

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТРИВАЛОСТІ ЧАСУ МЕХАНО-ХІМІЧНОГО СИНТЕЗУ НАНОСТРУКТУРНОГО ПОРОШКУ $(\text{Fe}, \text{Ti})_3\text{Al}$ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАЗМОВИХ ПОКРИТТІВ

О.П. Грищенко¹, Н.В. Вігілянська¹, О.М. Бурлаченко¹, Ц. Сендеровскі², В.Ф. Горбань³

¹ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: grinya3679@gmail.com

²Варшавський політехнічний університет. 00-661, м. Варшава, Польща, пл. Політехніки, 1

³Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України. 03142, вул. Академіка Кржижановського, 3

Проведено дослідження впливу часу високоенергетичної обробки суміші порошків $60,8\text{Fe} + 39,2\text{TiAl}$ (мас. %) на структуру, фазовий склад і механічні характеристики плазмових інтерметалідних покриттів $(\text{Fe}, \text{Ti})_3\text{Al}$. В якості порошків для плазмового напилення використовували порошки інтерметаліду $(\text{Fe}, \text{Ti})_3\text{Al}$, які було отримано методом механохімічного синтезу (МХС) в високоенергетичному млині протягом 3 та 5 год. В результаті плазмового напилення формуються покриття з нанокристалічною структурою з розміром кристалітів 60 та 45 нм, відповідно. Показано, що при напиленні МХС-порошку, отриманого протягом 5 год, формуються тонкошарові покриття з максимальною товщиною ламелей 23 мкм, тоді як у випадку напилення МХС-порошку, отриманого протягом 3 год, товщина ламелей досягає 42 мкм. При цьому у випадку напилення МХС-порошку, отриманого протягом 5 год, формуються більш щільні покриття, пористість яких знижується на 2,3 % у порівнянні з покриттям з МХС-порошку, отриманого протягом 3 годин. Встановлено підвищення механічних характеристик (твердості та модуля пружності) плазмового покриття при використанні порошку, отриманого обробкою протягом 5 год. Це дозволяє передбачити більш високу зносостійкість даних покриттів, що працюють в умовах зношування, ніж у випадку напилення МХС-порошку, отриманого протягом 3 годин. Бібліогр. 15, табл. 3, рис. 5.

Ключові слова: алюмініди заліза, механохімічний синтез, плазмове напилення, наноструктурні покриття, розмір кристалітів, механічні характеристики

Вступ. Одним із завдань інженерії поверхні на сучасному етапі розвитку техніки є розробка захисних покриттів, що забезпечують захист деталей та вузлів техніки в умовах підвищених робочих температур та механічних навантажень, впливу агресивних та абразивних середовищ. До перспективних можна віднести покриття на основі інтерметалідів, зокрема на основі алюмінідів заліза (Fe_3Al , FeAl). Дані інтерметаліди характеризуються відносно низькою питомою вагою ($5,51 \dots 6,65 \text{ г/см}^3$), стійкістю до зношування, стійкістю до окисних і сульфідуючих середовищ при 1000°C і вище. Області їх потенційного застосування включають нагрівальні елементи, арматуру печей, труби теплообмінників, спечені пористі фільтри «газ-метал», деталі клапанних систем автомобілів, компоненти установок, що працюють з розплавами солей [1]. Однак практичне застосування алюмінідів заліза обмежене через їх схильність до водневої крихкості та низький опір повзучості при температурах $>500^\circ\text{C}$ [2]. Підвищення механічних характеристик алюмінідів заліза досягається їх легуванням (В, Si, Cr, Ti та ін.), а також зменшенням розміру зерна [3–5]. Підвищення пластичності при легуванні може бути досягнуто внаслідок зменшення ковалентної складової зв'язку, створення сприятливої дислокаційної структури

ри з більш високою рухливістю дислокацій, забезпечення дії сприятливіших систем ковзання, зміни кристалічного або фазового складу та структурного стану. Використання в якості легуючого елементу титану сприяє підвищенню температури фазових переходів, збільшенню межі плинності, покращує триботехнічні властивості інтерметаліду FeAl [6].

