

Віра ШВЕЦЬ, Віктор ТАЛАШ, Юлія РУДЕНКО

КОРОЗИЙНО-ЕЛЕКТРОХІМІЧНА ПОВЕДІНКА КАРБІДУ ТИТАНУ TiC_x У РОЗЧИНІ 3% NaCl ТА ВПЛИВ НА НЕЇ ПОПЕРЕДНЬОЇ КАТОДНОЇ ПОЛЯРИЗАЦІЇ

*Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України
вул. Кржижановського, 3, Київ, 03680, Україна. E-mail: shtal@ipms.kiev.ua*

Vera SHVETS, Victor TALASH, Yulia RUDENKO

CORROSION-ELECTROCHEMICAL BEHAVIOR OF TITANIUM CARBIDE TiC_x IN SOLUTION OF 3% NaCl AND THE EFFECT OF PRELIMINARY CATHODIC POLARIZATION ON IT

*Frantsevichs Institute for Problems of Materials Science, NASU
3, Krzhyzhanovsky St., Kyiv, 03680, Ukraine. E-mail: shtal@ipms.kiev.ua*

ABSTRACT

Stoichiometric titanium carbide TiC is a synthetic superhard corrosion-resistant and wear-resistant chemically inert material that is in demand in the production of composites, protective coatings of metalworking tools and heat-resistant products. During exploitation in aggressive liquid natural environments, such products are subjected to corrosive attack, and can also be cathodically polarized upon contact with more electronegative materials [1–3].

In this work, the corrosion-electrochemical behavior of stoichiometric and non-stoichiometric titanium carbide TiC_x in the area of homogeneity ($x = 0.6; 0.7; 0.8; 0.9; 1.0$) and metallic iodide titanium was studied in a 3% solution NaCl, imitating aggressive natural and biomedical liquid media.

The studies were carried out by the method of obtaining anodic and cathodic polarization curves in the potentiodynamic mode.

Compact TiC_x samples were obtained from powders of the corresponding compositions by hot pressing with further annealing in a vacuum furnace. The structure and surface condition of the samples prepared for research were certified by X-ray phase analysis and Auger electron spectroscopy, as a result of which it was found that they are single-phase and have a polycrystalline structure.

It was shown that the rates of the anode processes of all the TiC_x materials under study are the limiting stages of the investigated corrosion processes occurring on their surfaces. It was found that the corrosion resistance of the studied materials decreases in the order $Ti \rightarrow TiC_{1.0} \rightarrow TiC_{0.9} \rightarrow TiC_{0.8} \rightarrow TiC_{0.6} \rightarrow TiC_{0.7}$, which is presumably explained by a change in the Ti – C bond strength [5].

It was also established that, after preliminary cathodic polarization, the $TiC_{0.8}$ and Ti iodide samples have the lowest anodic oxidation rate, while in all other cases this characteristic increases significantly.

KEY WORDS: *non-stoichiometric titanium carbide TiC_x , anode processes corrosion resistance, limiting stages of the corrosion processes.*

ВСТУП

Карбід титану TiC стехіометричного складу є синтетичним надтвердим і зносостійким хімічно інертним матеріалом, та є затребуваним для створення композитів, захисних покриттів металообробного інструменту та жароміцних виробів.

Під час експлуатації такі вироби піддаються окиснювальному впливу агресивних рідинних промислових і природних середовищ, а також можуть поляризуватися катодно у разі контакту з більш електронегативними матеріалами.

Вивчення електрохімічних властивостей карбіду титана стехіометричного та нестехіометричного складів TiC_x проводили, як правило у кислотах [1, 2]. У нейтральних рідинних агресивних середовищах (3% та 3,5% розчини NaCl) досліджено карбід титану лише стехіометричного складу [3–5].

