

М.М. ПРОКОПІВ, канд. техн. наук,
ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ,
О.В. ХАРЧЕНКО, мл. наук. співроб.,
ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ

ВПЛИВ ВЕЛИЧИНИ ВАКУУМУ ПРИ ОХОЛОДЖЕННІ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ СПЛАВУ ВК100М ПІСЛЯ КОМПРЕСІЙНОГО СПІКАННЯ ПІД ТИСКОМ ГАЗУ

Представлені результати досліджень впливу величини вакууму при охолодженні на структуру та властивості сплаву ВК100М після компресійного спікання. Показано, що оптимальна структура та максимальні фізико-механічні властивості сплаву ВК100М після компресійного спікання під тиском $P = 2,5$ МПа, отримуються при охолодженні з вакуумом $P = 1 \times 10^{-4}$ МПа.

Ключові слова: вакуум, компресійне спікання, модуль Вейбула, пори, залишкова мікропористість.

Вступ

Встановлено, що відпал незалежно від величини вакууму збільшує середній розмір зерна d_{wc} , не впливає на залишкову мікропористість і максимальний розмір крупних зерен WC , зменшує вміст кобальту в сплаві [1]. Проте не враховується, що при проведенні відпалу відбувається додатковий нагрів зразків, і це може впливати на зміну як параметрів структури, так і значень фізико-механічних властивостей. В той же час невідомо, як зміниться структура та властивості після компресійного спікання якщо охолодження провести у вакуумі, виходячи з проведених досліджень.

Тому мета даної роботи – дослідити вплив величини вакууму при охолодженні на структуру та фізико-механічні властивості сплаву ВК100М після компресійного спікання.

Методика дослідження

Для дослідження було виготовлено зразки $5 \times 5 \times 35$ мм зі стандартної суміші сплаву ВК100М (ГОСТ 3882-74) виробництва КЗТС (Росія). Для отримання рівномірного складу за вуглецем здійснювали попереднє спікання у водневому середовищі при температурі $950 - 980$ °С [2]. Вакуумно-компресійне спікання зразків проводили в напівпромисловій установці виготовленій в ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України під тиском газу ($P = 2,5$ МПа) по розро-

© М.М. Прокопів, О.В. Харченко, 2013

бленому режиму (рисунок). Тиск газу 2,5 МПа забезпечує одержання високощільної структури даного сплаву [3]. Нагрівання зразків при спіканні в інтервалі температур 900 – 1350 °С здійснювали зі швидкістю 3 – 5 град/хв.

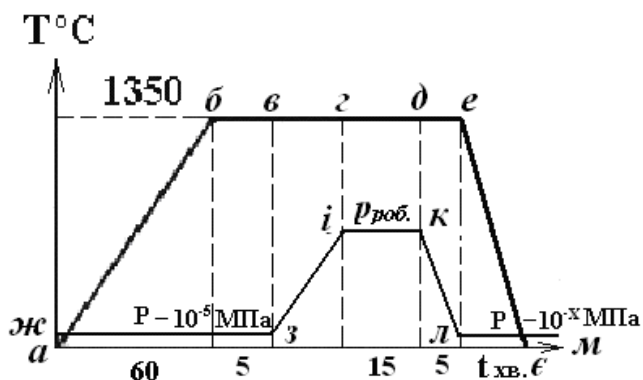


Рисунок – Графіки режимів спікання під робочим тиском та охолодження в вакуумі: а-б-в-г-д-е-є – графік зміни температури, ж-з-і-к-л-м – графік зміни тиску.

1×10⁻⁴ МПа, 1×10⁻³ МПа (лінія к-л) при температурі спікання. Охолодження до кімнатної температури (лінія е-є) проводимо із заданим вакуумом.

Дослідження мікроструктури проводили на шліфу виготовленому на стороні зразка що не контактував з графітовою тарілкою. Дрібну мікропористість (до 50 мкм), скупчення зв'язки та зерен WC досліджували відповідно ГОСТ 9391-80 на оптичному мікроскопі МИМ-6 при збільшенні ×100 та визначали на полірованих не травлених зразках. Розподілення зерен по фракціям, визначали по методу Глаголева, при збільшенні ×1350 на травлених в реактиві Мураками, шліфах за допомогою оптичного мікроскопу МИМ-8М та мікроскопу ЛОМО «Метам Р-1».

Фізико-механічні властивості визначали по стандартним методикам.

Результати дослідження.

Охолодження у вакуумі з різною величиною після компресійного спікання діє аналогічно на сплав як і відпал з цим же вакуумом. Збільшення величини вакууму при охолодженні з 1×10⁻⁵ МПа до 1×10⁻³ МПа приводить до міграції кобальту із об'єму сплаву на поверхню. В результаті цього відбувається насичення поверхневого шару кобальтом, за рахунок зменшення його в об'ємі.

Отриманий результат дозволив уточнити величину вакууму при якому відбувається його міграція при спіканні твердих сплавів.

