

Приведены результаты исследований термокомпрессионной обработки (ТКО) при оптимальных параметрах серийных съемных и напаянных режущих пластин из твердого сплава T5K10 что обеспечивает увеличение в 1,3-1,6 раз показатели качества при обработке отливок заготовок деталей платформ железнодорожных вагонов.

**Ключевые слова:** режущая пластина, сплав T5K10, термокомпрессионная обработка.

#### **METALIZER TOOL FOR SOLID ALLOYS T5K10 – NEW QUALITY**

The results of researches of thermocompressive treatment (TCO) with the optimum parameters of serial removable and nailed cutting plates from solid alloy T5K10 are presented, which provides an increase in quality of 1.3 to 1.6 times in the processing of castings of workpieces of parts of platforms of railway cars.

**Key words:** cutting plate, alloy T5K10, thermocompression treatment.

#### **Література**

1. Верещак А. С., Третьяков И. П. Режущие инструменты с износостойкими покрытиями. – М.: Машиностроение, 1986. – 192 с.
2. Эксплуатационные и механические свойства титановых твердых сплавов с 8% кобальта при разных карбидных составляющих сплава. / В. С. Михайлов, О. И. Эйдук, Л. И. Клячко, В. А. Фальковский // Цветные металлы. – 2000. – № 11-12. – С. 103–106.
3. Фальковский В. А., Клячко Л. И., Михайлов В. С. Исследование малотитановых сплавов для резания сталей для подгрупп применения P20–P30 ISO // Цветные металлы. – 2003. – № 8-9. – С. 101–105.
4. Бондаренко В. П., Прокопів Н. М., Харченко О. В. Термокомпрессионная обработка твердых сплавов // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения : Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2004. – Вып. 7. – С. 252–256.

Надійшла 07.07.17

УДК 669.018.25

**В. П. Ботвинко**, канд. техн. наук

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

#### **ВПЛИВ ЛЕГУЮЧИХ МІКРОДОБАВОК VC, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> НА СТРУКТУРУ ТА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТВЕРДОГО СПЛАВУ VK6**

Досліджено вплив технологічних чинників на структуру, фізико-механічні та експлуатаційні властивості сплаву VK6, легovanого карбідами VC та Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>. Визначено оптимальні технологічні режими спікання для виготовлення сплавів VK6 з поліпшеними фізико-механічними властивостями та структурою.

**Ключові слова:** твердий сплав, матриця апарата високого тиску, легування, карбідний скелет.

#### **Вступ**

Пуансоны та матриці апаратів високого тиску (АВТ) при експлуатації витримують високі нерівномірно розподілені за об'ємом періодичні термомеханічні навантаження. Тиск у центрі АВТ становить 4–10 ГПа, температура–1200–2500 °С. Для виготовлення матриць та

пуансонів АВТ використовують тверді сплави ВК6, ВК8. Найвисокіші напруження стискання витримує твердий сплав ВК6 з розміром зерен WC  $\sim 2,0$  мкм. Проте міцність при згинанні та гранична пластична деформація більші для сплаву ВК8. При легуванні збільшується межа плинності кобальтової зв'язки, міцність міжфазних границь, площа і якість міжкарбідних границь, удосконалюються форма і розмір зерен WC, кобальтових прошарків. [1–4]. У тому зв'язку розроблення нових легованих твердих сплавів ВК6 та ВК8 для АВТ становить актуальну наукову і технологічну проблему.

#### **Методика дослідження**

Основний метод приготування сумішей – додавання до готової твёрдосплавної суміші або суміш карбіду WC з порошком зв'язуючого металу Co мікродобавок тугоплавких сполук з подальшим розмелюванням.

Твёрдосплавні суміші замішували на 5% вомурозчині синтетичного каучуку [5] у бензині [6] згідно з технологічною інструкцією [7]. Вміст 5% ного розчину каучуку в бензині становив  $350 \pm 20$  см<sup>3</sup> на 1 кг суміші. Розчин каучуку готували за технологічною інструкцією [8]. Замішані на розчині синтетичного каучуку твёрдосплавні суміші висушували у витяжній шафі, безперервно вручну перемішуючи їх аптечним шпателем. Просушені суміші подрібнили з одночасним усередненням у вібротліні з порцеляновими кулями № 10 (діаметром 15 мм) протягом 2 год та просіяли крізь сито з розміром комірок 340 мкм.

