

Рис. 4. Металлографія основних етапів структуроутворення конденсатів:
a – одновісні волокна на зародкових частинках;
б – дендрітоподібні волокна на частинках; *в* – стовпці в конденсаті

Література

1. Grechanyuk, N. I., Kucherenko, P. P., Melnik, A. G., ... Grechanyuk, V. G., Manulyk, A. New Electron-Beam Equipment and Technologies for the Production of Advanced Materials Using Vacuum Melting and Evaporation Methods Developed at SPE [“Eletkhmash”] / Minerals, Metals and Materials Series, 2019, pp. 105–113.
2. Grechanyuk N. I. Baglyuk G. A., Kucherenko P. P., Melnik A. G., Grechanyuk I. N., Grechanyuk V. G., Smashnyuk Y. A. Laboratory Electron-Beam Multipurpose Installation L-2 for Producing Alloys, Composites, Coatings, and Powders / Powder Metallurgy and Metal Ceramics, 2017, 56 (1), P. 113–121.

СТРУКТУРА ТУГОПЛАВКИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ТИТАНУ, ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОГО ВИПАРОВУВАННЯ-КОНДЕНСАЦІЇ

Маценко О. В.¹, Гречанюк І. М.²

Київський національний університет будівництва і архітектури
E-mail: ¹ardna@ukr.net, ²hrechaniuk.im@knuba.edu.ua

Анотація. Отримано конденсати тугоплавких сполук на основі боридів титану прямим випаровуванням при низькій і високій швидкостях осадження методом електронно-променевого випаровування-конденсації. Показано, що при низьких температурах конденсації мікроструктура конденсатів має куполоподібну морфологію, яка із збільшенням темпе-

ратури підложки при низьких швидкостях осадження переходить у стовпчасту і при високих швидкостях осадження – у волокнисту, що супроводжується перетворенням TiV_2 на TiV . Зміна швидкості конденсації від 0,2 до 6,3 мкм/хв має слабкий вплив на фазовий склад конденсатів бориду титану, але призводить до зменшення розмірів зерна.

Ключові слова: конденсат, електронно-променеве випаровування-конденсація в вакуумі; бориди титану.

Використання тугоплавких матеріалів для потреб сучасної техніки можливо тільки на основі розуміння особливостей кристалічної та електронної будови тугоплавких сполук, типовим представником яких є диборид титану, який має високу твердість і достатню стійкість до окислення. Основні способи синтезу боридних фаз титану розглянуто авторами [1–3], але найбільш поширеним способом синтезу дибориду титану є спікання попередньо спресованих сумішей порошків титану та бору. Новітні технології дають поштовх для розробки нових методів отримання боридів, одним з яких є метод електронно-променевого випаровування та конденсації різноманітних матеріалів у вакуумі [4, 5].

В цьому випадку одержання боридів титану здійснювалося випаровуванням з одного джерела і в якості матеріалу, якій випарувували, використовували спечені штабіки дибориду титану. Прекурсори для випаровування отримані холодним пресуванням порошків відповідної сполуки з наступним спіканням при температурі від 1800 до 2400 °С у чистому водні.

Отримані прекурсори діаметром 50 мм і довжиною 60 мм випарувували у високому вакуумі (від 1×10^{-4} до 5×10^{-5} мм рт. ст.) з водоохолоджуваних тиглів із застосуванням електронно-променевого нагріву. Відстань між джерелом та підкладкою складала від 260 до 280 мм. Пари конденсувалися на підкладках з молібденового листа розміром 200×70 мм і товщиною 0,5 мм.

Рентгеноструктурні дослідження наведені в таблиці 1 показали, що при низьких швидкостях осадження прекурсор після випаровування та конденсат за всіх температур містили 100 % фази TiV_2 . Однак при високій швидкості осадження прекурсор після випаровування містив 100 % фази TiV_2 , а склад конденсату змінювався від 75 до 99 % TiV_2 при низьких температурах осадження і від 95 до 99 % TiV при високих температурах осадження.

З аналізу отриманих даних випливає, що відбувається зменшення середнього часу перебування сполуки, що містить бор, при високій швидкості осадження через більш високу швидкість надхо-

дження і більш високу температуру поверхні конденсатів. Також це може пояснюватись більшою прихованою теплотою конденсації в порівнянні зі зразками, отриманими при низькій швидкості осадження. Отже, більш висока температура поверхні може призводити до дисоціації TiB_2 до TiB .

Таблиця 1

Фазовий склад конденсатів TiB_2 , отриманих прямим випаровуванням при різних швидкостях осадження

Зразок	Температура підкладки, °C	Відносна кількість фаз, %		
		TiB_2	TiB	Ti
Низька швидкість осадження (0,2 мкм/хв)				
Штабик TiB_2 після випаровування	–	100	–	–
Конденсат TiB_2	600	100	–	–
	660	100	–	–
	800	100	–	–
	1150	100	–	–
	1300	100	–	–
Висока швидкість осадження (6,3 мкм/хв)				
Штабик TiB_2 після випаровування	–	100	–	–
Конденсат TiB_2	690	75	25	–
	770	95	5	–
	910	99	1	–
	1180	1	99	–
	1300	5	95	–

Зміна складу добре спостерігається у структурі зразків (див. рис. 1, 2). Зміни морфології в конденсатах TiB_2 зі збільшенням температури осадження подібні до карбідів [6, 7], тобто підвищення температури підложки призводить до укрупнення куполоподібної структури (рис. 1, а) і при максимальних температурах підложки (1000–1300 °C) структура стає стовпчастою однорідною (див. рис. 1, б).

