

Христина ШЛЯХЕТКА¹, Ірина ПОГРЕЛЮК¹, Дмитро САВВАКІН²

**ЕЛЕКТРОХІМІЧНА ПОВЕДІНКА СПЕЧЕНОГО ТИТАНОВОГО СПЛАВУ
Ti-6Al-4V РІЗНОГО СТРУКТУРНОГО СТАНУ У 20% ВОДНОМУ РОЗЧИНІ
ХЛОРИДНОЇ КИСЛОТИ**

¹*Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка
вул. Наукова, 5, м. Львів, 79060, Україна.*

²*Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України
б-р Акад. Вернадського, 36, м. Київ, 03142, Україна. E-mail: khshvachko@gmail.com*

Khrystyna SHLIAKHETKA¹, Iryna POHRELYUK¹, Dmytro SAVVAKIN²

**ELECTROCHEMICAL BEHAVIOUR OF SINTERED Ti-6Al-4V TITANIUM ALLOY
OF DIFFERENT STRUCTURAL STATE IN 20% AQUEOUS SOLUTION OF
HYDROCHLORIC ACID**

¹*Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine
5, Naukova St., Lviv, 79060, Ukraine.*

²*G.V. Kurdyumov Institute for Metal Physics of the NAS of Ukraine
36, Academician Vernadsky Boulevard, Kyiv, 03142, Ukraine. E-mail: khshvachko@gmail.com*

ABSTRACT

The corrosion characteristics of sintered Ti-6Al-4V titanium alloy, synthesized by powder metallurgy from hydrated – dehydrated powders by cold pressing and sintering at various technological parameters of synthesis, were investigated in 20% aqueous solution of hydrochloric acid. It was shown that by decreasing density of the synthesized material (increasing its porosity) to 2% and increasing its chemical and microstructural heterogeneity the corrosion currents increase by an order of magnitude.

KEY WORDS: *Ti-6Al-4V alloy, titanium hydride powder, corrosion resistance.*

ВСТУП

Механічна обробка заготовок значно ускладнює процес виготовлення виробів з титану, отриманого за традиційною технологією. Порошкова металургія забезпечує виготовлення виробів з мінімальною остаточною обробкою. Це дозволяє спростити технологію виробництва, а, відтак, і здешевити готовий виріб [1,2]. На сьогодні розроблено наукові основи синтезу порошкових титанових сплавів з густиною, близькою до теоретичної, і високим комплексом характеристик механічних властивостей за найпростішою технологічною схемою «пресування–спікання». Запропонований метод реалізують, використовуючи порошки гідриду титану замість традиційного титанового порошку [2]. Проте дослідження корозійної тривкості сплавів, отриманих порошковою металургією з гідратованих–дегідратованих порошків, потребують подальших досліджень.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для дослідження використовували зразки титанового сплаву Ti-6Al-4V, отриманого методом порошкової металургії. Вихідною сировиною були порошкові суміші, які склалися з порошку гідриду титану TiH₂ та легувальних частинок (порошок лігатури 6Al-4V з частинками < 63 μm). В результаті варіювання параметрами синтезу (тиск пресування, температура спікання) отримали зразки спеченого титанового сплаву різного структурного стану. Густину спечених матеріалів визначали гідростатичним зважуванням, загальну поруватість - за відношенням вимірної густини матеріалу до теоретичної густини сплаву ВТ6. Металографічні

дослідження виконували на оптичному мікроскопі «Епіквант». Для виявлення мікроструктури матеріалу шліфовані поверхні піддавали обробці травником Кролла: 1-3 ml HCl, 4-5 ml HNO₃, 95 ml H₂O.

Електрохімічні дослідження здійснювали на потенціостаті IPC-Pro. Швидкість розгортки потенціалу становила 2 mV/s. Електродні потенціали вимірювали відносно хлорсрібного електроду порівняння.

