

УДК 621.762.242: 669.27

І. В. Андрєєв (м. Київ)

aigor@i.ua

Деякі аспекти в'язко-пластичної течії виробів із важких сплавів на основі вольфраму

Представлено результати досліджень спотворення геометричної форми зразків сплаву на основі вольфраму з нікелевою зв'язкою. Виявлено багатоступеневу формозміну зразків внаслідок ліквідації рідкої фази у матеріалі при спіканні у багатозонній печі неперервної дії.

Ключові слова: *вольфрамовий сплав, формозміна, спікання, ліквідація рідкої фази.*

ВСТУП

Процес рідкофазного спікання сплавів на основі вольфраму з нікелевою або композитною зв'язкою (W–Ni, W–Ni–Fe) досить подібний до технології спікання традиційних твердих сплавів на основі карбіду вольфраму типу WC–Co та WC–Ni. Відмінність полягає в будові мікроструктури сплавів. Матеріали на основі карбіду WC переважно мають “каркасну” будову мікроструктури, завдяки чому вони зберігають свою форму при спіканні в присутності рідкої фази. В той же час вироби із сплавів на основі вольфраму мають “матричний” тип структури і при спіканні в присутності рідкої фази мають схильність до в'язко-пластичної течії [1–3]. Саме тому є актуальним питання збереження геометричної форми виробів таких сплавів, наданої їм при формуванні із порошкових сумішей, в процесі спікання, що значно покращить ефективність процесу виготовлення таких виробів.

Попередніми дослідженнями авторів [4] було показано, що ступінь формозміни заготовок при стаціонарному спіканні відчутно залежить як від перевищення температури появи рідкої фази у сплаві, так і від вмісту зв'язуючої фази. Було показано, що суттєве спотворення заданої форми заготовок відбувається практично зразу ж після появи рідкої фази в сплаві під час стаціонарного спікання.

В даній роботі зроблено спробу аналізу процесів формозміни зразків виробів в процесі їх динамічного (безперервного) спікання, тобто коли заготовка просувається через багатозонну піч спікання неперервної дії.

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТУ

Досліджували сплав на основі вольфраму з вмістом вольфраму 89 та 11 % (за масою) зв'язки на основі нікелю та заліза. Співвідношення Ni та Fe складало 7/3.

Підготовку вихідних порошків до формування (грануляція та пресування) здійснювали за загальноприйнятою в порошковій металургії методикою. Формували дослідні зразки за допомогою гідравлічного преса з тиском пресування 70 МПа. Пористість спресованих зразків складала 45–55 %.

В зв'язку з тим, що в літературних джерелах наведено лише результати лабораторних досліджень з використанням зразків вольфрамових сплавів

© І. В. АНДРЕЄВ, 2015

невеликих (діаметром до 20 мм) розмірів і не вказано обладнання і оснащення, які використовували при виготовленні виробів із вольфрамових важких сплавів, автором було проведено дослідження впливу умов спікання на формування структури та фізико-механічних властивостей великогабаритних ($\varnothing 40$ і довжиною 300 мм) заготовок при спіканні їх у багатозонній водневій електропечі при неперервній швидкості просування заготовок 3 мм/хв. Температура рідкофазного спікання складала 1450 °С. Після спікання визначали густину одержаних зразків та спотворення їх геометричної форми: горизонтального перерізу d_1 , вертикального перерізу d_2 та їх співвідношення (коефіцієнт формозміни) K_{Φ} .

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

В результаті проведеного комплексу досліджень по спіканню зразків великогабаритних виробів із сплаву на основі вольфраму при неперервній швидкості просування було виявлено суттєве спотворення форми зразків як по їх перерізу, так і по довжині (рис. 1, 2). Відповідно до спотворення форми виробів виявлено також нерівномірність розподілу густини спечених зразків по їх довжині (табл. 1, рис. 3).

