

І. Ю. Троснікова*, П. І. Лобода

Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського”, Київ, Україна
*irina2510@ukr.net

Вплив умов отримання на мікроструктуру, фазовий склад та властивості евтектичного сплаву системи WC–W₂C

Встановлено вплив умов отримання на мікроструктуру, фазовий склад і властивості евтектичного сплаву системи WC–W₂C – реліту, який широко використовується в якості наплавочного матеріалу для зміцнення швидкозношуваних деталей. Методами растрової електронної мікроскопії, рентгенофазового та дюрOMETричного аналізів виявлено, що підвищення механічних властивостей задовільно корелює зі зменшенням співвідношення між кількістю фаз W₂C, WC і WC_{1-x}, товщиною прошарків фаз в зернах та витягнутістю останніх.

Ключові слова: карбіди вольфраму, газове середовище, відцентрове розпилення, швидкість охолодження, напружено-деформований стан.

ВСТУП

Деталі, що працюють в умовах великих динамічних навантажень, абразивного зношування, в агресивному середовищі та при високих температурах, наприклад, бури нафто- і гірничовидобувного обладнання, металообробного інструменту та ін., мають строк служби в 3–5 разів нижчий, аніж інші частини механізмів цієї техніки. Зношені деталі потребують заміни, що призводить до зниження рентабельності виробництва та збільшення витрат на ремонт обладнання. Проблема щодо підвищення зносостійкості для України є актуальною ще й у зв'язку з дефіцитом легуючих добавок та постійним розширенням області їхнього застосування (наприклад, для видобутку сланцевого газу). Проблема підвищення зносостійкості можна вирішити виготовленням конструкційних деталей машин і механізмів з нових матеріалів з підвищеними твердістю, міцністю та в'язкістю або модифікуванням поверхні традиційних шляхом нанесення зносостійких покриттів [1, 2].

Керамічні матеріали мають найбільш високі значення температури плавлення, модуля пружності, температури початку інтенсивної повзучості, твердості. Серед перспективних традиційних матеріалів для захисту металевих виробів від зношування є евтектичний сплав системи WC–W₂C (реліт). Головним недоліком керамічних матеріалів є низька міцність та висока крихкість. З усіх механізмів зміцнення (подрібнення зерна, армування волокнами, введення пластичної зв'язки, створення внутрішніх напружень та ін.) тільки армування монокристалічними волокнами забезпечує збільшення міцності більше ніж на порядок. Одержання армованих керамічних матеріалів змішуванням порошків матричної фази та волокон з наступним спіканням, гарячим пресуванням, ізостатичним пресуванням не дозволяє зберегти цілісність і рівномірний розподіл волокон по об'єму матричної фази. Методи кристалізації із розплавів

евтектичних сплавів дозволяють отримувати регулярне розташування волокон і формування когерентних та напівкогерентних границь розподілу між матричною фазою й волокнами, що є головною умовою підвищення термічної стабільності структури та поліпшення фізико-механічних властивостей матеріалу. Водночас ступінь когерентності, рівномірність розподілу за розмірами, розмір волокон залежать від теплових умов кристалізації, хімічного складу та природи фазових складових композиційного матеріалу [3, 4].

Головною умовою формування армованих керамічних матеріалів кристалізацією із розплавів є евтектичний характер діаграми стану. Відомо, що взаємодія між карбідом і напівкарбідом вольфраму описується евтектичною діаграмою стану, але не вивченими є питання впливу робочих умов кристалізації на мікроструктуру та фазовий склад сплавів системи WC–W₂C. Тому актуальним є дослідження впливу умов отримання, а саме газового середовища на мікроструктуру, фазовий склад і властивості евтектичного сплаву системи WC–W₂C з метою підвищення механічної міцності та зносостійкості.

Метою роботи було встановлення впливу умов отримання на мікроструктуру, фазовий склад і властивості евтектичного сплаву системи WC–W₂C.

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТУ

Вихідний евтектичний сплав карбідів вольфраму WC–W₂C було отримано відцентровим розпиленням виливків, виплавлених в печі Таммана за температури 3100 °С.

Попередньо підготовлений електрод евтектичного сплаву карбідів вольфраму, який з'єднаний з тримачем, встановлювали у камеру, заповнену інертним газом (аргоном, азотом або їх сумішшю). Торець стрижня оплавляли за допомогою плазмо-дугового розряду. В якості плазмоутворюючого газу використовували аргон, азот і аргонно-азотна суміш у співвідношенні 50:50. Розплав під дією відцентрових сил видаляється з торця стрижня у вигляді крапель і кристалізується у польоті. У міру розплавлення стрижень подавали дотори. Поверхню камери охолоджували водою.

