

Отже високу коерцитивну силу сплаву ВК6ОМ можна забезпечити збільшенням тривалості розмелювання до 200 год Для забезпечення вищої тріщиностійкості K_{1C} необхідно зменшити тривалість розмелювання до 140 год.

Висновки

1. Встановлено, що для виготовлення твердосплавних пуансонів типу «куб зі зрізом» доцільно використовувати дрібно- та середньозернисті тверді сплави з 6 % кобальтової зв'язки.
2. Легування карбідом ванадію (0,2 % за масою) за тривалого розмелювання дає змогу отримати тверді сплави з іншим співвідношенням фізико-механічних характеристик, ніж без легування.
3. Оптимальна тривалість розмелювання – 140–200 годин. Змінюючи її, можна коригувати співвідношення коерцитивної сили H_{CM} , тріщиностійкості K_{1C} та межі міцності при стисканні R_{cm} .
4. Оптимальні склад і структура твердого сплаву можна визначити випробуваннями багатопуансонного АВТ.

Исследованы условия эксплуатации и технологические особенности изготовления кубических пуансонов из сплавов WC + 6 % Co для многопуансонного аппарата высокого давления. Показана возможность использования размола в течение 140–200 ч и легирования карбидом ванадия сплава WC + 6 % Co для приготовления твердых сплавов с заданным соотношением физико-механических характеристик.

Ключевые слова: твердый сплав, кубический пуансон, аппарат высокого давления.

Studied were the operating conditions and process features of making cubic punches from WC + 6 % Co hard alloy for a multiple-anvil high pressure apparatus. The possibility to use the prolonged grinding 140–200 and alloying the WC + 6 % Co alloy with vanadium carbide for producing fine-grained hard alloys with a given ratio of physico-mechanical characteristics was shown.

Key words: hard alloy, cubic punch, high pressure apparatus.

Література

1. Бондаренко В.П., Ботвинко В.П., Мошкун В.Ф. Влияние микродобавок карбидов хрома Cr₃C₂ и ванадия VC на свойства твердого сплава ВК6Р для матриц аппаратов высокого давления // Породо-разрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Тез. докл. конф. – Киев: Изд-во ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2004. – С. 249.
2. Бондаренко В.П. Современные тенденции в развитии производства и научных исследований в области твердых сплавов на Украине/Под общей ред. акад. НАН Украины Н.В. Новикова // Современные спеченные твердые сплавы: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2008. – С. 38–83.

Надійшла 27.05.11

УДК 669.018.25

В. П. Бондаренко, член-кор. НАН України, **І. В. Андрєєв**, канд. техн. наук,
Л. М. Мартинова, канд. хім. наук, **Н. В. Литошенко**, канд. техн. наук,
І. А. Свєшніков, д-р техн. наук, **С. Д. Заболотний**

Институт надтвердых материалов им. В. М. Бакуля НАН Украины, м. Київ

ВПЛИВ УМОВ СПІКАННЯ НА ВЛАСТИВОСТІ ТА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ РЕГЕНЕРОВАНИХ ТВЕРДИХ СПЛАВІВ ПРИ РІЗАННІ ПІСКОВИКА

Розглянуто вплив умов спікання на фізико-механічні та експлуатаційні властивості регенерованих твердих сплавів з різним вмістом кобальту, що використовуються при виготовленні інструменту для різання пісковика. Встановлено, регенерований твердий сплав з вмістом кобальту 8 % (по масі) має показник зносостійкості на рівні серійного сплаву і рекомендується для виготовлення інструменту в якості елементів різців гірничих комбайнів.

Ключові слова: регенеровані тверді сплави, спікання, опір.

Регенеровані тверді сплави отримані термохімічним способом знаходять нині широке застосування в машинобудуванні (пари тертя, що змащуються малов'язкими рідинами), твердотільних апаратах високого тиску, витяжних штампах, дискових і гільйотинних ножах, металообробному інструменті та інструменті для руйнування гірських порід у вугільних регіонах України.

Попередніми дослідженнями встановлено [1–3], що на структуру і фізико-механічні властивості регенованих твердих сплавів впливають не лише способи переробки сировини, а й умови розмелу сумішей та виготовлення спечених заготовок. Серед них найбільший вплив мають зміна стану карбіду вольфраму в процесі регенерації, розмел продукту регенерації, умови спікання. Тому пошук підвищення якості регенованих твердих сплавів є актуальним і тепер.