Для напилення покриттів на основі алюмінідів заліза використовують методи газотермічного напилення, а саме високошвидкісне газополуменеве (HVOF), плазмове, електродугове, детонаційне напилення [7–10]. Використання у якості матеріалів, що напилюються, порошків, отриманих методом механохімічного синтезу (МХС), дозволяє формувати однорідні за хімічним складом покриття з нанокристалічною структурою.

Метою цієї роботи є дослідження структури, фазового складу та механічних властивостей плазмових покриттів при напиленні МХС-порошків $(\text{Fe}, \text{Ti})_3\text{Al}$, отриманих за різного часу обробки.

Матеріали та методики досліджень. В якості матеріалів для напилення використовували інтерметалідні наноструктурні порошки $(\text{Fe}, \text{Ti})_3\text{Al}$, отримані методом механохімічного синтезу сумішей порошків заліза та сплаву $\text{Ti}37,5\text{Al}$. Процес МХС проводили в планетарному млині «Актив-

Грищенко О.П. – <https://orcid.org/0000-0003-2640-8656>, Вігілянська Н.В. – <https://orcid.org/0000-0001-8576-2095>,

Бурлаченко О.М. – <https://orcid.org/0000-0001-8576-2095>, Сендеровскі Ц. – <https://orcid.org/0000-0002-0331-3702>

© О.П. Грищенко, Н.В. Вігілянська, О.М. Бурлаченко, Ц. Сендеровскі, В.Ф. Горбань, 2023

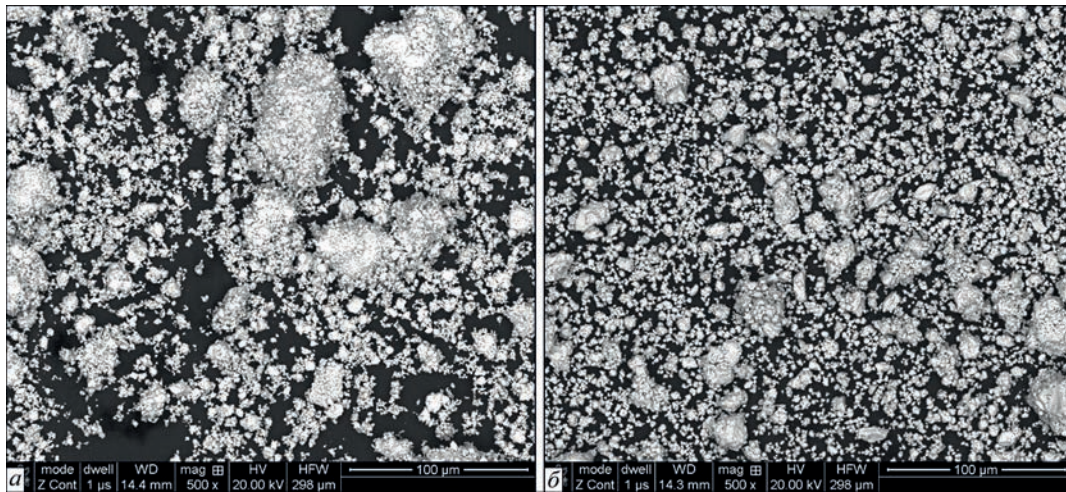


Рис. 1. Зовнішній вигляд порошків, одержаних методом МХС суміші порошків заліза та сплаву TiAl протягом: а – 3; б – 5 год

Таблиця 1. Характеристика МХС-порошків (Fe, Ti)₃Al для плазмового наплення

Склад суміші, мас. %	Час обробки τ, год	Фазовий склад	Розмір кристалітів, нм	Розмір частинок, мкм		
				D_{10}	D_{50}	D_{90}
60,8Fe-39,2TiAl	3	(Fe, Ti) ₃ Al	25	6	17	41
	5		10	3	9	30

тор 2SL» при часі обробки 3 та 5 год. Як було встановлено в попередніх дослідженнях [11] через 3 год обробки у продукті МХС утворюється інтерметалідна фаза (Fe, Ti)₃Al з розміром кристалітів 25 нм, а при збільшенні часу обробки до 5 год розмір кристалітів зменшується до 10 нм та дещо зменшується розмір частинок порошку. Зовнішній вигляд частинок порошку після МХС наведено на рис. 1, характеристику порошків наведено в табл. 1.

