykh splavov v pretsizionno kontroliruemoi gazovoi srede. [Sintering of solid alloys in a precisely controlled gas atmosphere]*. Kiev: Naukova dumka [in Russian].
  13. Falkovskii, V. A., & Crumble, L. I. (2005). *Tverdye splavy [Solid Alloys]*. Moscow: Publishing House «Rud and Metals» [in Russian].
  14. Kharchenko, O. V. (2014). Vyznachennya efektyvnykh tyskiv azotu pry spikanni dribnozernystykh instrumental'nykh tvordykh splaviv WC–Co z pidvyshchenoiu znosostiikistiu [Determination of effective nitrogen pressures during the sintering of fine-grained instrumental solid alloys WC-Co with increased wear resistance] *Extended abstract of candidate's thesis: Kyiv.* [In Ukrainian].
  15. Panov, V. S, Chuvilin, A. M, & Falkovskii, V. A (2004) *Tekhnologiya i svoystva spechennykh tvordykh splavov i izdeliy iz nikh. [Technology and properties of sintered solid alloys and products from them]*. Moscow: MISiS [in Russian].
  16. Trent, E. M. (1980) *Rezanie metallov [Cutting of metals]*. Moscow: Mashinostroenie.
  17. Prokopiv, M. M., Kharchenko, O. V., Gevorgyan, E. S., et al. (2012) Termodesorbtsionnaia ochildka tvordykh splavov posle spekaniia v gazovykh sredakh. [Thermodesorption cleaning of solid alloys after sintering in gas media]. *Suchasni tekhnologii v mashinibuduvanni – Modern technologies in mechanical engineering, Vol. 7 112–121 [in Russian].*