Структурні характеристики зразків після компресійного спікання і охолодженого під тиском, та після охолодження при різному вакуумі наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Структурні характеристики зразків

Характеристики структури	Тиск охолодження МПа			
	2,5	1×10^{-5}	1×10^{-4}	1×10^{-3}
Вміст вільного вуглецю (мас. %)	0,1	0,1	0,1	немає
Ширина кобальтового прошарку, мкм	0,2 – 0,3; 0,5	0,3 – 0,5; 1,0	0,2 – 0,5	0,2 – 0,3
Середній розмір зерен WC d_{wc} , мкм	1,43	1,50	1,52	1,55
Об'ємна доля пор, %	B1 0,2	B1 0,2	A2 0,1	A2 0,1
Максимальний розмір окремих зерен WC, мкм	10 – 12	12 – 15	12 – 15	12 – 15
Вміст кобальту (мас. %)	9,9	9,9	9,5	8,9
Розмір пор більше 50 мкм	54, 65	–	–	–

За середнім розміром зерен WC сплав охолоджений у вакуумі $P = 1 \times 10^{-5}$ МПа відповідає максимальному значенню допустимого (1,1 – 1,5) інтервалу розмірів стандартних сплавів групи OM. Разом з тим, залишкова мікропористість значно менша ніж після спікання цього ж сплаву, в вакуумі, але вища ніж мікропористість (A1-0,01) сплавів закордонного виробництва. До того ж в структурі відсутні окремі великі пори розміром > 50 мкм, що характерно для структури сплаву після спікання під тиском.

Наявність окремих великих (12 – 15 мкм) зерен карбиду вольфраму, а також окремих до (1,0 мкм) кобальтової фази вказує на неоднорідність отриманої структури, що формується в процесі спікання.

Це характеризує нерівномірність структури по всьому об'єму сплаву, і як наслідок зниження фізико-механічних характеристик від максимально можливих.

Збільшення вакууму до $P = 1 \times 10^{-4}$ та 1×10^{-3} МПа залишає вміст вільного вуглецю на рівні 0,1 %, та максимальний розмір зерен WC – $12 \div 15$ мкм. Зменшує ширину кобальтового прошарку до 0,2 – 0,5 та 0,2 – 0,3 мкм відповідно. Проте збільшує середній розмір зерна до 1,55 мкм при вакуумі $P = 1 \times 10^{-3}$ МПа.

Разом з тим відбувається зменшення кобальту в об'ємі сплаву до 8,9 (мас. %) при охолодженні у вакуумі з $P = 1 \times 10^{-3}$ МПа.

Фізико-механічні властивості представлені в табл. 2.

Таблиця 2 – Фізико-механічні властивості

Властивості	Тиск охолодження МПа			
	2,5	1×10^{-5}	1×10^{-4}	1×10^{-3}
Коерцитивна сила H_c кА/м	16,6	16,6	16,6	16,8
Межа міцності при згині R_{bm} МПа	1920	2140	2150	1920
Твердість HRA	89,7	89,7	89,8	89,9
Коефіцієнт тріщиностійкості K_{IC} МПа·м ^{1/2}	11,5	12,4	12,8	11,8
Модуль Вейбула m	10	17	20	11

Як видно з табл. 2 охолодження у вакуумі 1×10^{-5} МПа на 120 МПа збільшується межа міцності при згині, та суттєво на $0,9 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ тріщиностійкість сплаву. Коерцитивна сила при цьому залишається незмінною.

Подальше збільшення вакууму до 1×10^{-4} МПа підвищує тріщиностійкість на $0,4 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ не впливає на межу міцності при згині та коерцитивну силу.

При охолодженні з вакуумом $P = 1 \times 10^{-3}$ МПа із збереженням значення коерцитивної сили і твердості відбувається зменшення границі міцності при згині та тріщиностійкості на рівень значення зразків охолоджених під тиском.

Обговорення результатів

Збільшення вакууму при охолодженні після компресійного спікання під тиском $P = 2,5$ МПа від 1×10^{-5} до 1×10^{-3} МПа приводить до міграції кобальту із об'єму сплаву на поверхню, а також до скупчення його в об'ємі що підтверджують результати досліджень опубліковані в [5]. Як результат відбувається збільшення середнього розміру зерна WC внаслідок збільшення рекристалізації через рідку фазу.

Несуттєве підвищення межі міцності у зразків після охолодження у вакуумі 1×10^{-4} МПа можна пояснити незначним збільшення середнього розміру зерен карбїду вольфраму.

Збереження на одному рівні коерцитивної сили можливо пов'язане з компенсацією двох факторів: збільшення середнього розміру зерен карбїду вольфраму, що повинно збільшити силу, а з іншої сторони, можливим очищенням кобальтової зв'язки від розчинених у кобальті газів.

В той же час значне на $0,9$ підвищення тріщиностійкості, що не корелюється із збільшенням твердості, лише пов'язано з дегазацією газів із його об'єму, аналогічно, як це відбувається зі зразками після водневого спікання.