Для використання даних порошків у технології плазмового наплення проводили їх конгломерування шляхом змішування одержаних продуктів МХС з 5%-вим розчином полівінілового спирту у воді до отримання однорідної суспензії. Отриману суспензію сушили з наступним протиранням через сита та відбором частинок розміром 40...80 мкм.

Плазмове наплення покриттів проводили на установці УПУ-8М з використанням наступних параметрів: $I = 500$ А, $U = 40$ В, $Q_{Ar+N_2} = 25$ л/хв, дистанція наплення – 120 мм. Попередні дослідження [9] показали доцільність використання даних параметрів плазмового наплення для формування тонкошарової щільної структури покриттів на основі інтерметалідів FeAl.

Визначення елементного складу покриттів методом скануючої електронної мікроскопії (СЕМ) проводили на базі аналітичного комплексу, що складається зі скануючого електронного мікроскопа JSM-35 CF фірми JEOL (Японія) і енергодисперсійного спектрометра (модель INCA Energy-350 фірми Oxford Instruments, Великобританія). Рентгеноструктурний фазовий аналіз (РСФА) покриттів виконували з використанням дифрактометру ДРОН-3 в $CuK\alpha$ -випромінюван-

ні з графітовим монохроматором при кроково-му переміщенні $0,1^\circ$ і часом експозиції в кожній точці 4 с з подальшою комп'ютерною обробкою отриманих цифрових даних. Ідентифікацію фаз проводили з використанням міжнародної бази даних ICDD PDF-2 або PDF-4. Розмір кристалітів у покриттях оцінювали з використанням формули Дебая-Шеррера:

$$d = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta},$$

де d – середній розмір областей когерентного розсіювання (доменів, кристалітів), який може бути меншим або рівним розміру зерна; K – безрозмірний коефіцієнт форми частинок (постійна Шеррера); λ – довжина хвилі рентгенівського випромінювання; β – ширина рефлексу на піввисоті (у радіанах та в одиницях 2θ); θ – кут дифракції (бреггівський кут).

Визначення механічних характеристик (твердості H , модуля пружності E) покриттів проводили методом мікроіндентування за допомогою приладу «Мікрон-Гамма» [12]. Значення характеристик обчислювалося автоматично за стандартом ISO 14577-1:2002.

Результати дослідження та їх обговорення. Металографічним аналізом встановлено, що в результаті плазмового наплення наноструктурних порошків інтерметаліду (Fe, Ti)₃Al формуються покриття з характерною шаруватою структурою (рис. 2, а, б). Збільшення тривалості механосинтезу порошків з 3 до 5 год призводить до формування структури з меншою товщиною ламелей. При напленні МХС-порошку ($\tau = 3$ год) в покритті наявні ламелі завтовшки ~ 42 мкм, тоді