Метою даної роботи є встановлення впливу умов спікання на фізико-механічні та експлуатаційні властивості регенованих твердих сплавів з різним вмістом кобальту, що використовуються при виготовленні інструменту для руйнування гірських порід.

Для проведення досліджень використовували регеновані тверді сплави з різним вмістом кобальту: 6 та 8 % (по масі), отримані шляхом переробки відходів твердих сплавів термохімічним безсажовим методом [1] в ДНВП «Алкон-твердосплав», які порівнювали із серійними сплавами таких самих марок сплавів виробництва ВАТ «КЗТС» (м. Кіровоград, Росія) [2].

Методика експерименту

З дослідних партій було спресовано стандартні зразки, які спочатку нормалізували при температурі 1050-1070 °С [4], а потім спікали при стандартній та підвищеній температурах з метою отримання у сплаві менш дефектних крупних зерен карбіду вольфраму. Температурні режими спікання наступні: для сплавів ВК6 і ВК6Р – 1470 °С та 1500 °С; сплавів ВК8 і ВК8Р – 1450 °С та 1500 °С. Швидкість просування контейнера становила 5,6 мм/хв. На спечених зразках визначали нормативні фізико-механічні властивості, деформаційні характеристики, ударну в'язкість, тріщиностійкість, а також здійснили комплексний металографічний аналіз зразків сплавів.

Знімки структури спечених твердих сплавів отримували за допомогою растрового електронного мікроскопу ZEISS EVO 50XVP з використанням фазочутливого детектора відбитих електронів CZ BSD при 5000-кратному збільшенні. Зображення одержувалися на шліфах, що попередньо піддавалися стандартній металографічній обробці. Розглядалися два поля зору, які вибиралися випадковим чином. Визначення мікроструктурних параметрів отриманих сплавів ґрунтувалося на стандартизованому лінійному методі [5]. Обчислювали кількість карбідних зерен NWC та кобальтових включень NCo, коефіцієнт суміжності карбідних зерен C, питомі площі міжзеренної та міжфазової поверхонь, а також середній розмір зерен WC та кобальтових прошарків, коефіцієнт варіації розмірів карбідної фази V [6].

Крім стандартних методик визначення характеристик спечених сплавів, описаних вище, було розроблено спеціальну методику визначення зносостійкості зразків твердих сплавів. Випробування здійснювали на стенді, виготовленому на базі поперечно-стругального верстату (рис. 1).

При різанні еталонних зразків пісковиків критерієм зносостійкості сплаву взяли ширину площадки зносу на задній грані зразків твердого сплаву. Чим площадка зносу більша, тим зносостійкість менша. Розмір зразків – 5×5×17 мм. Подача, глибина, швидкість і шлях різання встановлювалися експериментально. Ширину площадки зносу вимірювали на інструментальному мікроскопі з точністю до 0,01 мм. Порівняння результатів проводили зі зразками серійних сплавів марок ВК8 та ВК6, які відповідали допустимій зносостійкості цих сплавів при різанні еталонного зразка пісковика. Крім ширини площадки зносу фіксували наявність сколів, викришувань, руйнування зразка.

Результати та їх обговорення

В результаті аналізу результатів дослідження впливу температурного режиму спікання регенованих та серійних твердих сплавів на стан структури сплавів, їх пористість, механічні та деформаційні характеристики (табл. 1, 2), встановлено лінійні та нелінійні залежності механічних показників від вмісту кобальту в сплаві, зміни темпера-

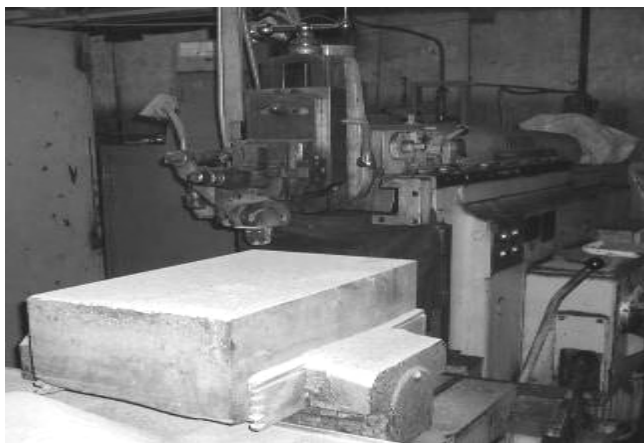


Рис.1. Загальний вигляд стенду на базі поперечно-стругального верстату 7В36 для випробування твердих сплавів на зносостійкість

турних режимів спікання, розміру зерен WC, структури, а також взаємозалежності механічних характеристик.