Вплив попередньої катодної поляризації на електрохімічну поведінку карбіду титана стехіометричного та нестехіометричного складів, а також карбідних поверхневих шарів на титані в кислих середовищах вивчали у роботах [2, 5]. У [4] наведені результати дослідження впливу попередньої катодної поляризації на електрохімічну поведінку карбіду титану стехіометричного складу у нейтральному агресивному розчині 3% NaCl. Слід зазначити, що у всіх випадках TiC стехіометричного складу має досить високу стійкість до окиснення.

У разі застосування методу гарячого пресування, область гомогенності карбіду титану TiC_x складає $x = 0,5 \div 1,0$, в залежності від складу шихти. При цьому, згідно [6], можуть утворюватися сполуки карбіду титану кубічної або тетрагональної модифікацій. У [6, 7] встановлено, що у сполуках TiC_x присутні два типи зв'язків $Ti-Ti$ і $Ti-C$, причому зв'язок $Ti-C$ є значно міцнішим. Згідно [7] саме цей зв'язок забезпечує для карбіду титану стехіометричного складу $TiC_{1,0}$ високу стійкість до окиснення.

У [8] опубліковано лише результати вивчення механізмів анодного окиснення цих сполук у розчині 3% NaCl.

Аналіз вищезначених публікацій свідчить, що електрохімічні процеси на поверхнях нестехіометричних сполук TiC_x в області гомогенності практично не вивчені.

Метою даної роботи було вивчення електрохімічної поведінки TiC_x різного складу по вуглецю ($x = 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0$) у розчині 3% NaCl, що імітує агресивні природні середовища. Також у роботі показаний вплив на їхню анодну стійкість попередньої катодної поляризації.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Компактні зразки TiC_x отримано з порошків відповідних складів методом гарячого пресування.

Фазовий склад поверхонь всіх вихідних зразків досліджували за допомогою рентгенофазового аналізу (РФА) на установці ДРОН-4. Поверхні вихідних зразків у деяких випадках вивчали також методом енергодисперсійної рентгенівської спектроскопії (EDX) за допомогою Оже-мікрозонду з енергодисперсійним аналізатором EDX «INCA penta FETx3». Всі зразки TiC_x були однофазними, мали кубічну ґратку та полікристалічну структуру.

Процес анодної деструкції карбіду титану складів TiC_x та йодидного титану $Ti_{йод}$, а також вплив на цей процес попередньої катодної поляризації вивчали методом поляризаційних анодних і катодних кривих. Отримання вказаних кривих проводили в потенціодинамічному режимі за швидкості розгортання потенціала 0,5 mV/s на імпульсному потенціостаті ПИ-50-1. Значення потенціалів вимірювали відносно хлоридсрібного (Ag/AgCl) електроду порівняння. Катодну поляризацію проводили до 1,50 V від значень стаціонарних потенціалів. Результати всіх досліджень TiC_x порівнювали з поведінкою за тих же умов йодидного титану.

Перед дослідженнями всі зразки шліфували, знежирювали, промивали дистильованою водою та просушували на повітрі протягом 1,5 h. Аналогічно зразки готували перед дослідженням вихідних поверхонь TiC_x за методом Оже-електронної спектроскопії.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Отримані анодні поляризаційні криві для $Ti_{йод}$ та TiC_x як стехіометричного, так і нестехіометричного складів в області гомогенності опубліковано раніше в [8] і наведено на рис. 1. Як свідчать дані криві, стехіометричний карбід титану $TiC_{1,0}$, нестехіометричний $TiC_{0,9}$ та $Ti_{йод}$ поблизу стаціонарних потенціалів ($E_{ст}$) характеризуються непротяжною областю пасивності, де швидкість анодного процесу i_a практично дорівнює нулю. Поява подібної області на анодній кривій є результатом утворення на вихідній поверхні означених матеріалів пасивуючої оксидної плівки. У процесі анодної поляризації $TiC_{0,8}$, $TiC_{0,7}$ і $TiC_{0,6}$ (криві 4–6) такі області пасивності не утворюються і анодний процес перетікає рівномірно, найвище значення граничного анодного струму серед усіх досліджених матеріалів спостерігається у випадку $TiC_{0,8}$.

