

УДК 669.018.025

М. О. Юрчук, канд. техн. наук

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

## ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ СЕРЕДНЬОЗЕРНИСТОГО ТВЕРДОГО СПЛАВУ ВК20 ЗА ТЕМПЕРАТУРИ ІСНУВАННЯ РІДКОЇ ФАЗИ

*The paper describes the peculiarities of the formation of the medium-grained cobalt WC – 20Co cemented carbide at temperatures of 1300, 1350, 1360, 1400, 1450, 1470, 1500, 1550 and 1750 °C which permit formulating the principles of serial production of two-phase WC – Co cemented carbides having optimal carbon – free structure.*

Одним із чинників, що значною мірою впливають на формування структури та фізико-механічні властивості твердих сплавів є температура спікання. Здійснено багато досліджень по впливу температури спікання і тривалості витримки, отримано кілька апроксимацій, здійснено низку припущень щодо механізмів формування структури сплавів. Проте через не систематичність досліджень, акцентування уваги на одному з чинників впливу чи механізмі досліджуваного процесу неможливо всебічно описати процес формування структури сплавів. До того ж крім технологічних чинників, на нього істотно впливають вміст вихідних компонентів, структурних складових, розмір вихідних частинок карбіду вольфраму (WC) і зв'язуючого металу, наявність домішок та ін. Охопити в одному дослідженні вплив усіх цих чинників на сплав практично неможливо.

Одним з найпоширеніших є середньозернистий багатокобальтовий сплав із вмістом кобальту 20 % по масі. Тривалість витримки при спіканні сплаву найчастіше не перевищує 1 год, а температура змінюється від 1340 до 1380 °C. Проте для дослідників становлять інтерес особливості формування структури сплаву за більш розширеного діапазону температур спікання, тому акцентуємо увагу на впливі на процес формування структури таких температур спікання: 1300, 1350, 1360, 1400, 1450, 1470, 1500, 1550 та 1750 °C. При цьому дослідимо також механізми зародження, зростання і перекристалізації через рідку фазу зерен WC.

### Методика досліджень

Вихідною було взято серійну порошкову суміш сплаву ВК20 (СТП 00196144-0727-2004), виготовлену ВАТ «Кіровградський завод твердих сплавів».

Підготовку суміші до пресування дослідних зразків (штабиків) здійснювали за загально прийнятою методикою. Середній розмір зерна карбіду вольфраму (WC) у вихідній порошковій суміші становив  $\bar{d}_{wc} = 1,5 \pm 0,1$  мкм, вміст загального вуглецю  $C_{заг} = 5,175,27$  % (по масі) при стехіометричному складі 4,9 % (по масі).

Спресовані штабіки спікали у дві стадії. Першу стадію – нормалізуюче спікання здійснювали за температури  $T = 900$  °C в контрольованому газовому середовищі прохідної печі, другу стадію – остаточне спікання – в електричній вакуумній печі моделі СНВЭ-1.3.1/16-ИЗ-УХЛЧ.1 за температур 1300, 1350, 1360, 1400, 1450, 1470, 1500, 1550 °C і тривалості витримки 1 год. Остаточне спікання штабиків за температури 1750 °C і тривалості витримки 1 год здійснювали в середовищі водню прохідної печі з графітовою трубою.

Стереологічні параметри структури сплаву визначали за шліфами штабиків, які робили на торцях штабиків. Обстежили близько 2000 зерен карбіду вольфраму на шліфу в 16 точках зразка сплаву. Загальна площа знімків структури на зразку сплаву становила 80320 мкм<sup>2</sup>. Структуру сплаву фотографували за допомогою оптичного мікроскопу МІМ-8 зі збільшенням у 1350 разів з імерсійним (кедровим) маслом цифровою камерою С-120 DC6V.

Параметри структури розраховували на комп'ютері за допомогою програми "Scion Image". Попередньо зерна карбіду вольфраму обвели на комп'ютері вручну. Розраховували такі

стереометричні параметри структури: середній розмір зерна карбиду вольфраму  $\bar{d}_{WC}$ , середню умовну товщину прошарку кобальтової фази  $\bar{L}_{Co}$ , відносну частку контактної поверхні  $S_{WC-WC}$  (коефіцієнт суміжності).