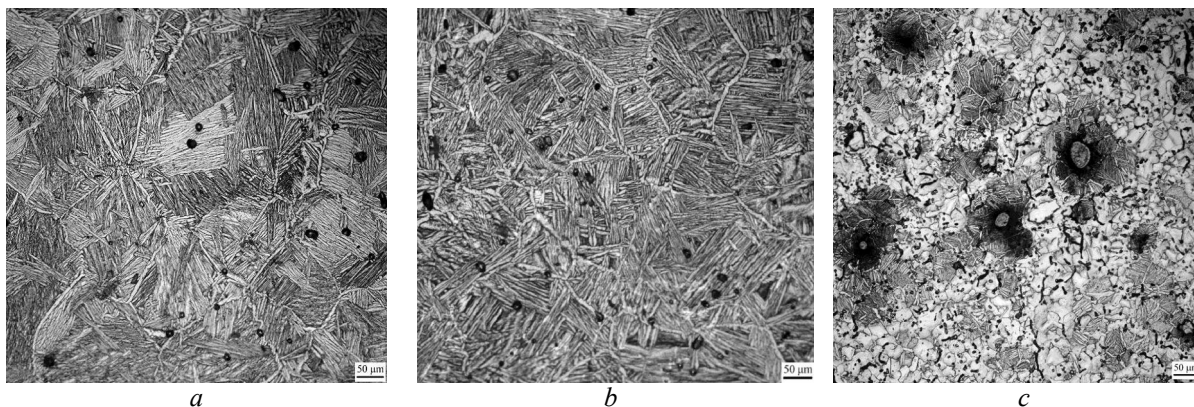
РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

У результаті варіювання параметрами виготовлення (тиск пресування, температура спікання), отримано 5 типів структури зразків спеченого титанового сплаву Ti-6Al-4V (табл. 1).

Таблиця 1. Технологічні параметри отримання різних структурних станів сплаву Ti-6Al-4V
Table 1. Technological parameters of obtaining different structural states of Ti-6Al-4V alloy

Структурний стан	Розміри порошку TiH ₂ , μm	Тиск пресування, МПа	Температура спікання, °C (4 h)	Густина, g/cm ³
1	0-100	650	1200	4,38
2	0-100	150	1200	4,30
3	100-200	650	1200	4,32
4	0-100	650	1350	4,39
5	0-100	650	1050	4,25

На основі структурних досліджень виявили, що досягнути мікроструктурної однорідності матеріалу можна за температур спікання 1200...1350 °C (рис. 1, *a, b*). Спікання матеріалу за даних температур відбувається в однофазній β області, а час спікання 4 h є достатнім для перерозподілу легувальних елементів і хімічної гомогенізації пресовки. В результаті охолодження з піччю формується двофазна (α+β) пластинчаста структура, котра є характерною для сплаву Ti-6Al-4V (BT6).



a – 1350 °C; *b* – 1200 °C; *c* – 1050 °C

Рис. 1. Мікроструктура титанового сплаву Ti-6Al-4V, отриманого з порошку гідриду титану (0...100 μm) та лігатури, котрий пресували за тиску 650 МПа, та спікали впродовж 4 h.

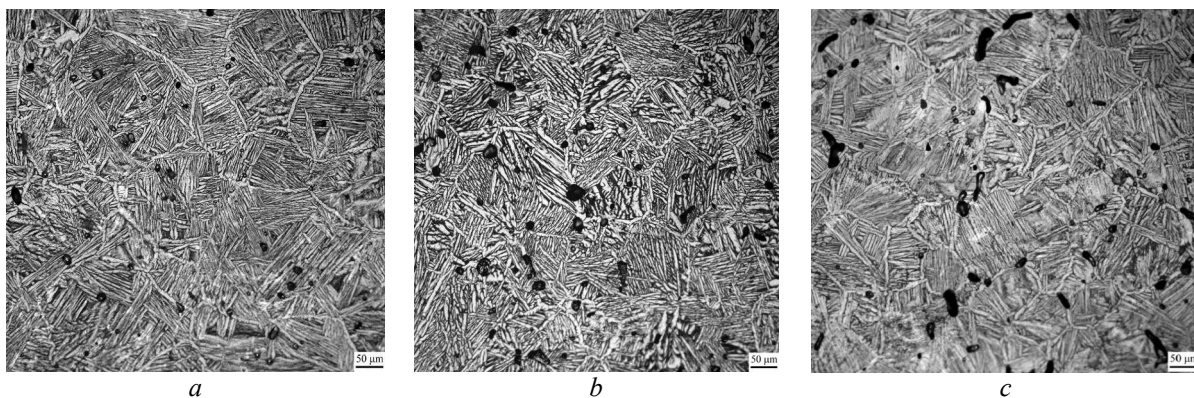
Fig. 1. Microstructure of Ti-6Al-4V titanium alloy obtained from titanium hydride powder (0...100 μm) pressed at 650 MPa and sintered for 4 h.