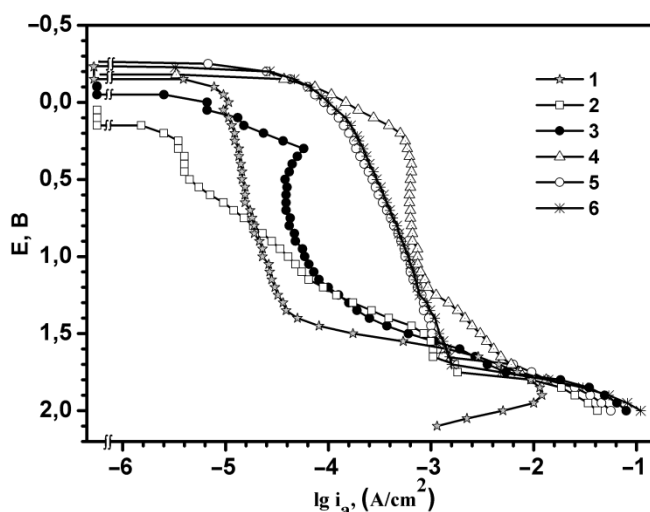


Рис. 1. Анодні поляризаційні криві йодидного Ті (1) та карбіду титана в області гомогенності (2 – $\text{TiC}_{1,0}$; 3 – $\text{TiC}_{0,9}$; 4 – $\text{TiC}_{0,8}$; 5 – $\text{TiC}_{0,7}$; 6 – $\text{TiC}_{0,6}$) у розчині 3% NaCl
 Fig. 1. Anode polarization curves of iodide titanium Ti (1) and titanium carbide in homogeneity (2 – $\text{TiC}_{1,0}$; 3 – $\text{TiC}_{0,9}$; 4 – $\text{TiC}_{0,8}$; 5 – $\text{TiC}_{0,7}$; 6 – $\text{TiC}_{0,6}$) in 3% NaCl solution.

Катодні криві, отримані при прямому та зворотньому ході катодної поляризації, а також процес анодного окиснення досліджених матеріалів після попередньої катодної поляризації наведено на рис. 2.

Як свідчить хід анодних кривих 1–3 (рис. 1) і катодних кривих 1–3 (рис. 2 а) швидкість корозії у випадку $\text{TiC}_{0,6}$ і $\text{TiC}_{0,7}$ контролюється величиною їхнього граничного анодного струму, а для $\text{Ti}_{\text{йод}}$ наявністю пасивуючої анодної плівки поблизу $E_{\text{ст}}$.

Тафелевські нахили ділянок активного виділення водню на катодних кривих для даних матеріалів (b_k) склали 200 mV (Ti), 400 mV ($\text{TiC}_{0,6}$) і 410 mV ($\text{TiC}_{0,7}$).

Зі співставлення ходу анодних кривих 5, 6 (рис. 1) та катодних 2, 3 (рис. 2 б) випливає, що корозійний процес $\text{TiC}_{0,9}$ і $\text{TiC}_{1,0}$ контролюється утворенням поблизу значень $E_{\text{ст}}$ пасивуючих плівок, де швидкість даного процесу практично дорівнює нулю. Протяжність ділянки пасивності на анодній кривій $\text{TiC}_{1,0}$ (рис. 1, крива 6) є дещо більшою (на 50 mV).