### Результати

Структуру сплаву BK20, спеченого за температури 1300–1750 °С, показано на рис. 1.

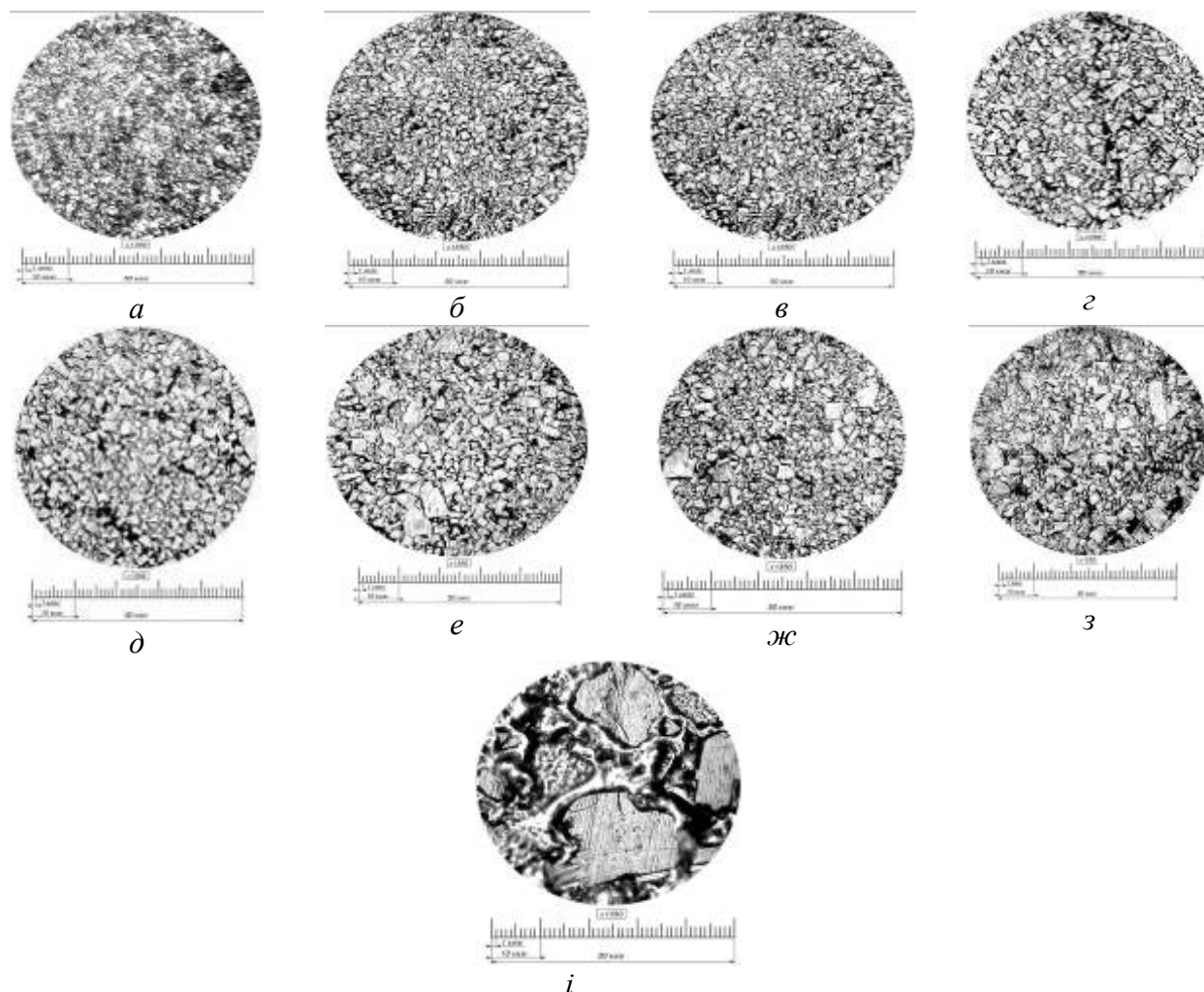


Рис. 1. Структура сплаву BK20, спеченого за температури: а – 1300 °С; б – 1350 °С; в – 1360 °С; г – 1400 °С; д – 1450 °С; е – 1470 °С; ж – 1500 °С; з – 1550 °С; і – 1750 °С