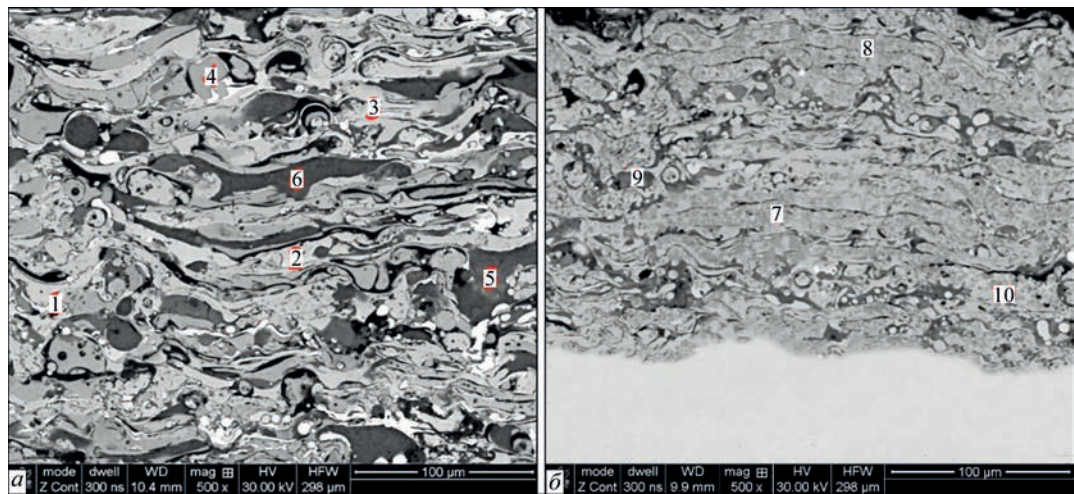


Рис. 2. Мікроструктура плазових покриттів з наноструктурного інтерметалідного порошку $(\text{Fe,Ti})_3\text{Al}$, отриманого методом МХС протягом 3 год (а) та 5 год (б)

як при напиленні МХС-порошку ($\tau = 5$ год) максимальна товщина ламелей складає ~ 23 мкм. Це пов'язано з наявністю в МХС-порошку після 3 годин обробки композиційних частинок розміром до 70 мкм (рис. 1, а), так як на початкових етапах процесу МХС переважає процес «холодного» зварювання частинок вихідних порошків між собою. При збільшенні часу обробки до 5 год між подрібненням та зварюванням частинок досягається рівновага та розмір частинок МХС-порошку зменшується.

Відмічається, що для обох типів покриття характерна наявність у структурі шару нерозплавлених у плазовому струмені частинок. Кількість таких частинок у покритті з МХС-порошку ($\tau = 3$ год) є дещо більшою, що також пов'язано з наявністю у порошку частинок розміром >40 мкм. Це, в свою чергу, призводить до формування покриття з дещо більшою пористістю. Так, пористість покриття з МХС-порошку ($\tau = 3$ год) складає $6,8 \pm 0,8 \%$, покриття з МХС-порошку ($\tau = 5$ год) – $4,5 \pm 1,0 \%$.

Згідно аналізу хімічного складу світлі ламелі покриттів складаються з вихідних компонентів із вмістом кисню ~ 2 мас. % (табл. 2). При цьому області 1–4, 7, 8 (рис. 2) за своїм хімічним складом близькі до сполуки $(\text{Fe, Ti})_3\text{Al}$.

Спектри	Хімічний склад, мас. %			
	Fe	Ti	Al	O
1	59,93	28,79	10,31	0,97
2	54,99	30,87	12,61	1,53
3	54,48	31,05	13,24	1,23
4	49,33	36,36	12,39	1,92
5	71,66	8,35	1,17	18,82
6	69,98	7,71	2,23	20,08
7	62,4	24,97	11,69	0,94
8	62,63	22,22	13,8	1,35
9	56,06	19,57	6,98	17,4
10	78,01	5,54	8,05	8,4

дом близькі до сполуки $(\text{Fe, Ti})_3\text{Al}$. Високий вміст кисню (до 20 мас. %) в окремих мікрооб'ємах зумовлений наявністю оксидів, що утворилися при напиленні покриттів у результаті взаємодії компонентів порошку з плазовим потоком. Такі ламелі за своїм хімічним складом відповідають оксиду заліза (FeO) з невеликою кількістю титану та алюмінію (спектри 5, 6, 9, 10 – рис. 2).

За допомогою енергодисперсійного аналізу встановлено, що час процесу МХС порошків впливає на рівномірність розподілу елементів за товщиною покриття (рис. 3, 4). У покритті, напиленому з МХС-порошку ($\tau = 3$ год), розподіл вихідних компонентів має неоднорідний характер. Кисень при цьому розподіляється у вигляді прошарків між металевими ламелями (рис. 3). Збільшення часу МХС до 5 год дозволило отримати покриття з більш однорідним розподілом як вихідних елементів, так і кисню за товщиною покриття (рис. 4). Така відмінність у розподілі елементів по товщині покриття, вочевидь, пов'язана з розподілом елементів в МХС-порошках. При проведенні процесу МХС протягом 5 год формуються частинки меншого розміру та розподіл елементів у частинках порошку усереднюється.

