

Кирилах С.В.¹, Акімов І.В.²

¹аспірантка, Національний університет «Запорізька політехніка», Запоріжжя, Україна, e-mail: lanakirilaha@gmail.com

²доцент, канд. техн. наук, Національний університет «Запорізька політехніка», Запоріжжя, Україна, e-mail: akimovi@ukr.net

КОРОЗІЙНА СТІЙКІСТЬ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ, ОТРИМАНИХ МЕТОДАМИ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Анотація. Порівняно корозійну стійкість і міцність сплавів ВТ1-0 та ВТ20, виготовлених традиційною й адитивною технологіями. Виявлено зв'язок між корозійною тривкістю та мікроструктурою сплавів. Досліджено корозійну стійкість сплаву ВТ1-0, отриманого адитивними технологіями. Виявлено вплив внутрішніх дефектів порошкового матеріалу на підвищену швидкість корозії.

Ключові слова: титанові сплави; адитивні технології; корозійна стійкість; 3D наплавка.

Вступ. Титан і його сплави широко використовуються завдяки високій міцності, біосумісності та корозійній стійкості в усіх галузях промисловості. Адитивні технології (АТ) відкривають нові можливості для виробництва деталей із титану, забезпечуючи адаптивність, швидкість виготовлення та можливість створення складних конструкцій [1].

АТ особливо перспективні для виробництва компонентів, що працюють в агресивних середовищах, таких як хімічна та металургійна промисловості, завдяки високому коефіцієнту використання матеріалу та екологічності процесу. Водночас питання корозійної тривкості титанових сплавів, виготовлених адитивними методами, залишається недостатньо дослідженим [2].

Метою роботи є вивчення корозійної стійкості титанових сплавів, виготовлених адитивними методами, у розчині хлоридної кислоти та їх порівняння зі сплавами, отриманими традиційними технологіями.

Матеріал і результати досліджень. Авторами С. М. Лаврись та І. М. Погрелюк [3] було досліджено α - та псевдо- α -титанові сплави марки ВТ1-0 та ВТ20 (Ti–Al–Mo–V–Zr), виготовлені за традиційною та адитивною технологіями, з такими хімічними складами (wt%): ВТ1-0 – 0,25 Fe, 0,1 Si, 0,07 C, 0,04 N, 0,2 O, 0,01 H, решта Ti; ВТ20 – 5,5...7,0 Al, 1,5...2,5 Zr, 0,5...2,0 Mo, 0,8...2,5 V, 0,25 Fe, 0,15 Si, 0,1 C, 0,05 N, 0,15 O, 0,015 H, решта Ti,



згідно з ГОСТ 19807-91. Для адитивного виготовлення використовували електронно-променево плавлення (ЕПП). Для ЕПП використовували вітчизняний титановий порошок технічної чистоти або легований (Ti–Al–Mo–V–Zr) несферичної форми, отриманий методом гідрування-дегідрування.

Мікроструктуру титанових сплавів вивчали на мікроскопі “Eriquant” з камерою та комп’ютерною приставкою. ДюрOMETричні дослідження проводились на мікротвердомірі ПМТ-3М з навантаженням 0,49 N на індентор Віккерса.

Для корозійних досліджень виготовляли зразки розмірами 12x12x2 mm. Корозійну швидкість визначали гравіметричним методом за зміною маси зразків після експозиції в агресивному середовищі. За 1440 h у HCl корозія титанових сплавів АТ інтенсивніша, ніж ТТ. Авторами [3] відзначено, що ТТ забезпечує нижчу корозійну тривкість сплаву ВТ1-0 (~ 2,5 рази), ніж сплаву ВТ20.

Сплави АТ мають вищі струми корозії, що свідчить про інтенсивнішу корозію та сповільнену пасивацію порівняно з ТТ. Різниця в потенціалі корозії між технологіями незначна, але найвищий потенціал спостерігається у сплаву ВТ1-0 (ТТ) завдяки стабільнішій пасивній плівці (табл. 1).

Таблиця 1 – Електрохімічні параметри для титанових сплавів, виготовлених за різними технологіями у 20%-му HCl [3]

Сплав	Технологія	$E_{\text{соп}}, \text{V}$	$i_{\text{соп}}, \text{A} \cdot \text{m}^{-2}$
ВТ1-0	ТТ	-0,3859	0,2424
ВТ1-0	АТ	-0,4427	0,3628
ВТ20	ТТ	-0,4876	0,0965
ВТ20	АТ	-0,4264	1,1058

Титанові сплави, виготовлені за АТ, мають гіршу корозійну тривкість через нерівноважну структуру (Відманштетта для ВТ1-0 та мартенситну α' -фазу для ВТ20), що спричиняє залишкові напруження та підвищену активність корозії. Натомість сплави ТТ з рівноважною структурою (α або $\alpha+\beta$) демонструють вищу стійкість до корозії.