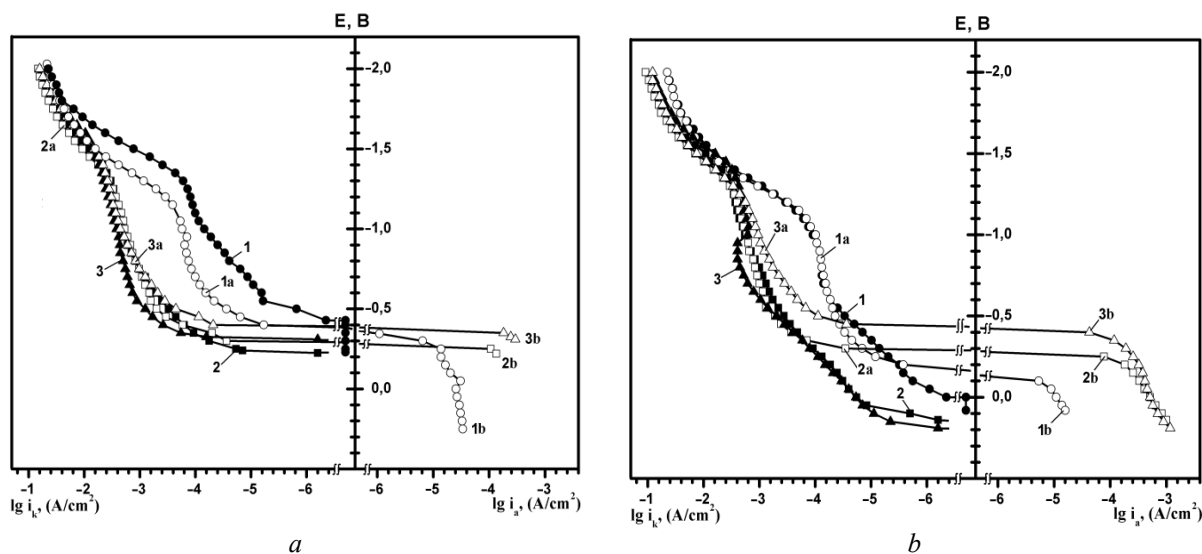
Швидкість корозії $\text{TiC}_{0,8}$, як у області активного виділення водню, так і за відновлення O_2 , має найменше значення порівняно з іншими дослідженими зразками TiC_x і наближається за величиною до показника $\text{Ti}_{\text{йод}}$. Для пояснення такої поведінки $\text{TiC}_{0,8}$ було проведено методом Оже-електронної спектроскопії аналіз складу вихідної поверхні даної сполуки, а також $\text{TiC}_{0,7}$ і $\text{TiC}_{1,0}$. Установлено, що на глибині 2–4 nm вміст Ti для $\text{TiC}_{0,8}$ є в 3,5 рази вищим за $\text{TiC}_{0,7}$, а на вихідній поверхні $\text{TiC}_{1,0}$ титан взагалі відсутній. На глибині 20 nm вміст Ti у $\text{TiC}_{0,8}$ є більшим в 40 разів за його кількість на цій же глибині порівняно з $\text{TiC}_{0,7}$ і в 7 разів порівняно з $\text{TiC}_{1,0}$. Очевидно, саме цей факт пояснює поведінку $\text{TiC}_{0,8}$ за прямого ходу катодної поляризації.

Тафелевські нахили ділянок активного виділення H_2 на катодних кривих у випадку $\text{TiC}_{0,8}$, $\text{TiC}_{0,9}$ і $\text{TiC}_{1,0}$ склали 200 mV, 200 mV і 280 mV відповідно, з цього витікає, що з усіх зразків TiC_x на означених сполуках виділення H_2 проходить з найвищою швидкістю.

Аналіз отриманих катодних та анодних залежностей для Ti і TiC_x в області гомогенності показав, що процес деструкції найактивніше протікає на $\text{TiC}_{0,6}$ і $\text{TiC}_{0,7}$, а Ti, $\text{TiC}_{0,8}$, $\text{TiC}_{0,9}$ і $\text{TiC}_{1,0}$ ведуть себе як електрохімічностійкі матеріали.