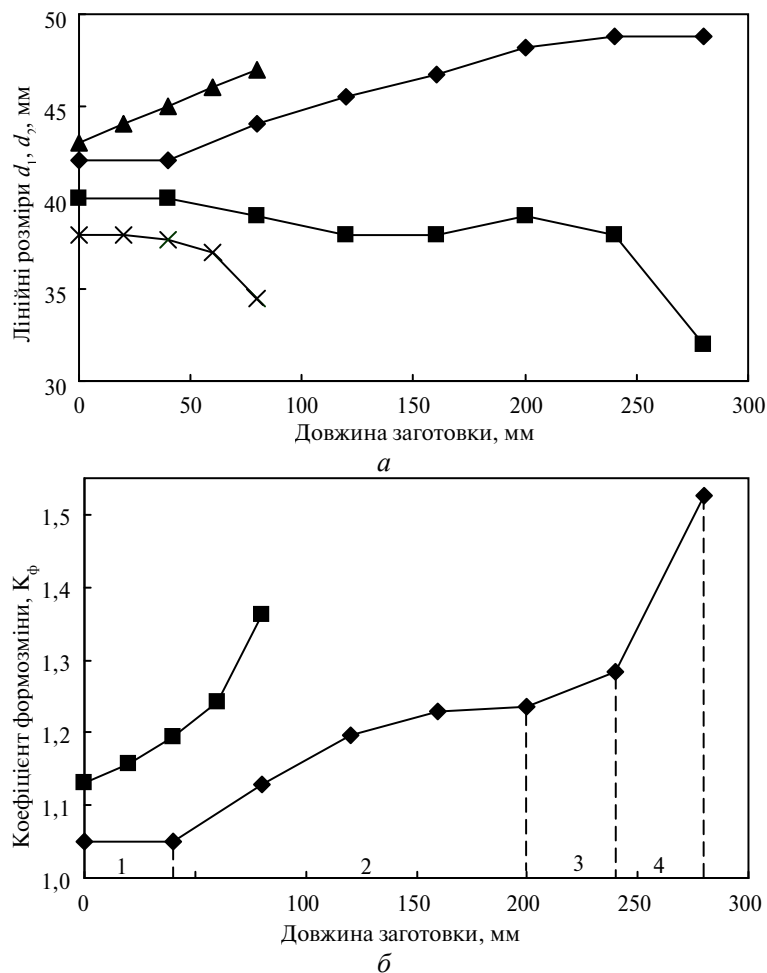


Рис. 1. Зміна розмірів поперечного перерізу вздовж заготовки довжиною 85 (d_1 (▲), d_2 (×)) і 300 (d_1 (◆), d_2 (■)) мм (а); залежність коефіцієнта формозміни K_{Φ} вздовж заготовки довжиною 85 (■) і 300 (◆) мм (б).

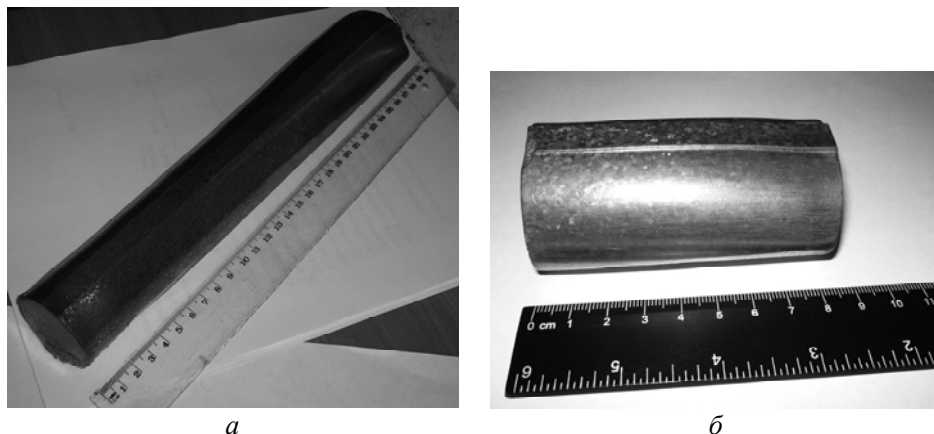


Рис. 2. Експериментальні заготовки зі сплаву на основі вольфраму, довжиною 300 (а) та 85 (б) мм, спечені в печі неперервної дії при швидкості просування 3 мм/хв.

Таблиця 1. Розподіл густини заготовок по її довжині

Довжина заготовки L , мм	Густина ρ , г/см ³			
	середня	на початку	в центрі	в кінці
85	16,95	17,05	16,90	16,78
300	16,95	17,33	16,93	16,02

Складний процес спотворення форми заготовок при їх рідкофазному спіканні може бути обумовлений тим, що при високій температурі спікання і певній швидкості просування зразка, при вході заготовки в зону рідкофазного спікання передня частина заготовки нагрівається до температури плавлення зв'язуючої фази, а задня частина ще має відкриту пористість. По цих порах рідка фаза тече від передньої до задньої частини заготовки.