З підготовлених сумішей спресували контрольні штапики розміром  $7 \times 7 \times 45$  мм для встановлення оптимальних режимів спікання партії суміші.

Структурні особливості у сплавів після спікання досліджували проводили на зразках у вигляді циліндрів діаметром 10–11 мм і висотою 17–19 мм.

Пресували зразки з підготовлених до пресування сумішей у сталевих прес-формах на гідравлічному пресі. Наважку на один зразок або заготовку розраховували залежно від виходячи з об'єму спечених зразків і густини відповідної марки сплаву. Пористість пресовки становила 50%.

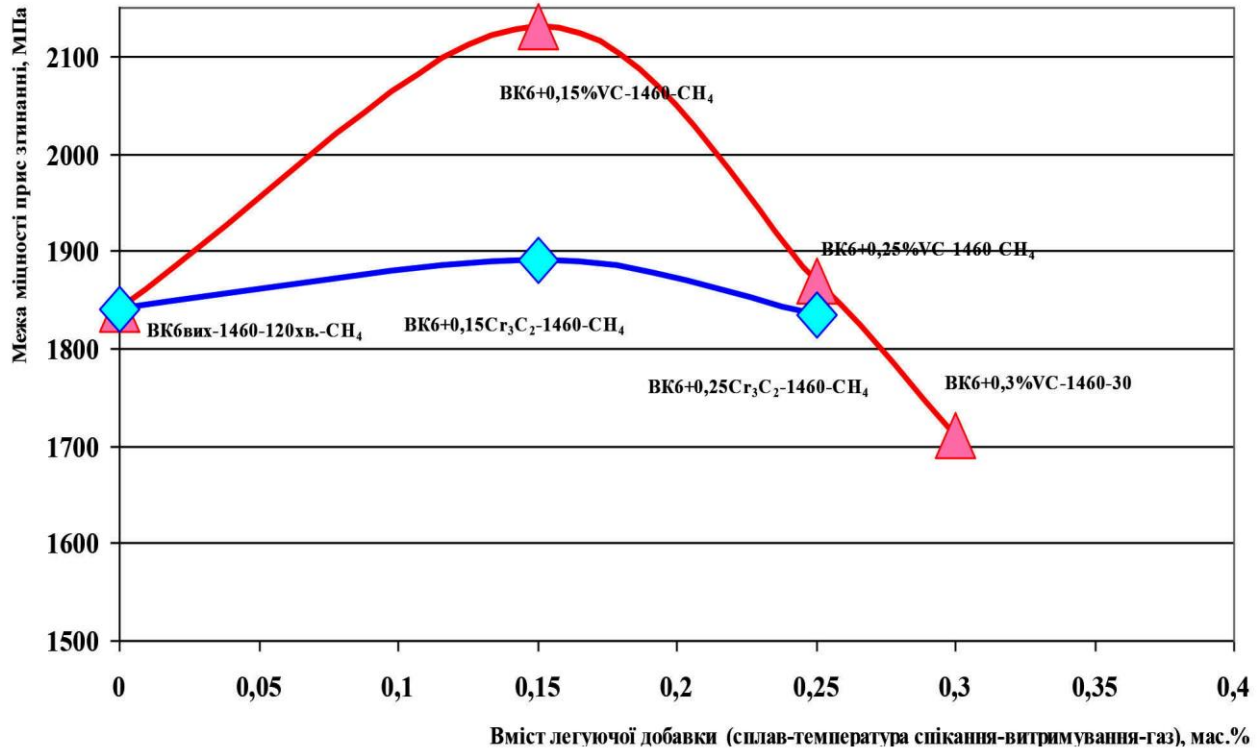
Всі одержані зразки, заготовки кілець та пластин просушували в сушильній шафі за температури  $T \approx 150$  °C протягом 24 год.

Кінцеве спікання пресовок здійснювали в метановодневому середовищі у прохідних печах за температури 1370–1500 °C, у водні за температури 1400 °C та у вакуумі – за температури 1400–1500 °C. Температуру нагрівання при спіканні в печах вимірювали вольфрам-ренієвою термопарою.

Фізико-механічні властивості та структурні параметри вихідних матеріалів та отриманих зразків твердих сплавів визначались відповідно за методиками [1–4, 9–19].