За даних температур процеси спікання проходять повністю, усі пори мають форму наближену до сферичної та є замкнутими. Густина матеріалу становить 98...99% від теоретичної густини сплаву BT6, що свідчить про кількість залишкових пор у матеріалі на рівні 1...2%.

Встановили, що під час спікання за температури 1050 °C формується неоднорідна структура сплаву (рис. 1 *b*). У мікроструктурі присутні нерозчинені частинки лігатури, світлі зони зерен α фази та пластини (α+β) структури. Густина матеріалу становить 96% від

теоретичної. Зберігається велика кількість пор витягнутої неправильної геометричної форми, що наслідують пустоти між порошковими частинками.

Температура спікання - один з визначальних параметрів, що впливає на однорідність структури та морфологію залишкових пор сформованого сплаву (рис. 1). Зниження тиску пресування, а також збільшення розмірів частинок порошку гідриду титану (до 100...200 μm) не впливають на хімічну та мікроструктурну однорідність матеріалу, однак впливають на морфологію та розмір пор (рис. 2). З'являються пори витягнутої форми, що свідчить про незначне сповільнення процесу спікання, а густина матеріалу зменшується до 97%.



a – 650 МПа, 0...100 μm ; *b* – 150 МПа, 0...100 μm ; *c* – 650 МПа, 100...200 μm

Рис. 2. Мікроструктура титанового сплаву Ti-6Al-4V, отриманого з порошку гідриду титану та лігатури, котрий спікали за температури 1200 $^{\circ}\text{C}$, впродовж 4 h.

Fig. 2. Microstructure of Ti-6Al-4V titanium alloy obtained from titanium hydride powder and sintered at 1200 $^{\circ}\text{C}$ for 4 h.

Такі легувальні елементи як: Mo, Ta, Nb, Zr, V (розміщені у порядку спадання сприятливої дії на корозійну тривкість) відносять до групи легко пасивувальних елементів. Вони підвищують корозійну тривкість титану за рахунок сповільнення анодного процесу [3].

Електрохімічні дослідження засвідчили, що потенціодинамічні поляризаційні криві спеченого титанового сплаву Ti-6Al-4V у 20% водному розчині хлоридної кислоти типові для сплавів, схильних до пасивації. За таких умов можлива корозія з водневою деполаризацією (рис. 3), за потенціалу $E = -0,75\text{ V}$ [3]. Характер анодних кривих свідчить про утворення стійких оксидних плівок. Потенціал початку пасивації для всіх структурних станів наближається до 0 V (рис. 3).

Значення показників корозії, а саме струмів корозії (табл. 2), вказують на те, що зі збільшенням залишкової поруватості матеріалу, а також за наявності хімічної і мікроструктурної неоднорідності матеріалу, струми корозії підвищуються на порядок (тип структури 5, див. табл. 1) порівняно з однорідним, практично безпористим структурним станом – типом структур 1 та 4 (див. табл. 1, рис. 1 *a, b*).

Що ж до структурних станів 2 та 3, то струми корозії між ними різняться на порядок (0,132 та 0,059 A/m^2 , відповідно), однак подальше розчинення пасивної плівки відбувається практично однаково для обох матеріалів (рис. 3, *a*). Причиною цього є зменшення густини до 97% та наявність витягнутих пор неправильної геометричної форми.

Варто відмітити, що у всіх досліджувальних структурних станах об'ємна частка пор не перевищує 10%, а отже відкрита поруватість відсутня, а це унеможливорює прискорену корозійну деградацію сплаву із середини в агресивних хімічних середовищах.