Як впливає з даних рис. 1, за температури 1300–1450 °С структура сплаву складається з дрібних огранених зерен і значно більших скупчень (мікроагрегатів). При цьому візуально малопомітне збільшення середнього розміру зерна WC при переході від температури 1300 °С до 1450 °С. Водночас результати комп'ютерної обробки засвідчують, що за цих та подальших температур значення  $\bar{d}_{WC}$  збільшується. Характер механізмів формування структури сплаву BK20 у цьому інтервалі температур подібний до таких самих механізмів сплаву BK3, але значно повільніший<sup>1</sup>. В інтервалі температур 1470–1550 °С аномально збільшуються як великі зерна, так і зерна основної фракції. Різке збільшення зерен, здебільшого аномально великих, спостерігається в інтервалі температур 1550–1750 °С. Результати аналізу структур при збільшенні у 450 разів (рис. 2) засвідчують, що основний приріст кількості зерен прави-

<sup>1</sup> Особливості формування структури середньозернистого твердого сплаву BK3 при температурах існування рідкої фази. В. П. Бондаренко, В. П. Ботвинко, Н. В. Літошенко, та ін. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр.–2008.– Вып. 11.–С. 331 – 336.

льної геометричної форми спостерігається до температури спікання 1450 °С (рис. 3). У діапазоні температур 1450–1550 °С кількість таких зерен змінюється неістотно, при подальшому підвищенні температури спікання до 1750 °С – набагато збільшується. Практично процес формування зерен карбідної складової у сплаві відбувається постійно і майже без змін в усьому діапазоні температури спікання.

Характеристики розподілу зерен WC за розмірами і стереометричні характеристики структури сплаву наведено на рис. 4 та 5.

