

**MATERIALS SCIENCE**DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-046-9-17>**ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КОНСОЛІДОВАНИХ  
ТИТАНОМАТРИЧНИХ КОМПОЗИТИВ, ЩО МІСТЯТЬ РІЗНУ  
КІЛЬКІСТЬ КАРБІДУ ТИТАНУ, СИНТЕЗОВАНОГО  
ПРИ ЕЛЕКТРИЧНОМУ РОЗРЯДІ У ВУГЛЕВОДНЕВІЙ РІДИНІ****Липян Є. В.**

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник  
Інститут імпульсних процесів і технологій  
Національної академії наук України*

**Присташ М. С.**

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник  
Інститут імпульсних процесів і технологій  
Національної академії наук України*

**Торпаков А. С.**

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник  
Інститут імпульсних процесів і технологій  
Національної академії наук України  
м. Миколаїв, Україна*

Властивості металоматричних композиційних матеріалів (ММК) значною мірою залежать як від його складу, так і від технології отримання. Переважна більшість ММК наразі виготовляється методами порошкової металургії [1, 2]. Наразі багато дослідників вважають перспективним створення нових ММК із підвищеними властивостями на основі порошкової системи Ti–TiC, оскільки такий матеріал відрізняється невисокою собівартістю та хімічною сумісністю матриці та дисперснозмінюючих частинок [1–3]. В Інституті імпульсних процесів і технологій НАН України (ІПТ НАНУ) створено енергоєфективну технологію підготовки вихідних порошків металів та надтвердих матеріалів шляхом обробки високовольтним електричним розрядом (ВЕР) у вуглеводневій рідині [4–5]. При такій обробці частинки

оброблюваного порошку зазнають комбінованого впливу механічних (ударна хвиля, гідропотоки, кавітація) та термоелектричних (плазма каналу розряду, мікроплазмові утворення між частинками, струм розряду, що протікає безпосередньо через частинки) факторів, що призводить до їх диспергування. Під впливом низькотемпературної плазми вуглеводнева рідина зазнає піролізу, що призводить до утворення частинок вільного нановуглецю. Ці частинки вступають в реакції карбідизації з обробленим порошком, завдяки чому дисперсні зміцнювачі не додаються окремо до складу шихти, а утворюються під час її ВЕР обробки

На жаль, вплив режиму ВЕР обробки на такі важливі властивості ММК системи Ti–TiC, як твердість та зносостійкість, наразі не досліджено. Тому встановлення зв'язку між параметрами електророзрядної підготовки шихти та особливостями структуроутворення ММК системи Ti–TiC є актуальною науковою задачею.

**Мета роботи** – дослідження впливу режиму ВЕР обробки вихідної порошкової шихти на властивості ММК системи Ti–TiC, консолідованих методом іскро-плазмового спікання (ІПС).

Дослідження та відпрацювання оптимальних режимів відбувалося шляхом експериментальної консолідації зразків ММК та визначення їх складу, та основних фізико-механічних та експлуатаційних характеристик згідно з методиками, наведених у [4–5]. Консолідація оброблених зразків виконували на розробленому в ІПТ НАНУ комплексі «Гефест-10», який дозволяє консолідувати порошки у графітових матрицях шляхом механічного навантаження у вакуумі шляхом пропускання через порошкову засипку суперпозиції постійного та змінного (10 кГц) струмів сумарною амплітудою 1,1 кА при механічному навантаженні до 50 МПа [6].

Відповідно до отриманих значень дисперсності та концентрації карбіду титану, для відпрацювання режимів ІПС було обрано шихту отриману ВЕР обробкою порошку титану в гасі та в спирті з питомою енергією  $W_{\text{пнт}} = 10$  МДж/кг та 20 МДж/кг при одиничній енергії  $W_1 = 1$  кДж з різними типами електродних систем: «вістря – площина» (В–П) та «три вістря – площина» (ЗВ–П) та середовища (гас або спирт) (див. табл. 1).