Як показано в [8] нестехіометричні сполуки $\text{TiC}_{0,6}$, $\text{TiC}_{0,7}$ і $\text{TiC}_{0,8}$ у своєму складі мають незавершені іонно-ковалентні зв'язки Ti—C та послаблені зв'язки Ti—Ti. Число означених зв'язків зростає у даних сполуках зі збільшенням вмісту вуглецю. Можливо, саме ці зв'язки є причиною того, що $\text{TiC}_{0,6}$, $\text{TiC}_{0,7}$ і $\text{TiC}_{0,8}$ володіють більшими значеннями граничних анодних струмів порівняно з $\text{TiC}_{0,9}$ і $\text{TiC}_{1,0}$ (рис. 1, криві 2–6), де зв'язки Ti—C є або практично ($\text{TiC}_{0,9}$), або повністю ($\text{TiC}_{1,0}$) заповнені. Так як процес деструкції $\text{TiC}_{0,6}$ і $\text{TiC}_{0,7}$ контролюється їхньою анодною поведінкою, можна стверджувати, що міцність зв'язку Ti—C у цьому процесі має вирішальне значення. В [8] укавано також, що завдяки утворенню в $\text{TiC}_{0,9}$ практично завершених, а у стехіометричному $\text{TiC}_{1,0}$ – повністю завершених сильних зв'язків Ti—C, дані

сполуки утворюють поблизу стаціонарного потенціалу за анодної поляризації непротяжні області пасивності, швидкість утворення яких контролює швидкість процесу корозії цих сполук та практично дорівнює нулю.



a 1, 1a, 1b – $Ti_{\text{вод}}$; 2, 2a, 2b – $TiC_{0,6}$; 3, 3a, 3b – $TiC_{0,7}$
b 1, 1a, 1b – $TiC_{0,8}$; 2, 2a, 2b – $TiC_{0,9}$; 3, 3a, 3b – $TiC_{1,0}$

Рис. 2. Катодні (1, 2, 3 – прямі; 1a, 2a, 3a – зворотні) та анодні (1b, 2b, 3b – після попередньої катодної поляризації) поляризаційні криві в розчині 3% NaCl.

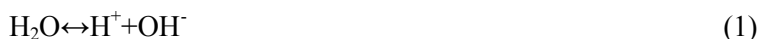
Fig.2. Cathode (1, 2, 3 - main, 1a, 2a, 3a - return) and anode (1b, 2b, 3b – after previous cathodic polarization) polarization curves in 3% NaCl solution.

Згідно [8] $TiC_{0,8}$ має максимальне серед досліджених TiC_x число незавершених зв'язків $Ti-C$. За РФА встановлено, що параметр ґратки вихідного зразка $TiC_{0,8}$ ($a = 0,43200$ nm) відрізняється від параметрів ґратки $TiC_{0,7}$ ($a = 0,43162$ nm) в сторону збільшення, чого не спостерігається із значеннями даних параметрів за переходу від $TiC_{0,6}$ ($a = 0,43160$ nm) до $TiC_{0,7}$. Саме це дає можливість заглиблення в ґратку $TiC_{0,8}$ значно більшої кількості атомів кисню.

Таким чином, поява поблизу $E_{ст}$ за катодної поляризації $TiC_{0,8}$ непротяжної ділянки, що контролює швидкість корозії даної сполуки, в якій струм процесу практично дорівнює нулю, пов'язана з видаленням кисню заглибленого в структуру поверхні.

Порівняння поведінки Ti і TiC_x в області гомогенності за прямого ходу катодної поляризації (рис. 2 *a*, криві 1–3; рис. 2 *b*, криві 1–3) показує, що майже у всіх випадках введення вуглецю в титан значно збільшує струми катодних реакцій в області відновлення O_2 та зменшує протяжність області активного виділення H_2 . Виключенням є $TiC_{0,8}$, катодна поведінка якого, як показано вище, нагадує поведінку $Ti_{\text{вод}}$.