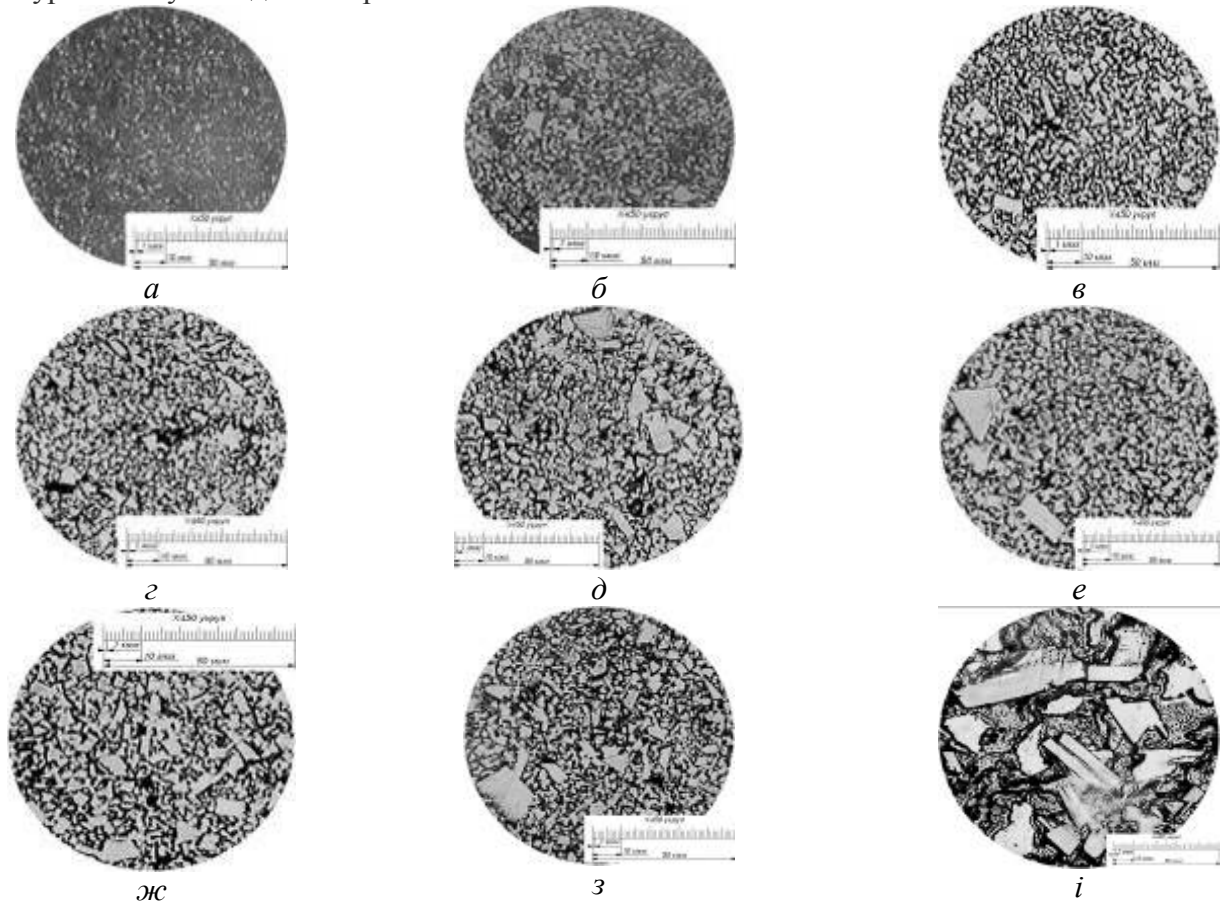


Рис. 2. Структура сплаву ВК20, спеченого за температури: а – 1300 °С; б – 1350 °С; в – 1360 °С; г – 1400 °С; д – 1450 °С; е – 1470 °С; ж – 1500 °С; з – 1550 °С; і – 1750 °С

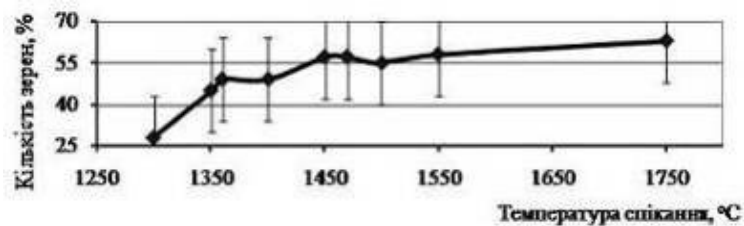


Рис. 3. Залежність кількості сформованих зерен WC розміром понад 5 мкм від температури спікання у структурі твердого сплаву ВК20

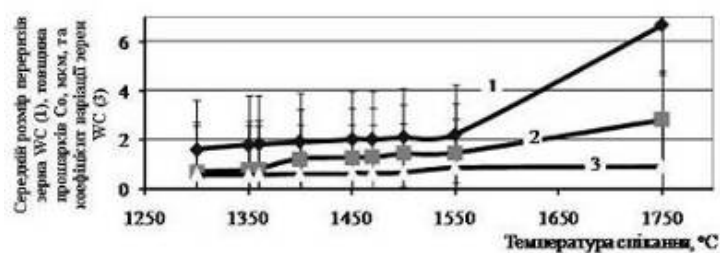


Рис. 4. Залежності від температури спікання: 1 – середнього розміру  $\bar{d}_{WC}$  зерен WC; 2 – товщини прошарків Со; 3 – коефіцієнта варіації зерен WC сплаву ВК20

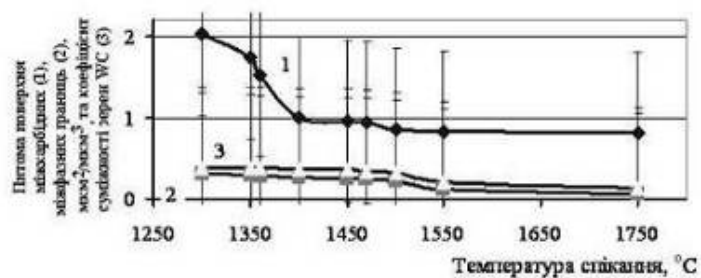


Рис. 5. Залежності від температури спікання: 1 – площі питомої поверхні між карбідних меж; 2 – міжфазних меж; 3 – коефіцієнта суміжності зерен WC сплаву ВК20

Значення  $S_{WC-WC}$ ,  $S_{WC-Co}$  та коефіцієнт суміжності зерен WC зменшуються в усьому діапазоні температур спікання сплаву (рис. 5). Важливо, що суттєвого зменшення до температури 1450 °C зазнає тільки питома поверхня міжкарбідних границь.