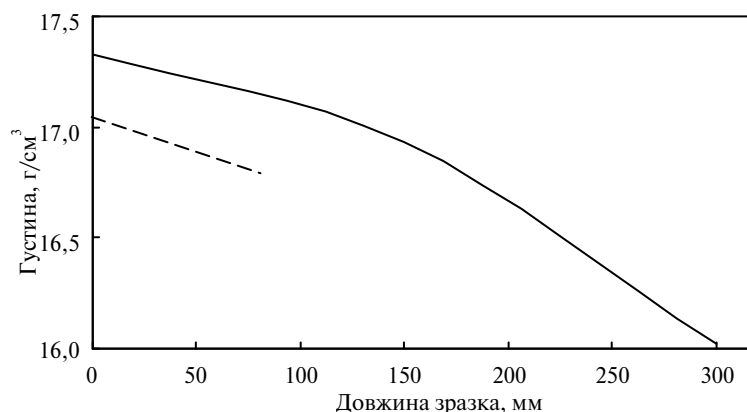


Рис. 3. Розподіл густини сплаву по довжині спеченої заготовки: 85 (---), 300 (—) мм.

Вказаний механізм формозміни заготовок і міграції рідкої фази підтверджується також вимірюванням густини передньої і задньої частин заготовок (див. табл. 1). Дані табл. 1 вказують на те, що середня густина зразків відповідала повністю спеченому сплаву з 89 % (за масою) вольфраму і була практично однаковою. В той же час густина передньої частини заготовки

значно вища від середньої густини всієї заготовки. Це свідчить про те, що частина зв'язки з передньої частини перетекла до задньої частини. В результаті густина передньої частини стала значно більше густини задньої частини заготовки і, відповідно, більше середньої густини всієї заготовки.

Для більш ґрунтовного аналізу виявленого процесу ліквідації рідкої фази при спіканні сплавів на основі вольфраму із “нікелевою” зв'язуючою фазою проведено дослідження “випливу”, що утворюється в кінці заготовки при спіканні в присутності рідкої фази (рис. 4). Випливу було розрізано на три частини, як показано на рис. 3. Після цього визначено густину кожного сегмента, мікроструктуру та проведено рентгеноспектральний аналіз. Результати аналізу наведено у табл. 2 та на рис. 5. Результати рентгеноспектрального аналізу, виконаного за допомогою растрового електронного мікроскопа ZEISS EVO 50XVP показали, що хімічний склад зв'язуючої фази в об'ємі заготовки не змінюється і складає $33\pm 1\%$ (за масою) вольфраму та $77\pm 1\%$ (за масою) нікелю та заліза.

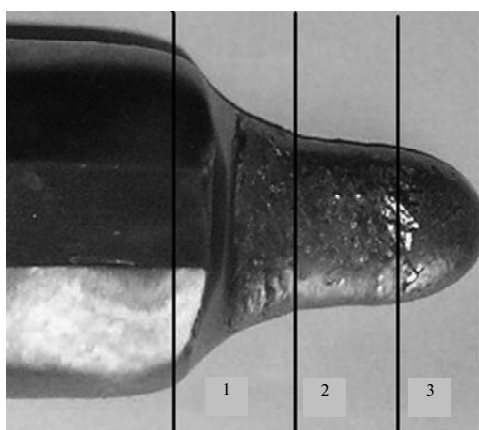
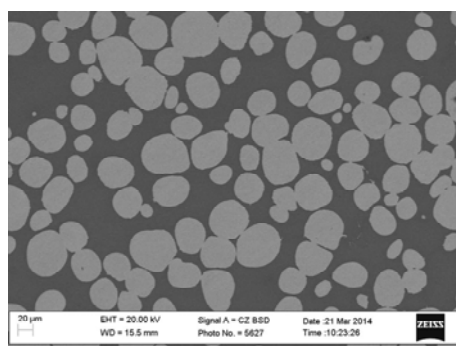


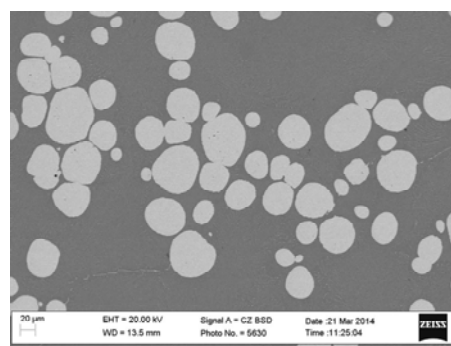
Рис. 4. “Випливу” у кінцевій частині спеченої заготовки сплаву.