На рис. 2 *a* наведені криві прямого і зворотнього ходу катодної поляризації Ti (1, 1a); $TiC_{0,6}$ (2, 2a) і $TiC_{0,7}$ (3, 3a). При порівнянні прямого (крива 1) та зворотнього (крива 1a) ходу катодної поляризації $Ti_{\text{вод}}$ спостерігається утворення катодної петлі, що виникає в результаті зміни складу поверхні дослідженого матеріалу за прямого ходу поляризації. У випадку $Ti_{\text{вод}}$ дана зміна може бути викликана, згідно [9] утворенням гідриду титана в результаті наступних реакцій:



Значення стаціонарного потенціалу ($E_{ст} = -0,08$ V) при цьому змістилось в негативну сторону на ~ 300 mV, що свідчить про якісну зміну складу вихідної поверхні $Ti_{\text{вод}}$ в результаті попередньої катодної поляризації за утворення сполук з воднем.

Прямий та зворотний хід катодних поляризаційних кривих $TiC_{0,6}$ (2, 2a) і $TiC_{0,7}$ (3, 3a) практично співпадають, що указує на відсутність якісних змін на поверхнях даних сполук в

результаті катодної поляризації. Це підтверджується також тим, що значення стаціонарних потенціалів $TiC_{0,6}$ ($E_{ст} = -0,239$ V) та $TiC_{0,7}$ ($E_{ст} = -0,310$ V) дуже незначно змістились після катодної поляризації в негативну сторону (на 50 mV і 80 mV відповідно).

Результати прямого і зворотнього ходу катодної поляризації $TiC_{0,8}$, $TiC_{0,9}$ та $TiC_{1,0}$ наведено на рис. 2 *b* (криві: 1, 1a; 2, 2a; 3, 3a). Як свідчать отримані дані, катодні струми прямого і зворотнього ходу для $TiC_{0,8}$ (криві 1 та 1a) в областях потенціалів відновлення O_2 і активного виділення водню співпадають, однак спостерігається значна зміна значень стаціонарного потенціалу ($E_{ст} = 0,080$ V) в негативну сторону на 230 mV. Подібна поведінка нестехіометричних TiC_x може бути викликана як видаленням з поверхні адсорбованого кисню, так і утворенням сполук з воднем у вигляді карбогідридів TiC_xH_y і гідриду титана TiH_2 [3].

Для нестехіометричного $TiC_{0,9}$ (рис. 2 *b*, криві 2, 2a) показано, що за прямої і зворотньої катодної поляризації хід цих кривих повністю співпадає як в області потенціалів граничного струму за O_2 , так і активного виділення водню H_2 . Після проведення указаної попередньої катодної поляризації спостерігається значна зміна значень в області стаціонарного потенціалу $TiC_{0,9}$ ($E_{ст} = 0,140$ V) в негативну сторону на 426 mV. Найвірогідніше така поведінка $TiC_{0,9}$ відбувається з тим же причин, що і у випадку $TiC_{0,8}$.

Хід катодних кривих 3 і 3a для $TiC_{1,0}$ (рис. 2 *b*), свідчить, що їхній прямий і зворотній хід в значній мірі не співпадають і різниця в значеннях стаціонарного потенціалу даного зразка ($E_{ст} = 0,190$ V) до катодної поляризації і після неї досягає найбільшого значення (620 mV) серед всіх досліджених TiC_x . Така поведінка стехіометричного $TiC_{1,0}$ може пояснюватися утворенням на його поверхні, згідно [2, 3], карбогідриду TiC_xH_y або гідриду титана TiH_2 за реакціями:



Відмічається [2], що іони H^+ утворюються в нейтральних розчинах за реакцією (1).

На рис. 2 наведені анодні поляризаційні криві всіх досліджених зразків TiC_x і $Ti_{йод}$ після попередньої катодної поляризації (прямий і зворотній хід). При порівнянні ходу кривих для $Ti_{йод}$, $TiC_{0,6}$, $TiC_{0,7}$ (рис. 2 *a*, криві 1b, 2b, 3b) з анодною поведінкою вихідних зразків цих сполук (рис. 1, криві 1, 5, 6) витікає, що швидкості на початковій стадії анодного окиснення значно зростають після попередньої катодної поляризації. Згідно [3] може відбуватися видалення зв'язаного кисню, що завжди присутній у ґратці нестехіометричних карбідів титану TiC_x . Збільшення указаної швидкості для $TiC_{0,6}$ і $TiC_{0,7}$ є набагато вищим, ніж для $Ti_{йод}$ на поверхні якого за катодного процесу утворюється TiH_2 згідно реакції (2). Його утворення призводить до збільшення швидкості окиснення (рис. 2 *a*, крива 1b) порівняно з аналогічним показником вихідного $Ti_{йод}$ (рис. 1, крива 1).