У зразках, отриманих з високою швидкістю осадження, спостерігається перетворення дибориду титану на борид титану, що супроводжується переходом куполоподібної структури при температурі підкладки 770 °C у виражену волокнисту (див. рис. 2, а, б).

Аналізуючи отримані дані можна зробити висновок, що швидкість конденсації досліджуваних сполук впливає менше на фазовий склад конденсатів у порівнянні з температурою підложки.

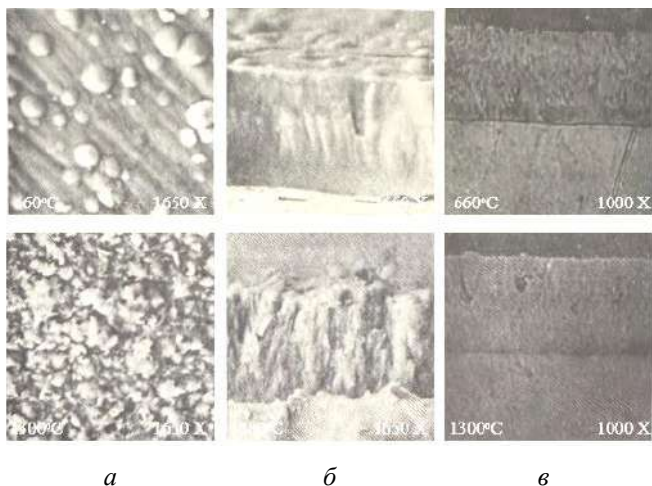


Рис. 1. Структура конденсату TiB_2 , отриманого з низькою швидкістю осадження за різних температур підложки і прямого випаровуванні: *a* – поверхня; *б* – злам; *в* – поперечний переріз

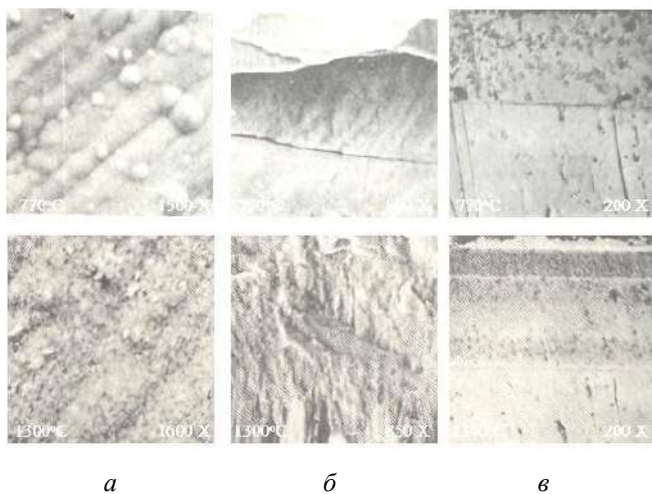


Рис. 2. Структура конденсату TiB_2 , отриманого з високою швидкістю осадження за різних температур підложки і прямого випаровуванні: *a* – поверхня; *б* – злам; *в* – поперечний переріз

Література

1. Еременко В. Н. Титан и его сплавы. Київ : Изд. АН УССР, 1960. 500 с.
2. Композиційний зносостійкий матеріал на основі дибориду титану : пат. на корисну модель №78156 Україна : МПК C22C 29/14. № и 201210411 ; заявл. 03.09.2012 ; опубл. 11.03.2013, Бюл. № 5.
3. Уманский А. П., Стороженко М. С., Терентьев А. Е., Акопьян В. В. Плазменные покрытия системы TiB₂–(Fe–Mo). Авиационно-космическая техника и технология. 2014. № 7 (114). С. 6–11.
4. Grechanyuk M., Grechanyuk V., Shapovalov V., Grechanyuk I., Matsenko O., Kozyrev A., Gots V. Massive microporous composites condensed from the vapor phase // Nanosystems, nanomaterials, nanotechnologies. 2022. 20, N 4. P. 883–894.
5. Matsenko O. V. Study of the structure of thick condensates based on silicon carbide obtained by the electron beam evaporation-condensation method // Proceedings of the 19th International Scientific Conference "Science and Education". January 15–22, 2025, Hajdúszoboszló, Hungary. Kholmelytskyi : KhNU. P. 166–169.
6. Гречанюк В. Г., Маценко О. В., Козирев А. В., Гречанюк І. М., Шаповалов В. О. Структура та механічні властивості товстих вакуумних конденсатів TiC, одержаних методом електронно-променевого випаровування // Надтверді матеріали, 2025, 4, С. 43–48.
7. Гречанюк І. М., Гречанюк В. Г., Чорновол В. О., Дишко А. Жароміцні і жаростійкі сплави на основі титану // (Тези конференції: Маркетингові стратегії, підприємництво і торгівля: сучасний стан, напрямки розвитку : матеріали V Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. (Київ, 18 квітня 2024 р.). Київ, 2024, С. 510.

ПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Іщук А. Ю.¹, Драч І. В.², Диха М. О.³

Хмельницький національний університет

E-mail: ¹frendly.andriy7@gmail.com, ²drachil@khmnu.edu.ua

³maxdixal@gmail.com

***Анотація.** У статті розглянуто задачу проектування композиційного матеріалу з наперед заданими механічними характеристиками. Увагу приділено динамічному модулю пружності як цільовому параметру*