УДК 669.018.25

М. М. Прокопів
Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля
НАН України, м. Київ, Україна
**mprokopiv70@gmail.com*

Деякі особливості формування нової фази $W_{2,3}TiC_{2,6}$ у структурі твердого сплаву Т5К10

Представлено результати мікроструктурного і ренгенофазового аналізів структури зразка твердого сплаву Т5К10 після рідкофазового спікання у спеціальних термокінетичних умовах і додаткового твердофазового відпалювання у вакуумі впродовж 7 год. Отримано нову фазу $W_{2,3}TiC_{2,6}$, яка має видовжену форму і присутня у шарі зразка тільки на глибині від 15 до 40 мкм від його поверхні, її вміст зменшується, а форморозмір стабілізується зі збільшенням глибини.

Ключові слова: *твердий сплав, відпал, нова фаза, структура, шар.*

ВСТУП

В [1] повідомлено, що у структурі твердого сплаву зернистого типу марки Т5К10 після рідкофазового спікання у нестандартних умовах і додаткового твердофазового відпалювання за температури 1200 °С у вакуумі впродовж 7 год та ізотермічної витримки, крім зерен огранених WC, глобулярних (Ti,W)C і прошарків на основі Co, характерних для стандартного аналога, виявлено включення нової фази видовженої форми, різного розміру (шириною до 20 мкм і довжиною до 80 мкм), із загостреними закінченнями. Включення нової фази розподілені стохастично, як поодиноко, так і у вигляді скупчень. На поверхні нової фази виявлено одиничні зерна WC і (Ti,W)C розміром у 3–6 разів меншим, ніж розміри аналогічних зерен основної структури, які не піддаються впливу розчину Мураками, хлорного заліза і травленню іонами аргону [2]. Вони мають кристалічну комірку типу GaSe (якість H) з параметрами c = 15,950 Å, a = 3,750 Å, що в 1,2904 і 5,6221 разів відповідно більші, ніж параметри гексагональної комірки фази WC [3].

Аналогічну фазу видовженої форми виявлено також і у твердому сплаві WC–(W,Ti,Ta)C–12Co марки ТТ7К12 після його відпалювання у подібних умовах [4].

Процес утворення нової фази $W_{2,3}TiC_{2,6}$ у структурі твердого сплаву WC–(Ti,W)–Co після його відпалювання можна пояснити тільки на загальних припущеннях через недостатність результатів її дослідження, а також через відсутність дотепер повної інформації про взаємодію в системі W–Ti–Co–C.

Згідно з [5], утворення зародка нової фази можливе, коли значення хімічних потенціалів її компонентів (у даному разі W, Ti, та C) нижчі, ніж оточуючого середовища зернистої структури. Водночас розмір зародка нової фази має бути більшим за його критичний розмір. Це забезпечує його зростання під час зменшення вільної енергії системи. Саме ці умови виконуються у сплаві WC–(Ti,W)–Co у процесі відпалювання.

Відсутність зміни фазового складу зернистої структури та її атомної будови у процесі формування нової фази вказує на те, що найбільш вірогідним

© М. М. ПРОКОПІВ, 2026

джерелом такого зародка і його росту є W, Ti, C, які розчинені у прошарках Co основної структури. Ріст нової фази відбувається під час дифузії атомів W, Ti, та C до зародка та зворотної дифузії Co від зародка в об'єм зразка.

Однаковий (гексагональний) тип кристалічних комірок карбіду вольфраму і нової фази дає підстави стверджувати, що остання утворилася під час розчинення TiC у WC та супроводжується трансформацією його кристалічної ґратки, хоча загальновідомо, що WC не розчиняє TiC [1].