Результати досліджень (рис. 2) свідчать, що після попередньої катодної поляризації анодний процес на $TiC_{0,8}$ перетікає з найменшою швидкістю (рис. 2 *b*, крива 1b) порівняно з усіма іншими зразками, а за значеннями анодних струмів та характеру ходу анодної кривої $TiC_{0,8}$ є найближчим до $Ti_{йод}$ (рис. 2 *a*, крива 1b). Потрібно зауважити, що $TiC_{0,8}$ має найбільше серед всіх TiC_x число послаблених зв'язків $Ti-Ti$, а також найвищий вміст титану на вихідній поверхні. Саме тому анодний процес на поверхні $TiC_{0,8}$ після попередньої катодної поляризації призводить до утворення TiH_2 , як і у випадку $Ti_{йод}$. Порівняння ходу анодної кривої 4 (рис. 1) для даної сполуки у вихідному стані показує, що попередня катодна обробка значно зменшує швидкість її анодного окиснення.

У випадку $TiC_{0,9}$ і $TiC_{1,0}$ (рис. 2 *b*, криві 2b та 3b) після попередньої катодної поляризації спостерігається, на відміну від $TiC_{0,8}$, різке збільшення швидкості анодного процесу порівняно з вихідним станом (рис. 1, криві 2 і 3). Значна зміна в негативну сторону значень стаціонарних потенціалів вказаних сполук у результаті прямого та зворотнього ходу катодної поляризації є наслідком утворення на їхніх поверхнях сполук з воднем у вигляді гідридів та карбогідридів титану. Згідно [4], анодне окиснення карбогідридів TiC_xH_y відбувається за швидкостей набагато більших за швидкості окиснення TiH та TiH_2 . Таким чином, зростання для $TiC_{0,9}$ і $TiC_{1,0}$ на 1,5 порядки анодних струмів після попередньої катодної поляризації (рис. 2 *b*, криві 2b та 3b) свідчить про утворення на їхніх поверхнях карбогідридів TiC_xH_y за реакцією (3) на відміну від зразка $TiC_{0,8}$ (рис. 2 *b*, крива 1b), на поверхні якого утворюється TiH_2 .

ВИСНОВКИ

1. Показано, що лімітуючими стадіями процесів деструкції $Ti_{\text{йод}}$, $TiC_{1,0}$ та $TiC_{0,9}$ у розчині 3% NaCl є утворення у результаті анодної поляризації поблизу їхніх стаціонарних потенціалів ($E_{\text{ст}}$) непротяжних ділянок пасивності, де швидкість анодних реакцій практично дорівнює нулю ($i_a \approx 0$). Лімітуючими стадіями процесу деструкції нестехіометричних $TiC_{0,6}$ і $TiC_{0,7}$ є значення їхніх граничних анодних струмів. У випадку $TiC_{0,8}$ швидкість деструкції лімітується утворенням поблизу $E_{\text{ст}}$ за катодної поляризації непротяжної області потенціалів, в якій швидкість даного процесу фактично дорівнює нулю ($i_k \approx 0$).

2. Анодна стійкість зменшується у ряду $Ti \rightarrow TiC_{1,0} \rightarrow TiC_{0,9} \rightarrow TiC_{0,8} \rightarrow TiC_{0,6} \rightarrow TiC_{0,7}$, що для $TiC_{1,0}$, $TiC_{0,9}$, $TiC_{0,7}$ та $TiC_{0,6}$ пояснюється зниженням міцності зв'язків $Ti-C$ при зменшенні вмісту вуглецю в цих сполуках.