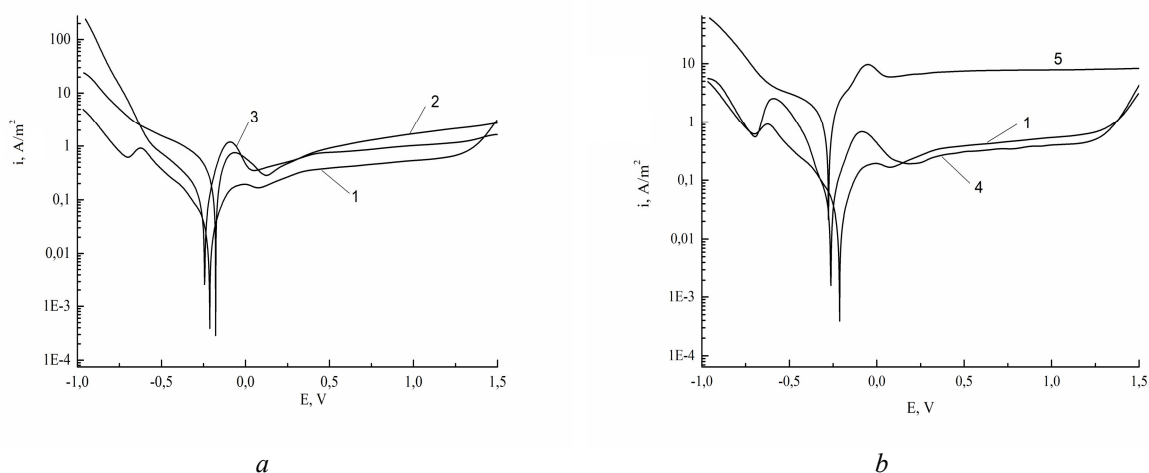


Рис. 3. Потенціодинамічні криві спекеного сплаву Ti-6Al-4V різного типу структури 1 – 5 (див. табл. 1) у 20% водному розчині хлоридної кислоти.

Fig. 3. Potentiodynamic curves of sintered Ti-6Al-4V alloy of different type of structure 1 - 5 (see Table 1) in 20% aqueous solution of hydrochloric acid.

Таблиця 2. Показники корозії спекеного сплаву Ti-6Al-4V різних типів структур (див. табл. 1) у 20% водному розчині хлоридної кислоти

Table 2. Corrosion parameters of sintered Ti-6Al-4V alloy of different types of structures (see Table 1) in 20% aqueous solution of hydrochloric acid

Структурний стан	Густина, g/cm ³	20% HCl	
		$E_{кор}, V$	$i_{кор}, A/m^2$
1	4,38	-0,216	0,019
2	4,30	-0,184	0,132
3	4,32	-0,246	0,059
4	4,39	-0,264	0,044
5	4,25	-0,282	0,471

ВИСНОВКИ

Встановлено, що температури спікання 1050 °C недостатньо для досягнення хімічної однорідності сплаву, а використання порошків розміром 100...200 мкм приводить до зменшення густини компактованого матеріалу.

Значення показників корозії, а саме струмів корозії, зразків з практично безпористим структурним станом (теоретична густина 98..99%) становлять 0,019...0,044 A/m². Тоді як зразки з наявною хімічною і мікроструктурною неоднорідністю та більшою залишковою поруватістю (густина матеріалу 96-97%) мали вищі на порядок значення струмів корозії, які становили 0,132...0,471 A/m²

ЛІТЕРАТУРА

1. Moxson V.S., Senkov O.N., Froes F.H. Innovations in Titanium Powder Processing // JOM. – 2000. – Vol. 52. – P. 23–26.
2. Microstructure and properties of titanium alloys synthesized from hydrogenated titanium powders / O.M. Ivasishin, D.G. Savvakina, I.S. Bielov et al. // Proceedings MS&T 2005; Pittsburgh, PA. 2005. – P. 151–158.
3. Томашов Н.Д., Альтовский Р.М. Коррозия и защита титана. – Москва : МАШГИЗ, 1963. – 168 с.