Мікроструктуру отриманих сплавів вивчали за допомогою растрового електронного мікроскопу REM-106И (SELMI, Суми, Україна).

Рентгенографічні дослідження фазового складу було проведено на дифрактометрі RIGAKU ULTIMA IV з використанням методів Рітвельда та Reference Intensity Ratio (RIR) при випромінюванні CuK $\alpha_{1,2}$ ($\lambda_{CuK\alpha_1} = 0,1541$ нм).

Твердість сплаву досліджували методом Віккерса на мікротвердомірі ПМТ-3 при навантаженні на алмазну пірамідку 150 г.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для того, щоб підтвердити, що швидкість охолодження призводить до формування комірчастої структури [5], досліджували мікроструктуру евтектичного сплаву системи WC–W₂C в залежності від робочого газового середовища (захисного та плазмоутворюючого газу) та розміру частинок порошку.

Евтектичний сплав системи WC–W₂C отримано відцентровим розпиленням в захисному середовищі аргону (рис. 1, а, б, з) та азоту (рис. 1, в). В якості плазмоутворюючого газу було використано суміш газів азоту і аргону у співвідношенні 50:50 (рис. 1, а, в); азоту (рис. 1, б) і аргону (рис. 1, з).

Твердість за Віккерсом евтектичного сплаву системи WC–W₂C, отриманого відцентровим розпиленням, в залежності від зміни захисного та плазмоут-

ворюючого газового середовища і дисперсності частинок порошку суттєво відрізняється (рис. 2).

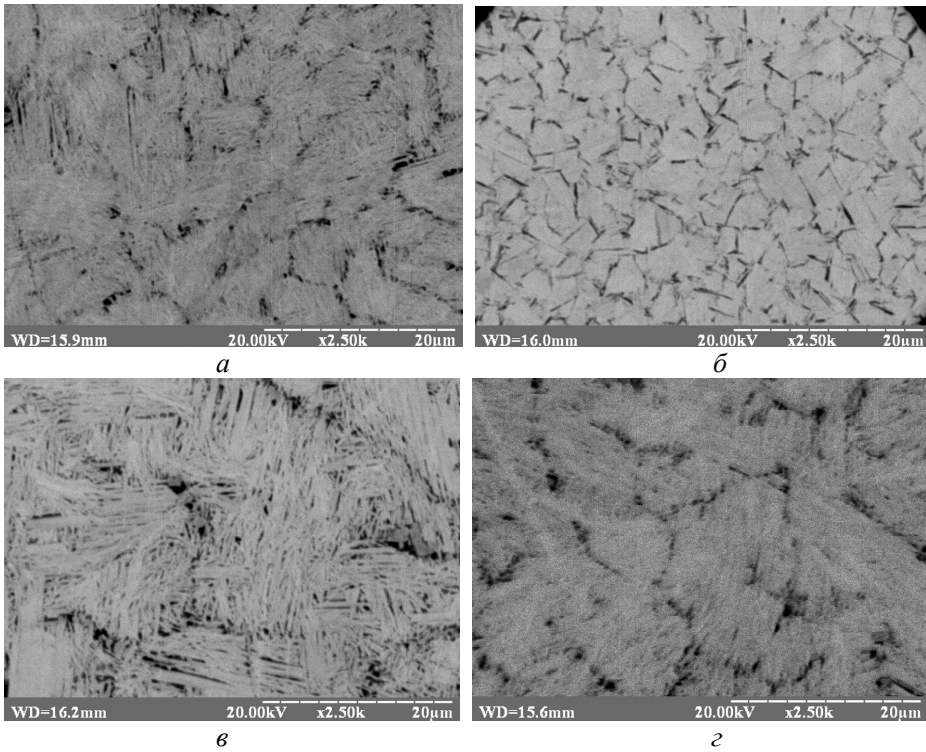


Рис. 1. Мікроструктура евтектичного сплаву системи WC–W₂C, отриманого відцентровим розпиленням у різних газових середовищах: Ar, N/Ar (а); Ar, N (б); N, N/Ar (в); Ar, Ar (г).