3. Установлено, що після попередньої катодної поляризації найменшу швидкість анодного окиснення на початковій стадії має $TiC_{0,8}$, а також $Ti_{\text{йод}}$, але за дещо збільшених значень анодних струмів. Помічено, що на поверхні указаних сполук після катодної поляризації утворюється гідрид титану TiH_2 . Вказано також, що причиною активного окиснення $TiC_{0,6}$ і $TiC_{0,7}$ може бути видалення з їхніх поверхонь в результаті попередньої катодної поляризації зв'язаного кисню, а у випадку $TiC_{0,9}$ і $TiC_{1,0}$ – утворенням карбогідридів титану TiC_xH_y , здатних окиснюватися значно швидше за TiH_2 .

4. Показано, що серед всіх вивчених зразків процес активного виділення водню за прямого ходу катодної поляризації з найбільшою швидкістю відбувається на $Ti_{\text{йод}}$, $TiC_{0,8}$ і $TiC_{0,9}$. Тафелевські нахили (b_k) ділянок катодних кривих в області активного виділення водню H_2 для указаних зразків рівні між собою за величиною та складають 200 mV. Зразки $TiC_{1,0}$, $TiC_{0,7}$ і $TiC_{0,6}$ мають більш високі значення коефіцієнту b_k (280 mV, 410 mV та 400 mV відповідно). Серед всіх досліджених зразків $Ti_{\text{йод}}$ та $TiC_{0,8}$ мають найпротяжніші і практично однакові ділянки активного виділення водню на катодних кривих.

ЛІТЕРАТУРА

1. Коррозионное и анодное поведение карбида, нитрида и бориды титана в растворах серной и фосфорной кислот / Н.Д. Томашов, Т.В. Чукаловская, И.Л. Медова, Ф.Ф. Егоров // Защита металлов. – 1985. – Т. 21, № 5. – С. 682–688.
2. О взаимодействии карбида титана различного стехиометрического состава с водородом при катодной поляризации в кислых средах / В.П. Панчешная, В.М. Княжева, Ж.В. Клименко, М.М. Антонова // Защита металлов. – 1980. – Т. 16, № 6. – С. 684–891.
3. Коррозия композиционных материалов на основе карбидов титана и хрома в морской воде / В.А. Лавренко, А.П. Уманский, В.А. Швец, В.П. Коновал, А.Д. Панасюк, С.С. Чупров // Сверхтвердые материалы. – 2005. – №4. – С. 41–46.
4. Особенности анодного окисления карбида титана в растворе 3% NaCl после катодной поляризации / В.А. Швец, В.А. Лавренко, В.Н. Талаш, Ю.Б. Руденко // Мат. 5 Междунар. конф. HighMatTech. – 5-8 октября 2015 г. – Киев. – 2015. – С. 165.
5. Чукаловская Т.В., Чеботарева Н.П. Томашов Н.Д. Исследование катодного поведения карбида титана и карбидных поверхностных слоев на титане // Защита металлов. – 1991. – Т. 27, № 1. – С. 26–31.
6. Третьяков В.И., Киффер Р. Твердые сплавы. – Москва: Металлургия, 1970. – 274 с.
7. Стормс Э. Тугоплавкие карбиды. – Москва: Атомиздат, 1970. – 282 с.
8. Особенности анодной поляризации в 3%-ном растворе NaCl карбида титана TiC_x в области гомогенности / В.А. Швец, В.А. Лавренко, В.Н. Талаш, А.Д. Панасюк, Ю.Б. Руденко // Порошковая металлургия. – 2016. – № 7/8. – С. 113–122.
9. The effect of metal binder content and carbide grain size on the aqueous corrosion behavior of TiC – 316L stainless steel cermets / Chukwuma C Onuocha., Georges J. Kipouros, Zoheir N., Farhat Kevin P. Plucknen // Journal of refractory metals and hard materials. – 2014. – Vol. 44. – P. 129–141.