Так, для регенованого сплаву BK6P при зростанні температури спікання від 1470 °С до 1500 °С спостерігається підвищення границі міцності $R_{\text{вм}}$ до 12 % з 1400 до 1570 МПа. Густина зразків після спікання знаходилася в межах технічних вимог – 14,6–15,0 г/см³. Границя міцності при стиску $R_{\text{см}}$, яка характеризує в деякій мірі пластичність сплаву, для BK6P, спеченого при температурі 1500 °С становить 3565 МПа, що на 13 % перевищує цей показник сплаву, спеченого при температурі 1470 °С, який становив 3010 МПа.

По даним різних досліджень [3, 7] максимальні значення $R_{\text{см}}$ мають сплави з вмістом кобальту 4–6 % (по масі). В даній роботі $R_{\text{см}}$ досягає 4200–4300 МПа для сплавів BK8P, що знаходиться на рівні цього показника сплаву BK6. Нами була визначено ударну в'язкість ($K \cdot 10^{-4}$ Дж/м²), яка є критерієм як міцності, так і пластичності сплавів. За результатами окремих досліджень [3, 7] ударна в'язкість підвищується зі збільшенням вмісту кобальту та із підвищенням температури спікання (див. табл. 1). Для сплаву BK6P після спікання сформувалася середньозерниста структура (рис. 2 в, з), пористість сплаву становила < 0,2 % (по об'єму). Металографічними дослідженнями показано, що зміна розміру зерна WC обумовлюється зміною температури спікання. Після спікання при 1500 °С окремі зерна карбіду WC виростають до 50 мкм. Фаза η_1 відсутня. Для серійних сплавів BK6 теж помічено зміну властивостей і збільшення розміру окремих зерен WC до 45 мкм з підвищенням температури до 1500 °С, але середній розмір зерна не змінився.

Суттєві підвищення K_{IC} до 8 %, $R_{\text{вм}}$ та $R_{\text{см}}$ до 10 % мали місце для сплаву BK8P, спеченого за температури 1500 °С, в порівнянні з технічними вимогами. У сплаві BK8P пористість становила близько 0,2 % (по об'єму), вміст графіту – 0,2 % (по об'єму), η_1 – фаза відсутня. Сформувалася середньозерниста структура (рис. 3 в, з). Як видно з табл. 2, середні значення структурних параметрів регенованих та серійних сплавів різних марок, спечених при однакових умовах, відрізняються не суттєво. Як видно з табл. 2, середні значення структурних параметрів регенованих та серійних сплавів різних марок, спечених при однакових умовах, відрізняються не суттєво.