Сплав ВТ20 (ТТ) має вищу корозійну тривкість завдяки вкрапленням ZrO_2 у пасивну плівку TiO_2 , що підвищує її цілісність. Натомість ВТ20 (АТ) поступається через відсутність β -фази та наявність метастабільної мартенситної α' -структури [3].

Згідно з [4] авторами проведено дослідження методом адитивного наплавлення, в результаті якого виготовлено зразки з титанового сплаву ВТ1-0. Для дослідження



використовувався перспективний несферичний порошок титану марки ВТ1-0 з фракцією $-160 + 40$ мкм, отриманий за технологією гідрування-дегідрування (HDH). Корозійні випробування проводили в 20% розчині НСІ. Швидкість корозії визначали гравіметричним методом після 504 год експозиції при кімнатній температурі та доступі повітря. Швидкість корозії різних зон сплаву, виготовленого за адитивною технологією, показана на рисунку 1.

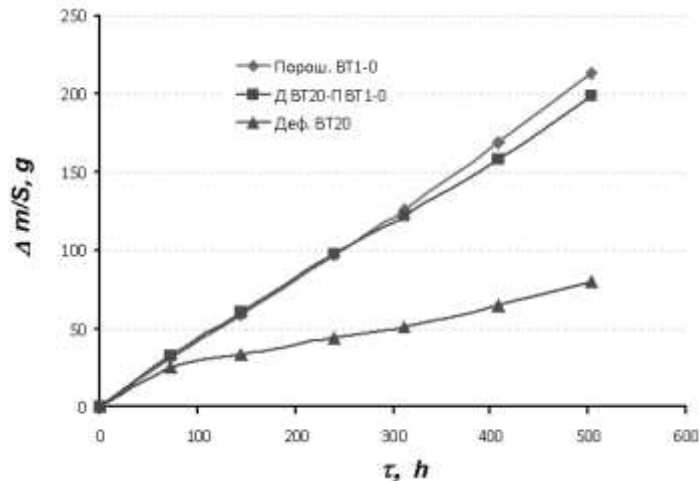


Рисунок 1 – Швидкість корозії на основі 504 годин різних зон зразка, наплавленого порошком ВТ1-0 на підкладку з деформованого сплаву ВТ20 за АТ [4]

Швидкість корозії зони порошкового наплавленого титану ВТ1-0 у 2,7 раза вища за зону сплаву ВТ20. Це пояснюється наявністю легувальних елементів, таких як Мо та V, у сплаві ВТ20, які зменшують схильність до корозійного руйнування, а також значною кількістю внутрішніх пор у ВТ1-0 [4].

Висновки. Титанові сплави, виготовлені за АТ, мають нижчу корозійну тривкість у 20%-му НСІ порівняно зі сплавами ТТ через формування структури Відманштетта та метастабільного мартенситу під час ЕПП. Досліджено корозійну стійкість сплаву ВТ1-0, виготовленого адитивними технологіями. Встановлено, що швидкість корозії ВТ1-0 в 2,7 рази вища за показники деформованого сплаву ВТ20 та складає $0,394 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Dutta, B., & Froes, F. H. (2017). The additive manufacturing (AM) of titanium alloys. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 72, 96–106. <https://doi.org/10.1016/j.mprp.2016.12.062>.
2. Kissel, H. (2021). Titanium powder and additive manufacturing: The perfect match. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 76, 196–198. <https://doi.org/10.1016/j.mprp.2021.06.002>.



3. С. М. Лаврись, І. М. Погрелюк, І. М., & Х. С. Шляхетка (2022). Корозійна тривкість адитивно виготовлених титанових сплавів у хлоридній кислоті. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*, 5, 23–29. [Physicochemical Mechanics of Materials, 5, 23–29].

4. Скребцов, А. А., Проскурняк, Р. В., Марченко, Ю. А., Шевченко, В. Г., & Омельченко, О. С. (2019). Вплив адитивних технологій на корозію титанових сплавів. *Металознавство та термічна обробка металів*, (3), 55–60.

