

Метою даної роботи є дослідження структури, фазового складу та властивостей (мікротвердість, зносостійкість) покриттів, створених на технічному залізі під час ЕІЛ у послідовностях Zr-C-Zr, Ti-C-Ti, Cr-C-Cr.

Мікроструктурний аналіз поверхневих ділянок заліза після обробки свідчить про утворення суцільних покриттів. Меж між послідовно нанесеними шарами не спостерігається, що свідчить про інтенсивне перемішування матеріалів легувальних електродів на кожній стадії обробки.

Рентгенівським аналізом у легованих шарах зафіксовано фази: α -Fe, γ -Fe, Cr₇C₃, Cr₂O₃ (після ЕІЛ за схемою Cr-C-Cr); Fe₂Ti, TiC, TiO₂, α -Fe, α -Ti (після ЕІЛ за схемою Ti-C-Ti); γ -Fe, ZrC, ZrO₂, FeZr₂ (після ЕІЛ за схемою Zr-C-Zr). Рефлекси залишкового аустеніту свідчать про інтенсивне насичення заліза вуглецем та проходження процесів гартування при надшвидкому охолодженні.

Встановлено, що після ЕІЛ за схемами Ti-C-Ti та Zr-C-Zr покриття мають більшу мікротвердість (9,5...10 ГПа), ніж після ЕІЛ Cr-C-Cr (7,3 ГПа), що пов'язано з більшою розчинністю вуглецю у Ti та Zr у порівнянні з Cr. Для усіх зразків максимальне значення мікротвердості спостерігається у середній частині покриття, що можна пояснити наявністю найбільшої кількості карбідів Zr, Ti, Cr в цій ділянці, що утворюється на стадії ЕІЛ графітовим анодом.

Виявлено, що зносостійкість поверхні заліза після всіх процесів ЕІЛ зростає у порівнянні з вихідним необробленим зразком: у 8,05 разів (з нанесеним Ti-C-Ti-покриттям); у 9,32 разів (з нанесеним Zr-C-Zr-покриттям); у 14,75 разів (з нанесеним Cr-C-Cr-покриттям). Зносостійкість оцінювалася гравіметричним методом в умовах сухого тертя-ковзання за схемою "площина по площині" впродовж 10 годин випробувань (контртіло – сталь Р6М5).

Отже, проміжна стадія легування графітом під час послідовного ЕІЛ перехідними металами сприяє формуванню на поверхні заліза покриттів збагачених карбідними фазами, що приводить до зростання мікротвердості покриття до 7...10 ГПа та підвищення зносостійкості у 8...14,75 разів.

Лук'яненко О.Г., Федірко, В.М., Труш В.С.

**(Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, м. Львів)
ВПЛИВ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ В ГАЗОВОМУ СЕРЕДОВИЩІ НА
ТВЕРДІСТЬ ПОВЕРХНІ ТВЕЛЬНИХ ТРУБОК ЗІ СПЛАВУ Zr-1%Nb**

Вступ. Завдяки поєднанню унікальних фізико-механічних властивостей з низьким перерізом поглинання теплових нейтронів, цирконій та його сплави широко застосовують в ядерній техніці. Разом із тим існують чинники, які істотно впливають на їхні функціональні властивості, зокрема – кисень та азот.

Тому, **мета роботи** – встановити вплив хіміко-термічної обробки у контрольованому кисень- та азотовмісному газовому середовищі на твердість поверхні та розмір зміцненого приповерхневого шару ТВЕЛЬНИХ трубок.

Методика та матеріали досліджень. Для досліджень використано зразки-кільця, які вирізані із ТВЕЛЬНОЇ трубки з цирконієвого сплаву Zr-1%Nb українського виробництва. Термічну обробку сплавів цирконію виконували на лабораторному обладнанні в контрольованому кисень- та азотовмісному газовому середовищі за різних режимів (табл. 1). У результаті обробки одержували зміцнений приповерхневий шар металу з різною твердістю поверхні HV та різним розміром зміцненої зони *l*. Мікротвердість визначали за навантаження 50 г.