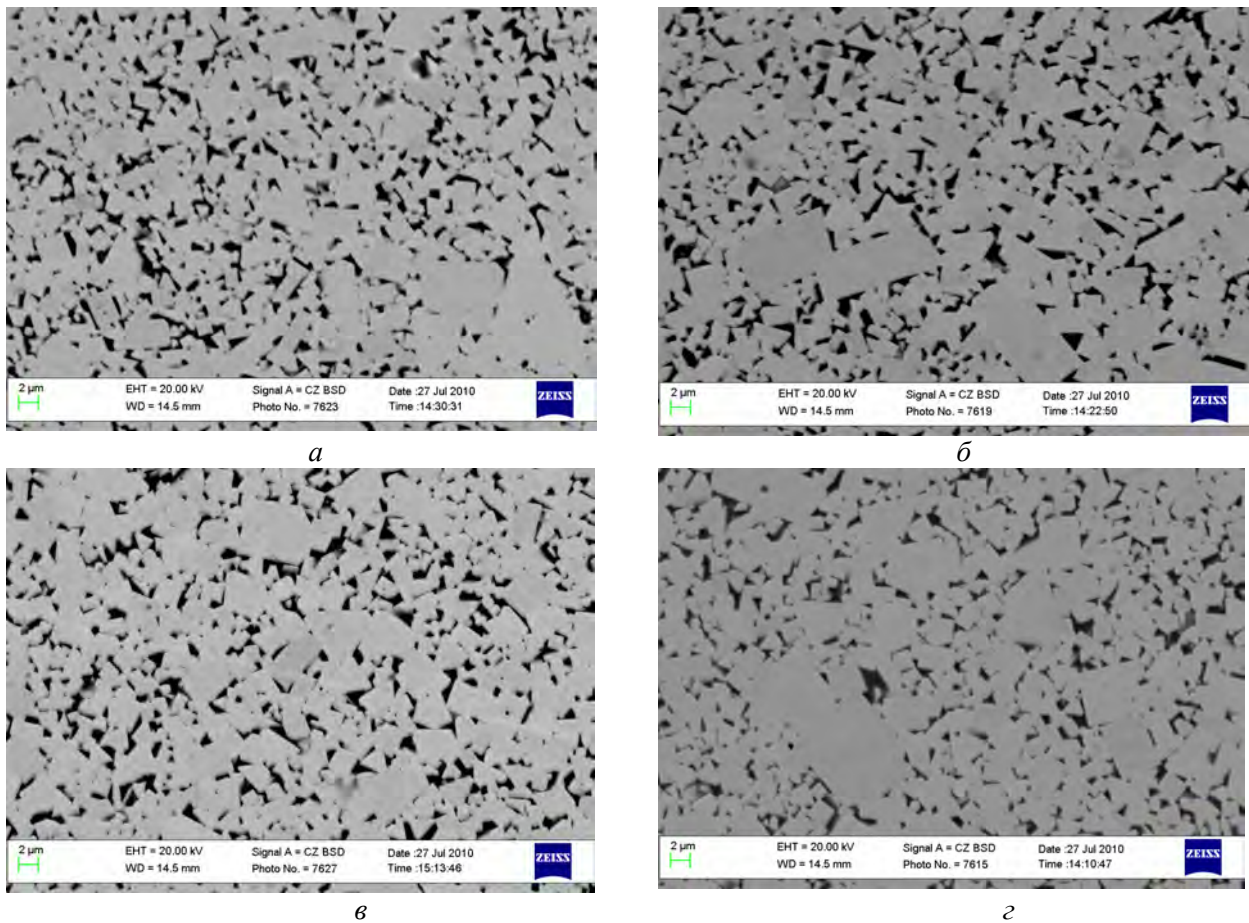


Рис. 2. Структури серійних (а, б) та регенованих (в, з) твердих сплавів з вмістом Со 6 % (по масі), спечених при різних температурах: 1470 °С (а, в) та 1500 °С (б, з), збільшення $\times 5000$

Для сплавів з вмістом Со 6–8 % (по масі) із підвищенням температури спікання збільшується величина K_{1C} , твердість та тріщиностійкість корелюють з величинами серійних сплавів, значення K , R_{bm} та R_{cm} – вищі у серійних сплавах.

Імовірно, це пов'язано з тим, що при отриманні карбіду WC методом відновлення-карбідизації продуктів окислення метановодневою газовою сумішшю в частинках WC виникають дефекти субмікрорівня, які визначаються нанодюрметричним методом. Зазначеним методом побудовано діаграми наноіндентування зерен карбідної фази в сплавах ВК6Р та ВК6. При цьому обиралися зерна, що мають однаковий розмір та форму перетину на шліфі досліджуваних сплавів. При порівнянні діаграм (рис. 4), виявлено більшу кількість сходинок (провалів індентора) на діаграмах сплаву ВК6Р, що може бути наслідком утворення мікротріщин та призводити до інтенсивнішого руйнування регенованого сплаву. При цьому встановлено, що значення відношення роботи пластичної деформації до роботи повної деформації при проникненні індентора в сплав ВК6 та ВК6Р практично співпадають.