Разом з тим, зменшення межі міцності, тріщиностійкості та збільшення

твердості при збільшенні вакууму до $P = 1 \times 10^{-3}$ МПа пояснюється зменшенням вмісту кобальту в структурі сплаву [5].

Висновки

1. Охолодження у вакуумі при величині $P = 1 \times 10^{-5}$ МПа після компресійного спікання ліквідує пори більше 50 мкм, збільшує межу міцності при згині, та тріщиностійкість в 1,1 рази, порівнянно із охолодженням під тиском газу. Збільшується модуль Вейбула з 10 при охолодженні під тиском до 17

2. Охолодження у вакуумі при величині $P = 1 \times 10^{-4}$ МПа після компресійного спікання збільшує межу міцності при згині в 1,1 рази, тріщиностійкість в 1,1 рази та твердість на 0,3 сплаву ВК100М в порівнянні з зразками охолодженими під тиском газу 2,5 МПа. Збільшується модуль Вейбула з 17 при охолодженні з вакуумом $P = 1 \times 10^{-5}$ МПа до 20.

3. При збільшенні величини вакууму до $P = 1 \times 10^{-3}$ МПа межа міцності при згині, коефіцієнт тріщиностійкості зменшується до значення вихідних значень.

Список літератури: 1. Прокопів М.М. Вплив величини вакууму при відпалі вище лінії солідусу на структуру та фізико-механічні властивості сплаву ВК100М після компресійного спікання / М.М. Прокопів, О.В. Харченко // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – 2012. – № 15. – С. XX – XX. 2. Бондаренко В.П. Спекание вольфрамовых твердых сплавов в прецизионно контролируемой газовой брете / В.П. Бондаренко, Э.Г. Павлоцкая. – К.: Наук. Думка, 1995. – 204 с. 3. Фальковский В.А. Твердые сплавы / В.А. Фальковский, Л.И. Клячко. – М.; Изд. Дом «Руда и металлы», 2005. – 414 с. 4. Прокопів Н.М. Влияние условий спекания на структуру и физико-механические свойства особомелкозернистого твердого сплава ВК 100М / Н.М. Прокопів, Л.И. Александрова, О.В. Харченко // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – 2008. – Вып. 11. – С. 337—344. 5. Лисовский А.Ф. Миграция расплавов металлов в спеченных композиционных телах / А.Ф. Лисовский. – К.: Наукова думка, 1984. – 256 с.

Надійшла до редколегії 22.08.13

УКД 621.793.5

Вплив величини вакууму при охолодженні на структуру та властивості сплаву вком після компресійного спікання під тиском газу / М.М. ПРОКОПІВ, О.В. ХАРЧЕНКО // Вісник НТУ «ХПІ». – 2013. – № 57 (1030). – (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 149 – 154. – Бібліогр.: 5 назв.

Представленные результаты исследований влияния величины вакуума при охлаждении на структуру и свойства сплава ВК100М после компрессионного спекания. Показано, что оптималь-

ная структура и максимальные физико-механические свойства сплава VK100M после компрессионного спекания под давлением $P = 2,5$ МПа, получают при охлаждении с вакуумом $P = 1 \times 10^{-4}$ МПа.

Ключевые слова: вакуум, компрессионное спекание, модуль Вейбула, поры, остаточная микропористость.

Presented results of researches of influence of size of vacuum at cooling on a structure and properties of alloy of VK100M after compression sintering. It is noted that optimum structure and maximal fiziko-mechanical properties of alloy of VK100M after compression sintering force-feed $P = 2,5$ МПа, turn out at cooling with the vacuum of $P = 1 \times 10^{-4}$ МПа.

Keywords: vacuum, compression sintering, module of Weibull, pores, remaining microporosity.

УДК 621.762.2:621.926.54

Г.А. БАГЛЮК, д-р техн. наук, ст. науч. сотрудн., ИПМ НАНУ, Киев,
А.А. ХОМЕНКО, вед. инж., ИПМ НАНУ, Киев,
Д.А. ГОНЧАРУК, мл. науч. сотрудн., ИПМ НАНУ, Киев

НОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ТОНКОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Проанализированы основные тенденции в усовершенствовании высокоэнергетических мельниц для тонкого помола. Выделены основные возможные пути решения проблем, связанных с недостатками известных высокоэнергетических дезинтеграторов. Проведен обзор и анализ последних нововведений в области высокоэнергетического размола.

Ключевые слова: высокоэнергетическое измельчение, мельница, порошковые материалы, тонкий помол.

1. Введение

Порошки, близкие за химическим составом, могут иметь различные свойства, которые определяются методом получения порошка. Таким образом, становится актуальной задача исследования методов и режимов получения порошков, а в частности конструктивных особенностей аппаратов для получения и обработки порошков.

Наибольшее распространение, благодаря своей производительности и экономности в ресурсах, получили механические методы получения порошков и устройства для механического получения порошков.

© Г.А. Баглюк, А.А. Хоменко, Д.А. Гончарук, 2013