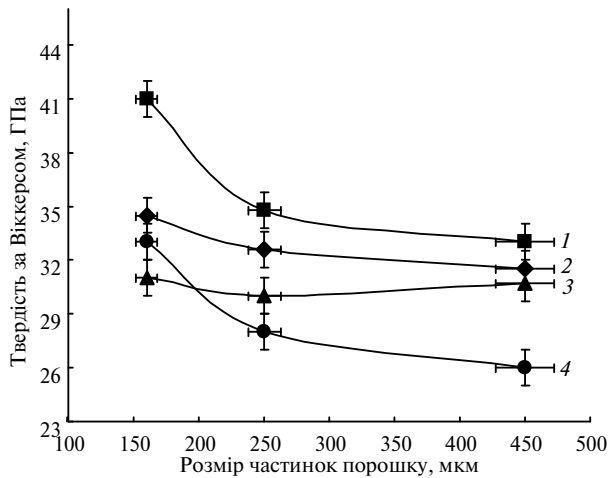


Рис. 2. Вплив дисперсності частинок порошку евтектичного сплаву системи WC–W₂C, отриманого відцентровим розпиленням в різних газових середовищах, на твердість: Ar, N (1); Ar, N/Ar (2); N, N/Ar (3); Ar, Ar (4).

Методом рентгенофазового аналізу було ідентифіковано три фази (W₂C, WC і WC_{1-x}) для сплавів, отриманих в різних газових середовищах (Ar, N; Ar, N/Ar; N, N/Ar; Ar, Ar) та встановлено, що їх вміст змінюється (рис. 3).

Вміст фази WC_{1-x} у сплаві, отриманому у захисному середовищі аргону, розігрітого плазмою з азоту, дорівнює 11 % (за масою), а у сплаві, отриманому у захисному середовищі аргону, розігрітого плазмою з аргону, її кількість зменшується вдвічі, вміст фази WC практично не змінюється – 18–20 % (за масою), а вміст фази W_2C змінюється від 69 до 78 % (за масою).

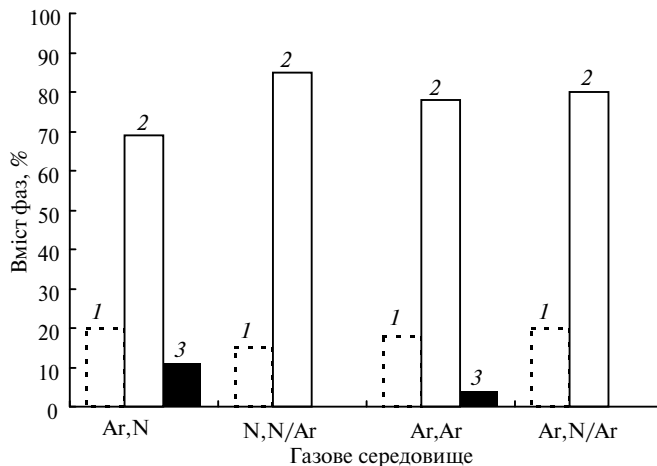


Рис. 3. Вміст фазових складових евтектичного сплаву системи $WC-W_2C$, отриманого в різних газових середовищах: WC (1), W_2C (2), WC_{1-x} (3).

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Металографічним аналізом встановлено, що частинки порошку реліту, отриманого відцентровим розпиленням, мають майже ідеальну сферичну форму розміром 150–450 мкм без видимих дефектів на поверхні і високу щільність, а їх мікроструктура однорідна і надзвичайно дрібно-кристалічна за рахунок високої швидкості охолодження при кристалізації (див. рис. 1).

Можна помітити різницю лише у формі пластин, товщині прошарків фаз в зернах та витягнутості останніх. Середня довжина пластин становить 20–40 мкм, а ширина – 0,5–2 мкм (див. рис. 1 а, б, в), а довжина і ширина пластин сплаву, отриманого в середовищі азот–азот/аргон, складають 50–70 і 4–8 мкм відповідно.

Найбільші (41 ГПа) значення твердості, досягнуті у сплаві реліту з розміром частинок порошку менше 160 мкм, отриманих під час розпилення в середовищі аргону розплаву, розігрітого плазмою з азоту (див. рис. 2). Це пояснюється основною властивістю газів – коефіцієнтом теплопровідності та потенціалом іонізації. Методом кількісного металографічного аналізу встановлено, що підвищення механічних властивостей задовільно корелює зі зменшенням співвідношення між кількістю фаз W_2C , WC і WC_{1-x} , товщиною прошарків фаз в зернах та витягнутістю останніх. Кількість W_2C зменшується по мірі збільшення швидкості охолодження, що призводить до збільшення твердості сплаву із більш дрібних частинок порошку реліту в порівнянні з крупнішими.