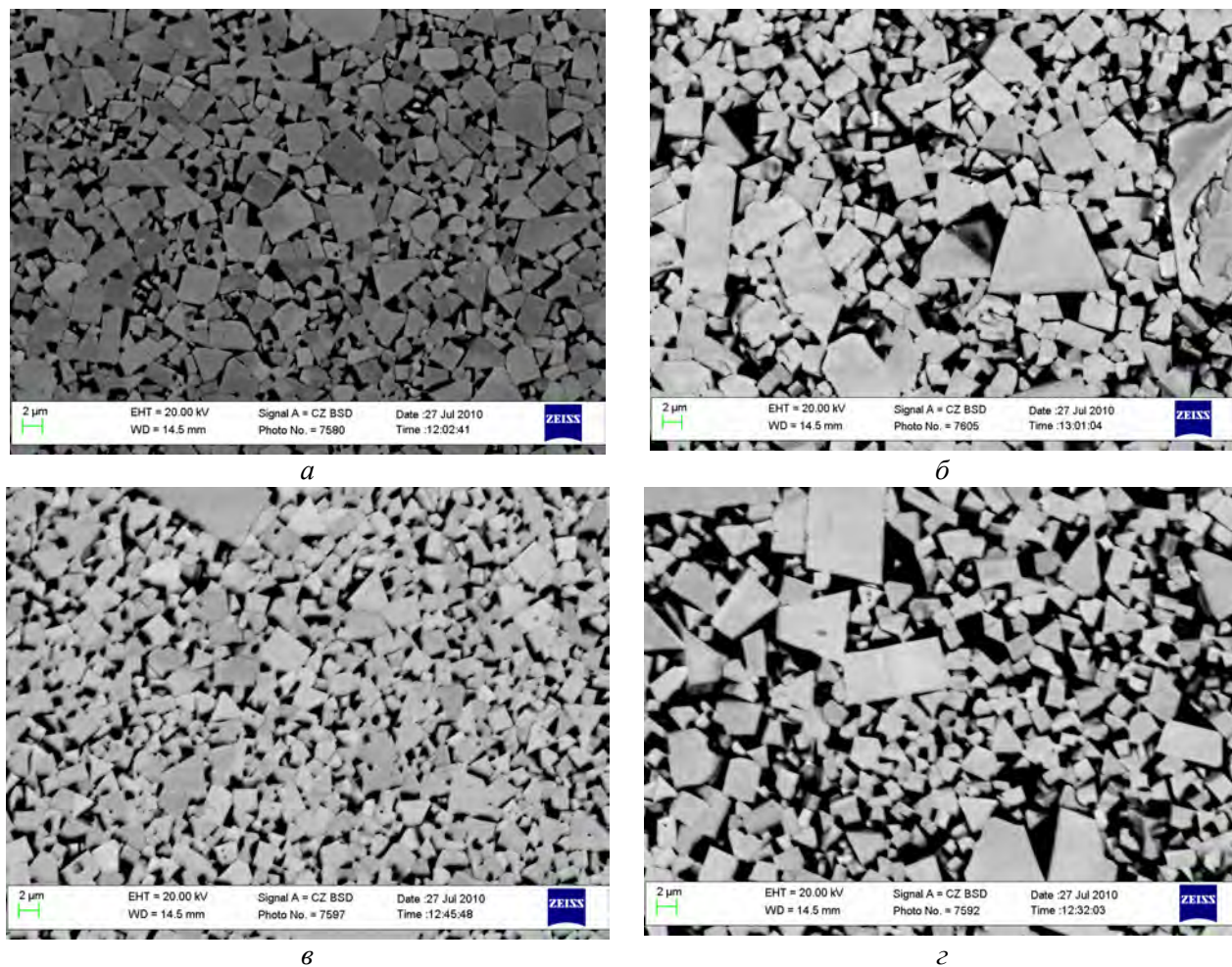
Таблиця 1. Фізико-механічні характеристики спечених твердих сплавів

Марка сплаву	Температура спікання, °С	Фізико-механічні властивості						
		Густина ρ , г/см ³	Коерцитивна сила H_c , кА/м	Твердість НРА	Границя міцності при згині R_{bm} , МПа	Ударна в'язкість $K \cdot 10^{-4}$, Дж/м ²	Тріщиностійкість K_{1C} , МПа·м ^{1/2}	Границя міцності при стику R_{cm} , МПа
ВК6	1470	14,86	11,0	89,1	1880	2,9	13,6	4194
	1500	14,80	10,0	88,9	1996	3,0	14,9	3465
ВК6Р	1470	14,82	10,7	89,1	1400	3,7	13,7	3010
	1500	14,86	10,0	89,0	1570	4,1	14,5	3565
ВК8	1450	14,71	9,3	89,1	1953	2,7	14,8	4310
	1500	14,64	8,0	88,3	2113	3,3	17,3	3828
ВК8Р	1450	14,45	10,7	89,0	1923	3,1	14,5	4070
	1500	14,43	9,2	88,5	2090	3,2	15,9	4192