Результати дослідження структурних характеристик сплаву за нетравленими шліфами та визначення на травлених шліфах розмірів зерен WC засвідчують, що існує певний температурний інтервал, за якого один процес збільшення розмірів зерен WC замінюється іншим (див. таблицю).

Структурні характеристики твердого сплаву ВК20, спеченого за різних температур спікання

Температура спікання, °C	1300	1350	1360	1400	1450	1470	1500	1550	1750
Кількість пор розміром	Д-1 0,1	Д-1 0,1	Д-1 0,1	Д-1 0,1	Д-2 0,2	Д-2 0,2	Д-2 0,2	Д-2 0,2	Д-2 0,2
Розподіл зерен WC за розмірами на шліфах	–	–	–	–	73	90, 109	54, 90, 109, 183, 80x402	24–від 90 до 914	60–від 54 до 1360
Розподіл зерен WC за розмірами на шліфах	64	48	45	45	35	32	32	25	13
Розподіл зерен WC за розмірами на шліфах	27	22	20	19	14	16	15	13	14
Розподіл зерен WC за розмірами на шліфах	8	17	18	18	16	18	19	16	17
Розподіл зерен WC за розмірами на шліфах	1	8	10	10	17	18	19	25	23
Розподіл зерен WC за розмірами на шліфах	–	5	4	6	12	9	12	6	14
Розподіл зерен WC за розмірами на шліфах	–	–	2	2	5	4	2	8	9
Розподіл зерен WC за розмірами на шліфах	–	–	1	–	1	2	1	4	3
Розподіл зерен WC за розмірами на шліфах	–	–	–	–	–	1	–	3	4
Розподіл зерен WC за розмірами на шліфах	–	–	–	–	–	–	–	–	3
Ширина прошарків в 10 полях зору Co фази, мкм	0,1–1,0–1,5	0,1–1,0–1,5	0,2–1,0–1,5	0,2–1,0–1,5	0,5–1,0–1,5	0,5–1,0–1,0–2,0	0,5–1,0–2,0	0,5–1,0–2,0	0,5–1,0–2,0–3,0
Особливості структури	–	–	–	–	–	–	–	–	неоднорідна
Максимальний розмір зерен WC в одному полі зору, мкм	–	–	–	–	–	–	–	35	35, 40, 50, 60
Вміст включень вільного C, % (по об'єму)	0,1–0,2 по всій поверхні	0,2 по краю	0,2 по краю	0,1	–	0,2	0,2–0,3 по всій поверхні	≈0,3–0,4 по всій поверхні	≈1,0 по всій поверхні

η<sub>1</sub>-фази в сплаві не виявлено

Дослідження вмісту вільного С у структурі сплаву (рис. 6), спеченого за температури 1300–1500 °С, підтверджують результати досліджень наведених в таблиці.