#### **Результати дослідження та їх обговорення**

При легуванні карбідами VC і Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> сплавів ВК6 межа міцності при згинанні підвищилась на 15% (тільки у випадку легування 0,15% VC) (див. рисунок). Міцність та густина більшості твердих сплавів ВК6, легованих 0,25% карбідів VC і Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> перебувають на рівні вихідного сплаву, легованих понад 0,25% карбідів VC і Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> знижується (див. рисунок та таблицю). Після легування у сплавах на 0,1–0,2% зменшується вміст вільного вуглецю. Можливо, це зумовлено за рахунок доуглецюванням нестехіометричних карбідів добавки. Міцність сплаву ВК6 підвищується дещо менше, ніж сплавів ВК8, ВК10, ВК15, ВК20 та ВН.



Залежності максимальної межі міцності при згинанні сплавів ВК8 від вмісту мікродобавок VC, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>

### Вплив легируючих мікродобавок VC, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> на властивості твердих сплавів ВК6

Додаток до сплавів ВК6, мас. %	T <sub>сп</sub> , °C-газ	H <sub>ем</sub> , кА/м	ρ, г/см <sup>3</sup>	Вміст C, %	HRA	Середній розмір зерна, мкм	R <sub>бм</sub> , МПа	Вміст зерен WC % за класами зернистості, мкмі,					
								0,5	1	2	3	4-5	6-7
VK6 <sub>вих</sub>	1460-CH <sub>4</sub>	9,0	14,78	Сліди - 0,2	88,5	1,965	1840	0	46	28	19	4	3
VK6+0,15% VC	1500-CH <sub>4</sub>	10,5	14,94	0	89,5	1,86	2130	0	55	20	11	10	2
VK6+0,25% VC	1460-CH <sub>4</sub>	8,8	14,77	Сліди - 0,2	89,4	2,02	1870	0	46	26	14	8	4
VK6+0,3% VC	1400-H <sub>2</sub>	11,4	14,55	0	89,0	2,41	1710	0	21	37	24	15	1
VK6+0,15% Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	1460-CH <sub>4</sub>	11,0	14,87	0	89,4	1,525	1890	0	62	25	12	1	0
VK6P+0,25% Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	1460-CH <sub>4</sub>	11,7	14,73	Сліди - 0,2	89,6	1,87	1835	0	55	20	15	9	1

Легування сплавів ВК6 доцільно здійснювати для виготовлення різальних пластин (підвищення твердості при збереженні необхідної міцності). Леговані сплави ВК6 чутливіші до умов спікання, ніж леговані сплави ВК8, ВК10, ВК15, ВК20, і потребують ретельнішої підготовки сумішей.

Найвисокішу межу міцності при згинанні сплавів ВК6 отримали після легування 0,15% VC і 0,15% Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> – 2130–1890 МПа після спікання в метановодневому середовищі. Мікродобавки Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> порівняно з VC підвищують твердість на 1–1,5 HRA та зменшують вміст вільного вуглецю у сплаві з деяким підвищенням неоднорідності його розподілу. Однорідність розподілу вуглецю у сплавах ВК6 найбільша при легуванні 0,15% VC і Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> порівняно з 0,25% VC і Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>.

Такий варіант цю кількість мікродобавок VC, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> (0,1–0,15%) оптимальний для сплавів ВК6. Із введенням понад >0,25% мікродобавок межа міцності при згинанні зменшується до 1400 – 1500 МПа; при цьому посилюється чутливість сплавів до умов спікання, зменшується вміст вільного вуглецю і навіть іноді з'являється η-фаза, особливо в разі легування карбідом VC. Оптимальний вміст мікродобавок VC близький до даних фірми «Kennametal».

При легуванні карбідом VC коерцитивна сила підвищувалась, але середній розмір зерен WC сплавів ВК6 не змінювався при легуванні карбідом Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>. Зі збільшенням вмісту фракції 0,5–1 мкм залежно від температури спікання, витримання, типу та вмісту легуючої мікродобавки середній розмір зерна WC (див. таблицю) значно зменшувався. Складний характер впливу карбіду VC на середній розмір зерна зумовлений пояснити збільшенням у структурі в окремих випадках кількості зерен WC фракції 4–5 мкм порівняно з вихідним при збільшенні кількості фракції 0,5–1,0 мкм на 20%. Останній, розчинюючись у зв'язці, уповільнює дифузію атомів W та C, збільшення зерен WC та формування зміцнених проміжних та невідповідних контактів WC–WC. Слід враховувати, що жорсткіший режим травлення, який використовували раніше, призводив до значнішого викришування дрібних фракцій зерен WC 0,5–1,0 мкм, що ускладнювало визначення справжнього характеру розподілу зерен за фракціями та його інтерпретацію. Одержаний відсоток викришених зерен, наймовірніше, пов'язаний з напруженим станом (потребує додаткових рентгенографічних досліджень) матричної частини твердого сплаву, що не входить до каркасної частини карбідного скелета, який залишається після витравлювання зв'язки.