Таблиця 2. Структурні параметри твердих сплавів, спечених при різних температурах

Марка сплаву	T_{en} , °С	N_{wc}	N_{Co}	\bar{d}_{wc} , мкм	\bar{l}_{Co} , мкм	V	C	S_{wc-wc} , мкм ⁻¹	S_{wc-Co} , мкм ⁻¹
ВК6	1470	1095	445	1,95	0,53	1,52	0,59	0,54	0,75
	1500	841	416	2,11	0,56	1,59	0,58	0,49	0,72
ВК6Р	1470	1067	432	1,98	0,54	1,52	0,59	0,54	0,75
	1500	1029	384	2,01	0,60	1,26	0,63	0,56	0,66
ВК8	1450	1113	551	1,80	0,54	1,59	0,50	0,48	0,97
	1500	909	469	2,30	0,66	1,69	0,48	0,36	0,76
ВК8Р	1450	886	553	1,66	0,54	1,37	0,54	0,57	0,96
	1500	1230	568	2,33	0,55	2,20	0,37	0,28	0,94

При визначенні зносостійкості сплавів основним критерієм в даній роботі була ширина площадки зносу на задній грані зразків твердого сплаву при різанні зразка пісковика. Зносостійкість серійних та регенованих сплавів відрізнялись неістотно. Так, серійний сплав ВК6 та регенований ВК6Р мають наступні ширину площадки зносу в мм: 0,58 та 0,68; серійний сплав ВК8 та регенований ВК8Р – 0,65 і 0,64 (рис. 5). Такого ж порядку значення зносостійкості мають тверді сплави фірми «Kennametal» (США). З отриманих даних видно, що регеновані сплави перелічених марок мають дещо нижчу зносостійкість. Основними показниками якості твердого сплаву, який використовується при виготовленні інструменту, придатного для різання пісковика є границя міцності на згин та стиск. Чим вище їх міцність, тим більша зносостійкість сплавів (див. табл. 1, рис. 5).



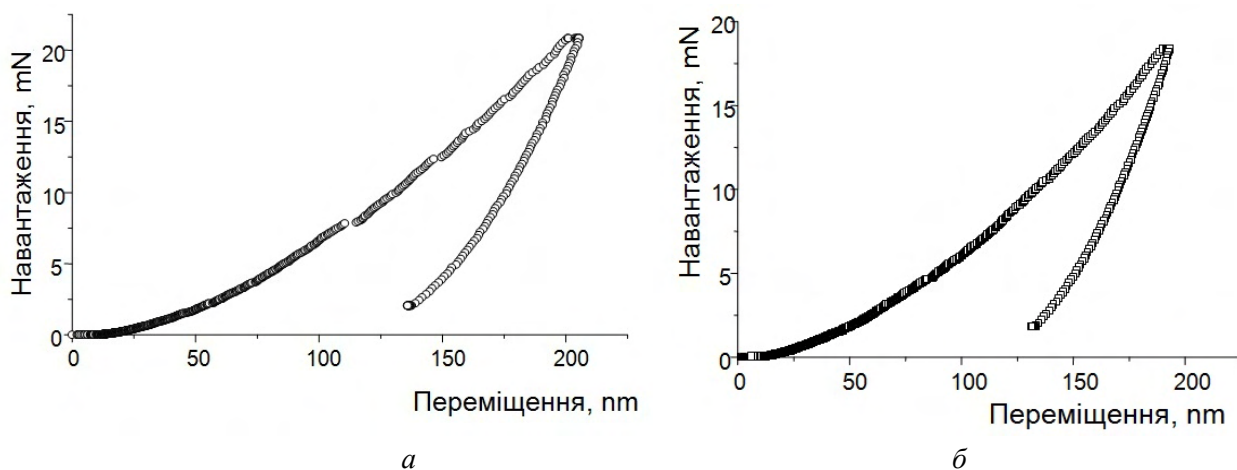
а

б

в

г

Рис. 3. Структури серійних (а, б) та регенованих (в, г) твердих сплавів з 8 % Со (по масі), спечених при різних температурах: 1450 °С (а, в) та 1500 °С (б, г), збільшення $\times 5000$



а

б

Рис.4. Діаграми наноіндентування сплавів ВК6Р (а) і ВК6(б)