Встановлено, що під час розпилення в середовищі азоту зменшення твердості частинки порошку реліту обумовлено переважно втратою вуглецю. Втрата вуглецю спричиняє збільшення кількості й розмірів фази W_2C , що призводить до зниження твердості. Через більшу теплопровідність азоту ($2,57 \cdot 10^{-2}$ Вт/(м·К)) у порівнянні з аргоном ($1,71 \cdot 10^{-2}$ Вт/(м·К)) частинки порошку реліту одного й того ж діаметру мають більшу твердість у випадку більшої швидкості охолодження, якщо хімічний склад (співвідношення між

кількістю вольфраму та вуглецю) залишається під час розпилення і кристалізації незмінним.

Як видно на рис. 2, твердість за Віккерсом реліту зі збільшенням розміру частинок порошку зменшується, що можна пояснити формуванням більш однорідної дрібнокристалічної структури, що обумовлено високою швидкістю охолодження та відсутністю видимих поверхневих дефектів.

ВИСНОВКИ

Мікроструктура евтектичного сплаву системи WC–W₂C, отриманого в різних газових середовищах, суттєво відрізняється. Найбільш дрібнокристалічна структура спостерігається у сплаві, отриманому у захисному середовищі аргону з плазмоутворюючим газом азотом.

Методами рентгенофазового, кількісного металографічного аналізів встановлено, що підвищення механічних властивостей задовільно корелює зі зменшенням співвідношення між кількістю фаз WC і W₂C, товщиною прошарків фаз в зернах та їх витягнутістю.

Показано, що твердість сплаву зростає в 1,5 рази з підвищенням швидкості охолодження, що задовільно пояснюється зменшенням розміру зерен та зміною напружено-деформованого стану фазових складових композиційного матеріалу і пояснюється механізмом зернограничного зміцнення.

Установлено влияние условий получения на микроструктуру, фазовый состав и свойства эвтектического сплава системы WC–W₂C – релита, который широко используется в качестве наплавочного материала для упрочнения быстроизнашивающихся деталей. Методами растровой электронной микроскопии, рентгенофазового и дюрOMETрического анализом выявлено, что повышение механических свойств удовлетворительно коррелирует с уменьшением соотношения между количеством фаз W₂C, WC, WC₁₋₃, толщиной слоев фаз в зернах и вытянутостью последних.

Ключевые слова: карбиды вольфрама, газовая среда, центробежное распыление, скорость охлаждения, напряженно-деформированное состояние.

The influence of the obtaining conditions on microstructure, phase composition and properties of eutectic alloy of the WC–W₂C system (relit), which is widely used as a surfacing material to strengthen the wearing parts, was installed. Using scanning electron microscopy, X-ray diffraction and durometric analyzes, it was found that the increase in mechanical properties is satisfactorily correlated with a decrease in the ratio between the number of phases of W₂C, WC and WC₁₋₃, the thickness of the phase layers in the grains, and the elongation of the latter.

Keywords: tungsten carbides, gaseous medium, centrifugal sputtering, cooling rate, stress-strain state.

1. Ющенко К.А., Борисов Ю.С., Кузнецов В.Д., Корж В.М. Инженерия поверхности. Київ: Наук. думка, 2007. 553 с.
2. Жудра А.П. Наплавочные материалы на основе карбидов вольфрама. *Автоматическая сварка*. 2014. № 6–7. С. 69–74.
3. Лобода П.І. Спрямовано закристалізовані бориди. Київ: Праймдрук, 2012. 395 с.
4. Loboda P.I., Soloviova T.O., Bogomol Yu.I., Remizov D.O., Bilyi O.I. Effect of the crystallization kinetic parameters on the structure and properties of eutectic alloy of the LaB₆–TiB₂ system. *J. Superhard Mater.* 2015. Vol. 37, no. 6. P. 394–401.
5. Trosnikova I.Yu., Loboda P.I., Karasevska O.P., Bilyi O.I. Effect of the cooling rate during melt solidification on the structure and properties of WC–W₂C. *Powder Metallurgy Metal Ceram.* 2014. Vol. 52, no. 11. P. 674–679.

Надійшла до редакції 02.05.2018

Після доопрацювання 25.05.2018

Прийнята до опублікування 25.05.2018