Встановлено, що кількість карбіду титану у консолідованих зразках залежить від режиму обробки (див. табл. 1 та рис. 1), а саме від кількості вуглецю, який утворився під час ВЕР. Твердість консолідованих зразків за Віккерсом наведено на рис. 2. Найбільші показники

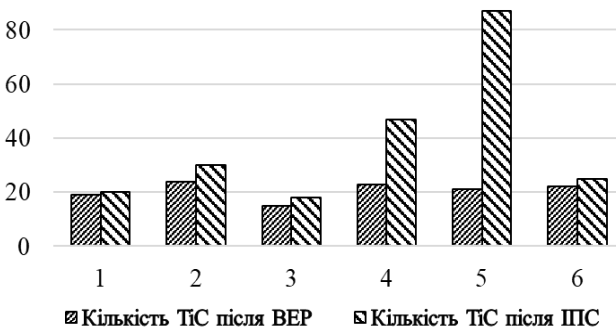
твердості мали зразки отримані з шихти після обробки з  $W_{\text{пнт}} = 10$  МДж/кг з системою В–П у гасі.

Таблиця 1

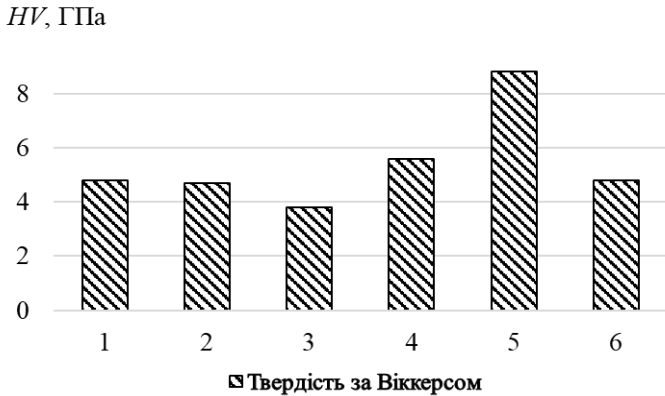
**Перелік порошоків, синтезованих при ВЕР обробці,  
які консолідовані ПС**

№ ре- жиму	Поро- шок	Середо- вище	Тип ЕС	$W_1$ , кДж	$W_{\text{пнт}}$ , МДж/кг	TiC, %	Режим ПС
1	Ti	спирт	В – П	1	10	19	$T = 1100$ $^{\circ}\text{C}$ , $\tau =$ $180 \text{ c}$
2		гас	В – П			24	
3		гас	ЗВ – П			15	
4		спирт	В – П		20	23	
5		гас	В – П			21	
6		гас	ЗВ – П			22	

TiC, %



**Рисунок 1. Кількість карбіду титану, синтезованого ВЕР  
та після ПС шихти відповідно до таблиці 1.**



**Рисунок 2. Твердість за Віккерсом матеріалу Ti–TiC, отриманого ІПС відповідно до таблиці 1**

Втрата ваги отриманих ММК при зношуванні наведена у табл. 2. Методика випробування характеристик абразивного зношування полягає у вимірюванні масового зносу зразків для заданого шляху тертя (кількості циклів  $N$ ) при постійних заданих динамічному режимі та умовах тертя: нормальне завантаження, швидкість ковзання, тип абразиву, розміри зразка.

Таблиця 2

**Зносостійкість консолюдованих зразків**

№ режиму	Режим обробки	Втрата ваги, мг	Швидкість зношування, мг/м	Зносостійкість, м/мг
1	Спирт, ЕС В – П, $W_{\text{пит}}=10$ МДж/кг	4,2	0,10	10
2	Гас, ЕС В – П, $W_{\text{пит}}=10$ МДж/кг	29,3	0,68	1,46
3	Гас, ЕС 3В – П, $W_{\text{пит}}=10$ МДж/кг	30,7	0,72	1,39
4	Спирт, ЕС В – П, $W_{\text{пит}}=20$ МДж/кг	24,2	0,56	1,77
5	Гас, ЕС В – П, $W_{\text{пит}}=20$ МДж/кг	28,7	0,67	1,49
6	Гас, ЕС 3В – П, $W_{\text{пит}}=20$ МДж/кг	25,2	0,59	1,7

**Висновки:**

1. Встановлено, що консолідація суміші Ti–TiC після ВЕР обробки у гасі типом електроду В–П дозволяє збільшити вміст TiC у компактi з 24 % до 30 % при консолідації суміші Ti–TiC, обробленої з питомою енергією 10 МДж/кг, та з 21 % до 87 % при консолідації суміші, обробленої з питомою енергією 20 МДж/кг, що свідчить про реакцію карбідизації залишкового вуглецю, кількість якого залежить від питомої енергії обробки.