Таблиця 1 – Режими хіміко-термічної обробки зразків з цирконієвого сплаву Zr-1%Nb

Режими ХТО	Умовне позначення	Режими ХТО	Умовне позначення	Режими ХТО	Умовне позначення
$P1 - T=650^{\circ}\text{C}, P=1,3 \cdot 10^{-1} \text{ Па}$		$P2 - T=750^{\circ}\text{C}, P=1,3 \cdot 10^{-1} \text{ Па}$		$A - T=650^{\circ}\text{C}, P_{\text{N}_2}=1 \cdot 10^5 \text{ Па}$	
$\tau = 3 \text{ год}$	$P1-3$				
$\tau = 5 \text{ год}$	$P1-5$	$\tau = 5 \text{ год}$	$P2-5$	$\tau = 5 \text{ год}$	$A-5$
$\tau = 10 \text{ год}$	$P1-10$	$\tau = 10 \text{ год}$	$P2-10$	$\tau = 10 \text{ год}$	$A-10$
$\tau = 20 \text{ год}$	$P1-20$	$\tau = 20 \text{ год}$	$P2-20$	$\tau = 20 \text{ год}$	$A-20$

Результати та їх обговорення. За термічної обробки в кисневмісному газовому середовищі твердість поверхні зразків-кілець у часі змінюється за наближеним до лінійного законом (рис. 1, кр. 1, 2). За обробки в азотовмісному газовому середовищі твердість поверхні зразків-кілець змінюється за наближеною до параболічної залежності (рис. 1, кр. 3).

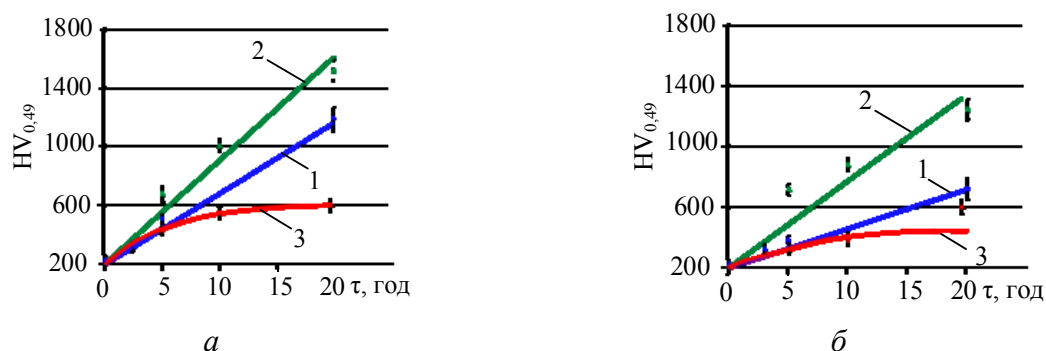


Рис. 1. Зміна твердості зовнішньої (а) та внутрішньої (б) поверхонь зразків-кілець після обробки режимами: $P1 - 1, P2 - 2, A - 3$

Окрім цього, відмічається різниця у швидкості росту зміцненого шару із зовнішньої та внутрішньої сторони стінки зразка-кілець незалежно від технологічного газового середовища (рис. 2).

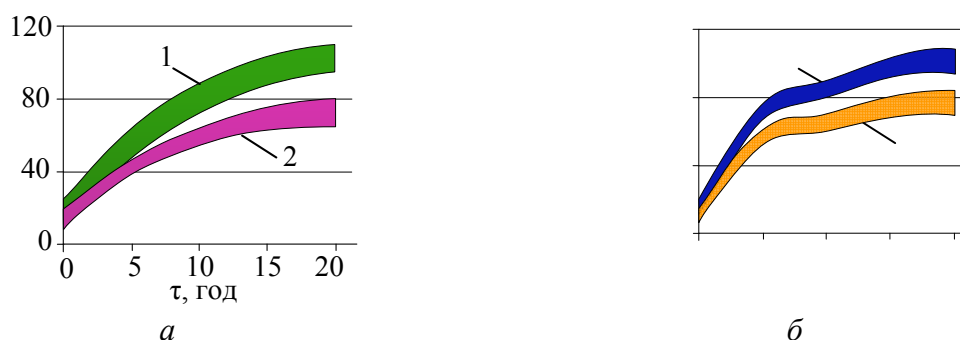


Рис. 2. Зміна розміру зміцненого шару на зовнішній поверхні (1) та внутрішній поверхні (2) зразків-кілець після обробки за режимами: а – $P1$; б – A

Висновки. Показано вплив термічної обробки в контрольованому кисне- та азотовмісному газовому середовищі на зміну твердості поверхонь ТВЕЛЬних трубок зі сплаву Zr-1%Nb. Важливим результатом роботи є кінетика зміни розміру зміцненого приповерхневого шару внутрішньої та зовнішньої поверхонь ТВЕЛЬних трубок після обробки в газових середовищах.