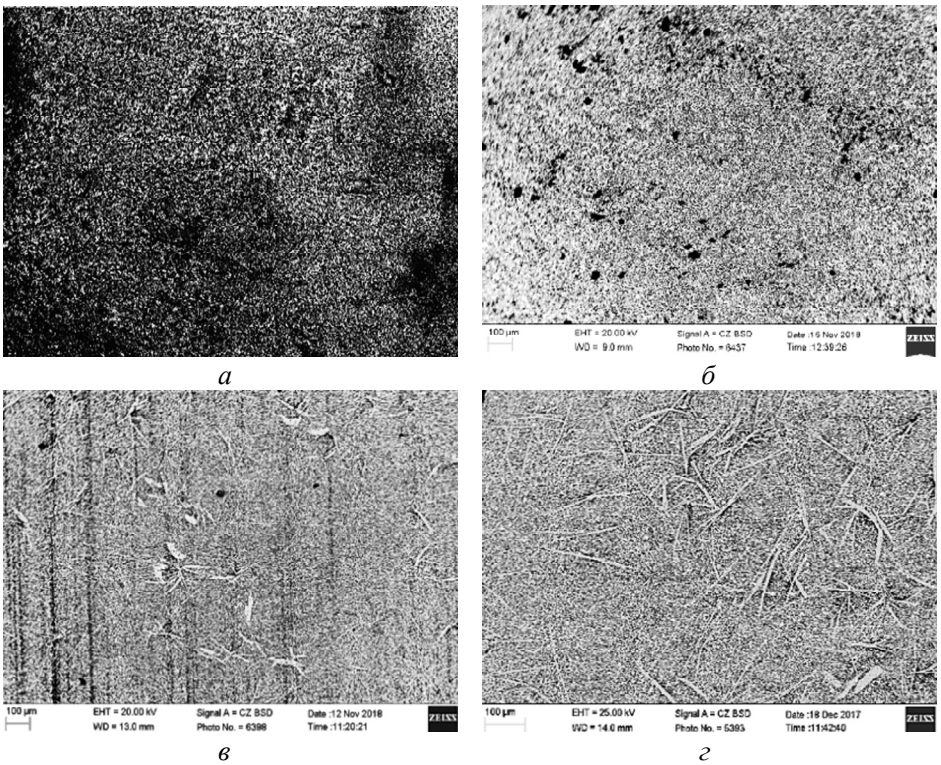
Утворення нової фази видовженої форми є наслідком також гексагональної будови її кристалічної комірки із великим відношенням c/a = 4,2533 нм.

Дотепер невідомо, як формується структура з новою фазою на поверхні і в об'ємі зразка, тому метою даної роботи було дослідження структури поверхні зразка з твердого сплаву Т5К10 після твердофазового відпалювання, що забезпечує утворення нової фази $W_{2,3}TiC_{2,6}$ видовженої форми [1–3].

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

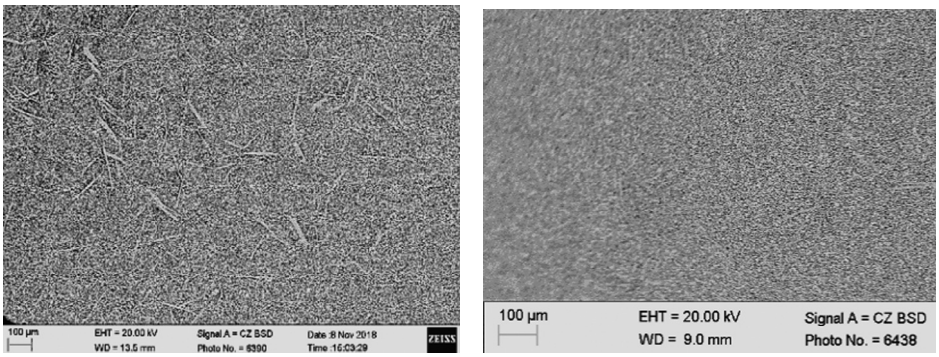
На рис. 1 приведено зображення мікроструктури шліфів, які було виготовлено на різній глибині від поверхні зразка після твердофазового відпалу у вакуумі впродовж 7 год витримки.

Як видно (див. рис. 1, *а*), поверхня зразка без включень нової фази видовженої форми після відпалювання в електронному зображенні має темно-сірий колір. Включення нової фази відсутні і на поверхні після полірування на глибину до 10–15 мкм (див. рис. 1, *б*). У даному шарі структури залишились темні включення і з'явились окремі включення чорного кольору розміром до 50 мкм. Виявлено залишкові мікропори розміром до 20 мкм (чорні п'ятна), а також області темно-сірого відтінку.



а *б* *в* *г*

Рис. 1. Мікроструктура поверхні зразка Т5К10 після відпалу у вакуумі впродовж 7 год (*а*) та шліфів на глибині до 15 (*б*), 15–40 (*в–д*), > 40 (*е*) мкм.



д *е*

Рис. 1. (Продовження).

На глибині 15–40 мкм сформувався шар мікроструктури з нової фази видовженої форми (див. рис. 1, *в–д*). Вона має стохастичний розподіл і нерівномірний (окремі потовщені включення) форморозмір (див. рис. 1, *в*). Водночас у примежевій з попереднім шаром структурі присутні одиничні чорні включення. У міру збільшення глибини полірування до 20–25 мкм (див. рис. 1, *г*) збільшується вміст нової фази, стабілізується їхній форморозмір і відсутні крупні включення чорного кольору. Натомість окремі частини структури (обведені контуром), особливо у місцях з високим вмістом скупчень нової фази, мають темніший, ніж інші частини структури, відтінок.

На глибині 30–40 мкм кількість і розмір нової фази зменшуються, а на глибині > 40 мкм вона відсутня.

Отже, під час відпалу зразка із твердого сплаву Т5К10 формується поверхневий шар товщиною до 15 мкм без нової фази і проміжний шар товщиною до 20–30 мкм з нової фази видовженої форми.