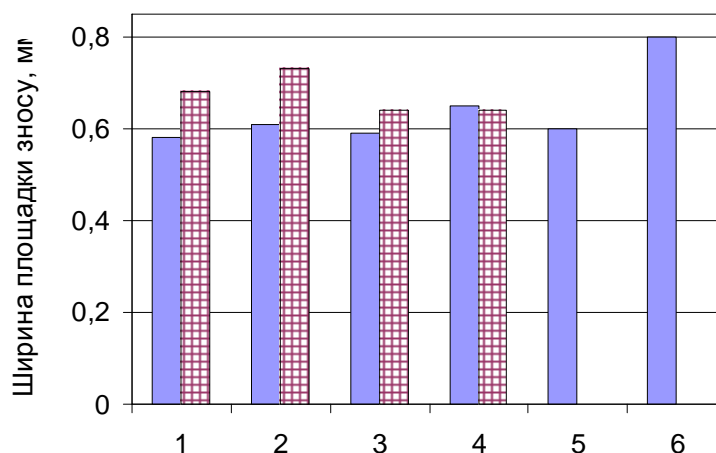


Рис. 5. Результаты випробувань зразків твердого сплаву на зносостійкість: 1 – ВК6 (1470 °С), 2 – ВК8 і (1450 °С), 3 – ВК6 (1500 °С), 4 – ВК8 (1470 °С), 5 – К3012Е (6% Со), 6 – К3406 (8% Со); ■ – серійний твердий сплав, ▨ – регенований твердий сплав

Висновки

На підставі комплексних досліджень впливу умов спікання на формування фізико-механічних та експлуатаційних (зносостійкості) характеристик досліджуваних твердих сплавів з різним вмістом Со, можна зробити наступні висновки:

1. Виявлено підвищення границі міцності сплавів при згині $R_{\text{вм}}$ для всіх досліджувальних регенованих сплавів на 12–15 % та границі міцності при стиску $R_{\text{см}}$ – до 10–13 %; ударної в'язкості – 12%; K_{1c} – до 8 % за практично незмінної твердості при підвищенні температури спікання до 50 °С. При цьому відмічено зростання розміру зерен карбиду вольфраму при підвищених температурах – 1500 °С – для ВК6Р до 3,0 мкм; ВК8Р до 2,0 мкм.

2. Результати нанодюрOMETричного дослідження сплавів марок ВК6 та ВК6Р виявили більшу кількість сходинок (провалів індентора) на діаграмах сплаву ВК6Р, що може бути обумовлено утворенням мікротріщин і призводити до зниження фізико-механічних властивостей регенованих твердих сплавів.

3. Результати випробування регенованих твердих сплавів на зносостійкість показали, що сплав із вмістом Со 8 % (по масі) має зносостійкість на рівні серійного сплаву і може використовуватись у відповідному породоруйнівному інструменті в якості вставок для різців гірничих комбайнів.

Исследовано влияние условий спекания на физико-механические и эксплуатационные свойства регенированных твердых сплавов с разным содержанием кобальта, которые используются при изготовлении инструмента для резания песчаника. Установлено, что регенированный твердый сплав с содержанием кобальта 8 % (по массе) имеет показатель износостойкости на уровне серийного сплава и рекомендуется для изготовления инструмента в качестве элементов резцов горных комбайнов.

Ключевые слова: регенированные твердые сплавы, спекание, сопротивление.

Influence of conditions of sintering on physic-mechanical and operational properties of the recycled cemented carbide with the different maintenance of cobalt which are used at manufacturing of the tool for sandstone cutting is investigated. It is established, that the recycled cemented carbide with the maintenance of cobalt of 8 % (on weight) has a wear resistance indicator at level of a serial alloy and it is recommended for manufacturing of the tool as elements of cutters of cutting loading machines.

Key words: recycled cemented carbide, sintering, resistance.