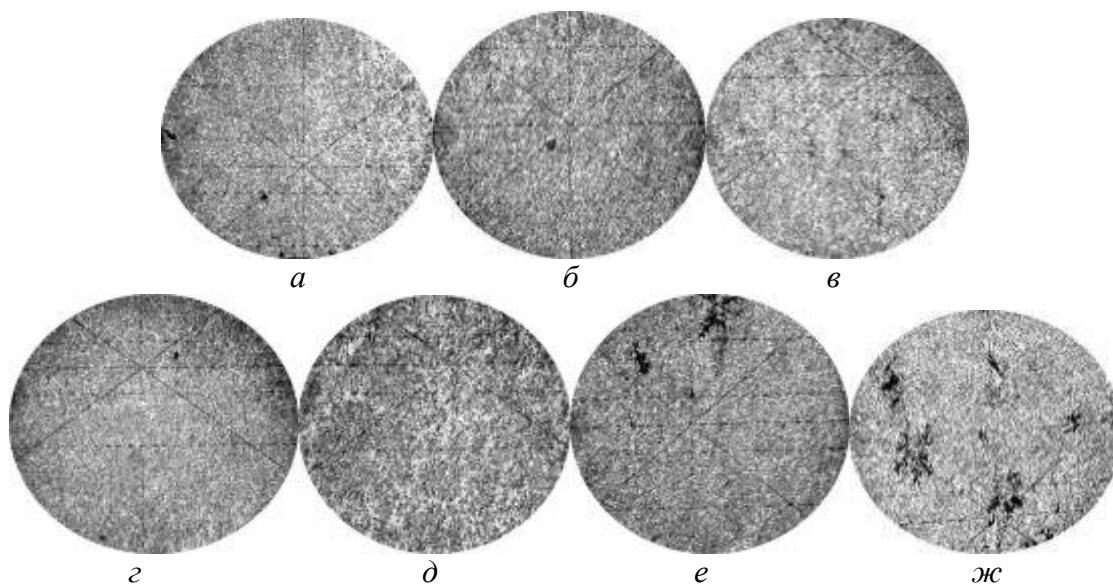


Рис. 6. Фрактографія структури сплаву BK20, спеченого за температури: а – 1300 °С; б – 1350 °С; в – 1360 °С; г – 1400 °С; д – 1450 °С; е – 1470 °С; ж – 1500 °С

### Висновки

Результати кількісного аналізу структур сплаву, що не має карбідного скелету, засвідчують, що хоча розподіли розмірів зерен WC на відміну від малокобальтового сплаву (BK3) (див. зноску на початку статті) різняться, проте мають один порядок аж до температури 1550 °С. За температури 1300 °С ряд закінчується на розмірі 6 мкм, за температури 1350 °С – 8 мкм, за 1360 °С – 10 мкм, 1400 °С – 9 мкм, 1450 °С – 14 мкм, 1470, 1500 та 1550 °С – 11 мкм. За температури 1750 °С розподіл розмірів зерен WC має дві складові: безперервний спектр, що закінчується на розмірі зерна 16 мкм, окремі аномальні групи та зерна розміром 18–24, 26–31, 34–37, 40, 45 і 50 мкм. Тільки за такої температури у сплаві різко збільшуються як граничні розміри зерен WC безперервного спектру, так і груп зерен і окремих аномально великих зерен. При цьому кількість великих зерен (понад 6–8 мкм) майже в двічі менша, ніж у малокобальтовому сплаві. Отже, у сплаві BK20 процеси, що зумовлюють появу у структурі сплаву великих зерен, відбуваються повільніше, ніж у сплаві BK3. Можливо, вони виділяються з рідкої фази і в більшому об'ємі рідини з'являється більше зародків зерен WC, а це не дає їм можливості перевищувати розміри зерен у сплаві BK3. Якщо у сплаві BK3 максимальний розмір зерен WC утворюється за температури 1500–1750 °С, то у сплаві BK20 зерна збільшуються до аномально великих розмірів лише за температури 1750 °С. За такої температури швидкість збільшення аномально великих зерен WC у розглянутих сплавах практично однакова. Для сплавів BK20 та BK3 залежності  $\bar{d}_{WC} = f(T_{сп})$  суттєво різняться. У сплаві BK20  $\bar{d}_{WC}$  збільшується в усьому інтервалі температур (1300–1750 °С) і може апроксимуватися функцією  $\bar{d}_{WC} = 0,73 \exp(6,86 T_{сп})$ . Важливо, що стереологічні характеристики структури сплаву BK20 різко змінюються за температури 1550 °С, а не за 1470 °С, як для сплаву BK3. Можливо, у сплаві BK20 деякі механізми збільшення зерен WC, що спостерігаються у сплаві BK3, не проявляються.

Усі визначені фізико-механічні властивості сплаву BK20 за температури спікання 1360 °С і вище погіршуються хоча для стереологічних характеристик ця температура не є знаковою. Ці явища потребують глибшого вивчення.

Надійшла 12.05.09