Із аналізу мікроструктур, наведених на рис. 1, *в–ж*, можна стверджувати, що нова фаза розташована паралельно поверхні шліфа. Крім того, біля скупчень нової фази видно області темного кольору, що опосередковано вказує на збільшений вміст кобальту. Для підтвердження чи спростування даних припущень необхідно провести додаткові дослідження фрагментів структур за збільшеного масштабу.

Результати, приведені на рис. 1, було підтверджено рентгенограмами (рис. 2).

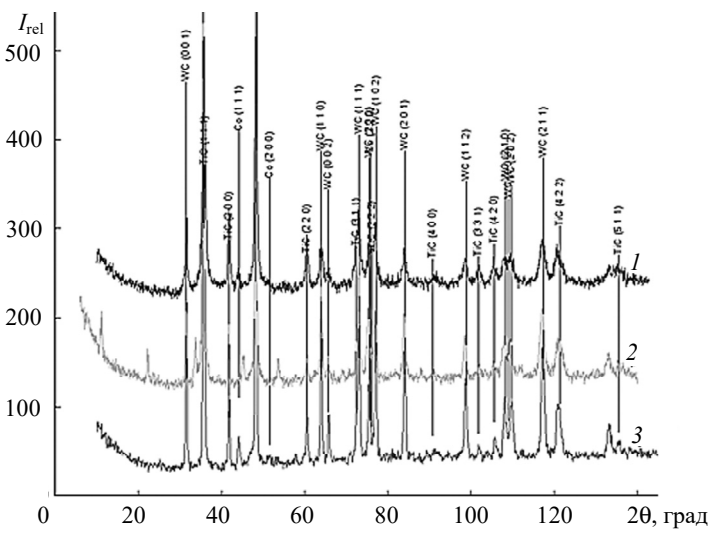


Рис. 2. Рентгенограми поверхні зразка на рис. 1, *б* (*1*), нової фази на рис. 1, *г* (*2*) та на рис. 1, *е* (*3*).

ВИСНОВКИ

Нова фаза $W_{2,3}TiC_{2,6}$ видовженої форми у структурі твердого сплаву Т5К10, попередньо спеченого у рідкій фазі і додатково відпаленого за температури 1200 °С з витримкою впродовж 7 год, утворилася у шарі на глибині 15–40 мкм.

Кількість і розмір нової фази зменшується, а її форма стабілізується у міру збільшення глибини у даному інтервалі шару.

ФІНАНСУВАННЯ

Дану роботу не фінансували із зовнішніх джерел.

КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ

Автор заявляє про відсутність конфлікту інтересів.

M. M. Prokopiv

Bakul Institute for Superhard Materials,

National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Some features of the formation of the structure of the T5K10 hard alloy with a new phase of $W_{2.3}TiC_{2.6}$ of an elongated shape

The results of microstructural and X-ray phase analyses of the structure of the T5K10 hard alloy sample after liquid-phase sintering in special thermokinetic conditions and additional solid-state annealing in vacuum for 7 hours are presented. A new phase $W_{2.3}TiC_{2.6}$ was obtained; it has an elongated shape and is present in the sample layer only at a depth of 15 to 40 microns from its surface. Its content decreases, and the shape size stabilizes with increasing depth.

***Keywords**: hard alloy, annealing, new phase, structure, layer.*

1. Prokopiv M.M. A new phenomenon in the structure formation of T5K10 hard alloy. *J. Superhard Mater*. 2018. Vol. 40, no. 1. P. 73–74. DOI: 10.3103/S1063457618010112
2. Prokopiv M. Metallographic studies of extra elongated inclusions in WC–(Ti,W)C–Co hard alloy structure. *J. Mater. Sci. Appl*. 2019. Vol. 5, no. 2. P. 29–34.
3. Prokopiv M.M. A study of new phase of elongated shape in granular structure of WC–(Ti,W)C–Co cemented carbide after its solid-phase annealing. *Int. J. Refract. Met. Hard Mater.* 2020. Vol. 93, art. 105349. https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2020.105349
4. Prokopiv M.M. Formation of elongated inclusions of a new phase $W_{2.3}TiC_{2.6}$ in the structure of WC–(Ti,Ta,W)C–Co cemented carbides after solid-phase annealing. *J. Superhard Mater*. 2022. Vol. 44, no. 4. P. 259–265. DOI: 10.3103/S1063457622040074
5. Lisovsky A.F. Thermodynamics of a new phase formation in a composite material. *J. Superhard Mater.* 2016. Vol. 38, no. 4. P. 230–234. DOI: 10.3103/S106345761604005X

Надійшла до редакції 01.05.26

Після доопрацювання 12.05.26

Прийнята до опублікування 16.05.26