Література

1. Патент 2624, Україна, МПК В22 Г9/16, с. 22, В 7/00. Спосіб переробки вольфрамокобальтових твердих сплавів/ В.П. Бондаренко, Е.Г. Павлоцька, Л.М. Мартинова та ін. – Опубл. 26.12.94, Бюл. № 5–1. – С. 285.
2. Регенированные твердосплавные смеси, полученные разными методами переработки техногенного сырья / Бондаренко В.П., Мартинова Л.М., Сытник А.А. и др. // Породоразрушающий

- и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – Вып. 11. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2008. – С. 320–327.
3. Панов В.С., Чувилин А.М. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них. Учеб. пособие для вузов. – М.: МИСИС, 2001. – 428 с.
 4. Бондаренко В.П., Павлоцкая Е.Г. Спекание вольфрамовых твердых сплавов в прецизионно контролируемой газовой среде. – К.: Наук. думка, 1995. – 202 с.
 5. A straightforward method for analyzing the grain-size distribution in WC-Co hardmetals / Brieseck M., Gneis B., Wagner K., et. Al. // 17-th Plansee Seminar. – Tyrol, Austr. – 2009. – P. AT13/1–9.
 6. Литошенко Н.В. Закономірність впливу залишкових термічних мікронапружень та дисперсний розмір карбідних зерен на деформаційні характеристики твердих сплавів WC-Co”. Автореф. Дис. – К.: ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, 2002.
 7. Третьяков В.И. Основы металловедения и технологии производства спеченных твердых сплавов. – М.: Металлургия, 1976. – 528 с.

Надійшла 06.06.11

УДК 669.017.112:669.27

І. В. Савчук, І. В. Андреев, канд. техн. наук

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

ПРО ПРОЦЕС ФОРМУВАННЯ СКЛАДНОГО КАРБІДУ (Ti,W)C МЕТОДОМ ГАЗОФАЗНОГО СИНТЕЗУ

Розглянуто деякі аспекти ходу процесу формування твердого розчину (Ti,W)C шляхом його синтезу в метановодневому газовому середовищі за технологічно прийнятний час.

Ключові слова: *твердий розчин (Ti, W) C, синтез, метан-водневе газове середовище.*

У практиці виробництва твердих сплавів групи ТК, які виготовляють шляхом спікання твердо-сплавних сумішей, що складаються з карбідів WC і (Ti,W)C та кобальтової зв'язки, застосовують метод твердофазного вуглецювання (сажею) твердого розчину карбіду вольфраму в карбіді титану (Ti,W)C. Цей спосіб широко застосовують у світовій твердосплавній промисловості [1]. Проте, відомо, що твердий розчин (Ti,W)C, який традиційно синтезують у середовищі водню з шихти $TiO_2 + WC + \text{сажа}$, має дефіцит зв'язаного вуглецю до 1 % (за масою) і може містити до 1 % (за масою) вільного вуглецю [2], що при спіканні твердого сплаву призводить до появи в його структурі вільного вуглецю і відповідно погіршення фізико-механічних та експлуатаційних властивостей сплавів, особливо при їх використанні в металообробному інструменті [3].

У [4, 5] представлено новий метод отримання високоякісного твердого розчину (Ti,W)C шляхом газофазного вуглецювання. У якості газофазного карбюризатора використовували метановодневе газове середовище з прецизійно контрольованим вуглецевим потенціалом. Такий спосіб синтезу дозволяє на порядок знизити вміст вільного вуглецю в твердому розчині та за рахунок заміни певної частки TiO_2 вихідної шихти ($WC + TiO_2$) на порошки Ti і TiC підвищити до 0,96–0,99 % (від стехіометричного значення) кількість зв'язаного вуглецю в порівнянні з 0,90–0,92 % (від стехіометричного значення) з твердим розчином, який отримано за традиційною технологією. Крім того, твердий розчин (Ti,W)C, одержаний газофазним методом, містив у 10 разів менше кисню і вдвічі менше домішок азоту, ніж (Ti,W)C, одержаний сажевим методом у водневому середовищі. Використання якісного твердого розчину (Ti,W)C для виробництва твердих сплавів підвищує фізико-механічні характеристики твердих сплавів насамперед за рахунок оптимізації вмісту вуглецю в кінцевому спеченому матеріалі [6].

Таким чином, проблема підвищення якості твердого розчину доволі актуальна. Використання газофазного карбюризатора сприяло розв'язанню проблеми дефіциту зв'язаного та надлишку вільного вуглецю у твердому розчині. Проте дослідження по вивченню механізмів, що відбуваються при утворенні складного карбіду (Ti,W)C шляхом синтезу його у метановодневому газовому середовищі, не проводилися. З огляду на викладене, мета цієї роботи – вивчити механізми утворення та дослідити хід процесу формування твердого розчину (Ti,W)C, одержуваного методом газофазного вуглецювання за технологічно прийнятний час.