Таблиця 2. Значення густини сегментів “випливу” спеченої заготовки сплаву

Номер сегмента (див. рис. 4)	1	2	3
Густина, г/см ³	14,67	11,08	10,84

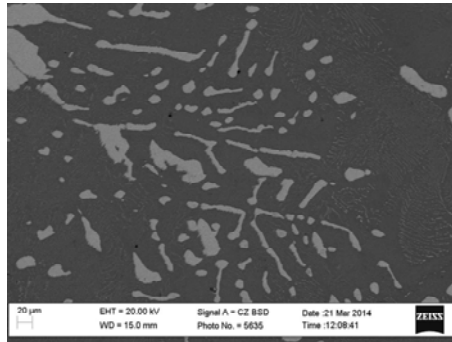


а



б

Рис. 5. Мікроструктура сегментів “випливу” зі спеченої заготовки сплаву: сектори 1 (а), 2 (б), 3 (в) (див. рис. 4).



6
Рис. 5. (Продовження.)

ВИСНОВКИ

Встановлено явище витікання рідкої фази в важких сплавах на основі вольфраму системи W–Ni–Fe при спіканні в змінному температурному полі. При поступовому просуванні заготовки сплаву на основі вольфраму рідка фаза, що утворюється, мігрує по порах заготовки з передньої частини заготовки до задньої, що призводить до спотворення геометричної форми заготовки не тільки по перерізу, а й по довжині заготовки. Передня частина заготовки зберігає практично циліндричну форму, тобто рідка фаза в цій частині заготовки мігрує практично однаково по всьому перерізу заготовки, при цьому густина передньої частини заготовки відповідає сплаву з вмістом зв'язки 8 % (за масою) замість заданих 11 % (за масою), а задньої – 12 % (за масою) без урахування “впливу”. Різні за зміною форми і вмістом зв'язки крайові ефекти для передньої і задньої частин заготовки свідчать про те, що основною причиною спотворення форми заготовки є градієнт температури по її довжині, який утворюється в процесі переміщення заготовки, що спікається, по робочій частині печі.

Представлены результаты исследований искажения геометрической формы образцов сплава на основе вольфрама с никелевой связкой. Выявлено многоступенчатое формоизменение образцов вследствие ликвации жидкой фазы в материале при спекании в многозонной печи непрерывного действия.

Ключевые слова: вольфрамовый сплав, формоизменение, спекание, ликвация жидкой фазы.

Results of researches of distortion of the geometrical form of samples of an alloy on the basis of tungsten with a nickel sheaf are presented. It is revealed multistage distortion of form samples owing to liquation a liquid phase in a material at sintering in more zone furnaces of continuous action.

Keywords: tungsten alloy, distortion of the geometrical form, sintering, liquation a liquid phase.

1. Rodriguez A. B., Sevillano J. G. Visoplastic flow of high density W–Ni–Fe alloys during liquid-phase sintering // Tungsten and Tungsten Alloys: Proc. of the First Int. Conf. on Tungsten and Tungsten Alloys by the Metal Powder Industries Federation, November 15–18, 1992, Arlington, Virginia. – N 1. – P. 61–68.
2. Xu X., Upadhyaya A., German R. M., Iococca R. G. The effect of porosity on distortion of liquid phase sintered tungsten heavy alloys. // Int. J. Refr. Met. Hard Mater. – 1999. – 17. – P. 369–379.

3. *Upadhyaya A., German R. M.* Gravitational effects during liquid phase sintering // *Mater. Chem. Phys.* – 2001. – **67**. – P. 25–31.
4. *Бондаренко В. П., Андреев І. В., Барановський О. М., Щербань В. В.* Вплив вмісту зв'язки на формозміну виробів з вольфрамівих сплавів в процесі рідкофазного спікання // *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2009. – Вып. 12. – С. 407–413.*

Ін-т надтвердих матеріалів
ім. В. М. Бакуля НАН України

Надійшла 25.07.14