### Висновки

1. Значна тривалість спікання (2 год) призводить до збільшення зерен WC за одночасного зниження інгібуючого впливу VC на зерна WC.
2. З підвищенням температури (до 1500 °C) та продовженням тривалості спікання (до 2 год) сплавів ВК6, легованих Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>, не змінюються або змінюються неістотно кількість дрібної фракції зерен WC і середній розмір зерна порівняно зі сплавами, легованими VC.
3. За посиленням впливу на коерцитивну силу та твердість, середній розмір зерна легуючі мікродобавки можна розташувати так VC – Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>.
4. За посиленням впливу на межу міцності при згинанні легуючі мікродобавки можна розташувати так: Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> – VC.
5. Карбід хрому Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> сильніший інгібітор збільшення зерен WC, ніж ванадію VC внаслідок значнішого розчинення у зв'язці твердих сплавів.
6. Оптимальний вміст мікродобавок у сплави ВК6 становить 0,1–0,15% VC і Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>.

*Исследовано влияние технологических факторов на структуру, физико-механические и эксплуатационные свойства сплава ВК6, легированного карбидами VC и Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>. Определены оптимальные технологические режимы спекания для изготовления сплавов ВК6 с улучшенными физико-механическими свойствами и структурой.*

**Ключевые слова:** твердый сплав, матрица аппарата высокого давления, легирование, карбидный скелет

#### **THE OFF MIKROADDITIVES OF VC, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> EFFEKT ON THE STRUCTURE AND PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF HARD ALLOY VK6**

*The influence of technological factors on the structure, physico-mechanical and operational properties of the VK6 alloy doped by VC, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>.carbides were studied. The optimum technological sintering conditions for manufacturing alloys VK6 with enhanced structure and physico-mechanical properties were defined.*

**Key words:** hard alloy, HPA matrix, mikroddoping, carbide skeleton

#### **Література**

1. Третьяков В. И. Основы металловедения и технологии производства спеченных твердых сплавов. – М.: Металлургия, 1976. – 528 с.
2. Фальковский В. А., Клячко Л. И. Твердые сплавы. – М.: Руда и металлы, 2005. – 413 с.
3. Киффер Р., Шварцкопф П. Твердые сплавы. – М.: Металлургиздат, 1957 – 664 с.
4. Панов В. С., Чувилин А. М., Фальковский В. А. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них. – М.: МИСИС, 2004. – 464 с.
5. ГОСТ 38003.79–74. Каучук синтетический. Технические условия.
6. ГОСТ 1012–72. Бензины авиационные. Технические условия.
7. Технологическая инструкция 25000. 20072. Замешивание твердосплавных смесей // Институт сверхтвердых материалов АН УССР, Опытный завод. – К.: 1980.– 10 с.
8. 25000. 20063 Технологическая инструкция. Приготовление раствора синтетического каучука в бензине // Институт сверхтвердых материалов АН УССР, опытный завод. – К., 1979. – 11 с.
9. Ермоленко Н. Ф., Эфрос М. Д. Регулирование пористой структуры оксидных адсорбентов и катализаторов. – Минск: Наука и техника, 1971. – 285 с.
10. ГОСТ 8.207–76. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения.
11. Дымов А. М. Технический анализ (Методы определения содержания элементов). – М.: Металлургия, 1964. – С. 31–51.
12. ГОСТ 24916–81. Сплавы твердые спеченные. Метод определения коэрцитивной силы.
13. ГОСТ 20018–74. Сплавы твердые спеченные. Метод определения плотности.
14. ГОСТ 20017–74. Сплавы твердые спеченные. Метод определения твердости по Роквеллу.
15. ГОСТ 20019–74. Сплавы твердые спеченные. Определение предела прочности при поперечном изгибе.
16. ГОСТ 2789–73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики.
17. ГОСТ 28840–90. Машины для испытания материалов на растяжение, сжатие и изгиб. Общие технические требования.

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 карбідовольфрамового 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 карбідовольфрамового 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 C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH (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