2. Використання електродної системи 3В–П при обробці порошку Ti у гасі не показало тенденції до збільшення вмісту TiC після консолідації, що свідчить про відсутність залишкового вуглецю після ВЕР обробки, але дозволяє збільшити зносостійкість з 1,39 м/мг до 1,7 м/мг, твердість за Віккерсом з 3,6 ГПа до 4,8 ГПа для ММК, синтезованого ІПС з шихти, отриманої ВЕР синтезом із питомою енергією обробки 10 МДж/кг та 20 МДж/кг відповідно.

3. Консолідація суміші Ti–TiC після ВЕР обробки в етиловому спирті типом електроду В–П не призводить до зміни вмісту TiC при консолідації суміші, обробленої з питомою енергією 10 МДж/кг, однак після використання суміші, обробленої з  $W_{\text{пит}} = 20$  МДж/кг, кількість TiC зростає майже у два рази, що свідчить про наявність залишкового вуглецю у складі шихти після ВЕР обробки.

**Література:**

1. Sharma D. K., Mahant D., Upadhyay G. Manufacturing of metal matrix composites: A state of review. *Materials Today: Proceedings*. 2020. Vol. 26, Part 2. P. 506–519.

2. Roger J., Gardiola B., Andrieux J. et al. Synthesis of Ti matrix composites reinforced with TiC particles: thermodynamic equilibrium and change in microstructure. *Journal of Materials Science*. 2017. Vol. 52. P. 4129–4141.

3. Miracle D. B. Metal matrix composites – From science to technological significance. *Composites Science and Technology*. 2005. Vol. 65. No. 15/16. P. 2526–2540.

4. Sizonenko O. N., Grigoryev E. G., Pristash N. S. et al. Plasma methods of obtainment of multifunctional composite materials, dispersion-hardened by nanoparticles. *High Temperature Materials and Processes*. 2017. Vol. 36, No. 9. P. 891–896.

5. Syzonenko O. M., Loboda P. I., Zaichenko A. D. et al. The influence of high-voltage electrical discharge on dispersion and structure of B<sub>4</sub>C powder. *Journal of Superhard Materials*. 2017. Vol. 39, No. 4. P. 243–250.

6. Sizonenko O., Zaichenko A., Torpakov A. et al. Pulsed-discharged technology of metal-matrix composite materials obtainment. *Materials Science. Non-equilibrium phase transformations*. 2015. Vol. 1, No. 1. P. 15–18.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-046-9-18>

## **ВЛАСТИВОСТІ ДИФУЗІЙНИХ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ ХРОМУ ТА КРЕМНІЮ НА ВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЯХ**

**Янцевич К. В.**

*молодий науковий співробітник  
Інститут електрозварювання імені Є. О. Патона  
Національної академії наук України  
м. Київ, Україна*

Відомо, що нанесення на поверхню сталей та сплавів дифузійних покриттів призводить до підвищення їх твердості, міцності зносостійкості, жаростійкості та корозійної стійкості у різних агресивних середовищах[1-5]. Фізико – хімічні властивості та корозійна стійкість таких покриттів залежить від складу дифузійних шарів, способу та режиму отримання, марки оброблюваної сталі, природи агресивного середовища. Комплексне насичення хромом та кремнієм дозволяє формувати на поверхні вуглецевих сталей двокомпонентні дифузійні шари, які володіють поліпшеними захисними властивостями в порівнянні з однокомпонентними кремнієвими та хромовими покриттями.

В роботі представлені результати фізико-хімічних властивостей хромосиліцидних покриттів та вплив їх на корозійну стійкість у деяких агресивних середовищах.

Для нанесення покриттів використовували спеціальну установку, яка була виготовлена на базі шахтної печі СШОЛ 1.1.6/12. Процес проводили при температурі 1200-1400К при парціальному тиску в реакційній камері  $10^2$  Па з використанням порошків феросиліцію марки ФС – 90, хрому марки Х-2, чотирихлористого вуглецю та графіту. В конструкцію робочої камери при нанесенні хромосиліцидного покриття вперше було застосовано реакційний стакан з графітовим дном [6], що дало можливість підвищити активність газової фази та