За своїм фазовим складом покриття суттєво не відрізняються і в обох випадках основною фазою в покриттях є інтерметалід $(\text{Fe, Ti})_3\text{Al}$ (рис. 5). Окрім основної інтерметалідної фази в покриттях також ідентифікується нижчий оксид FeO , поява якого пов'язана з взаємодією заліза у плазовому струмені з киснем навколишнього середовища. Це узгоджується з результатами хімічного аналізу покриттів (табл. 2). На рентгенограмах відмічається зменшення інтенсивності піків оксиду заліза при використанні МХС-порошку, отриманого протягом 5 год, що може свідчити про меншу кількість оксиду заліза в цьому покритті.

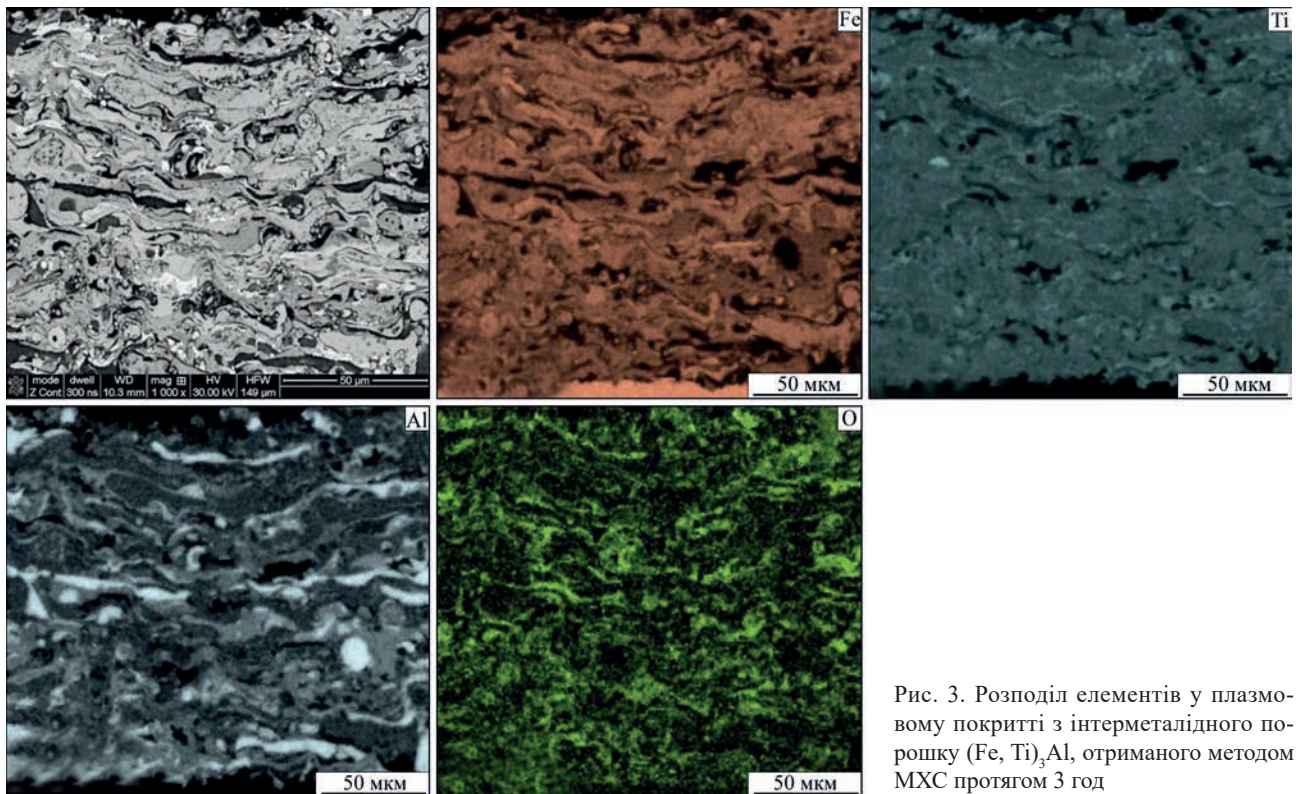


Рис. 3. Розподіл елементів у плазмовому покритті з інтерметалідного порошку $(\text{Fe, Ti})_3\text{Al}$, отриманого методом МХС протягом 3 год

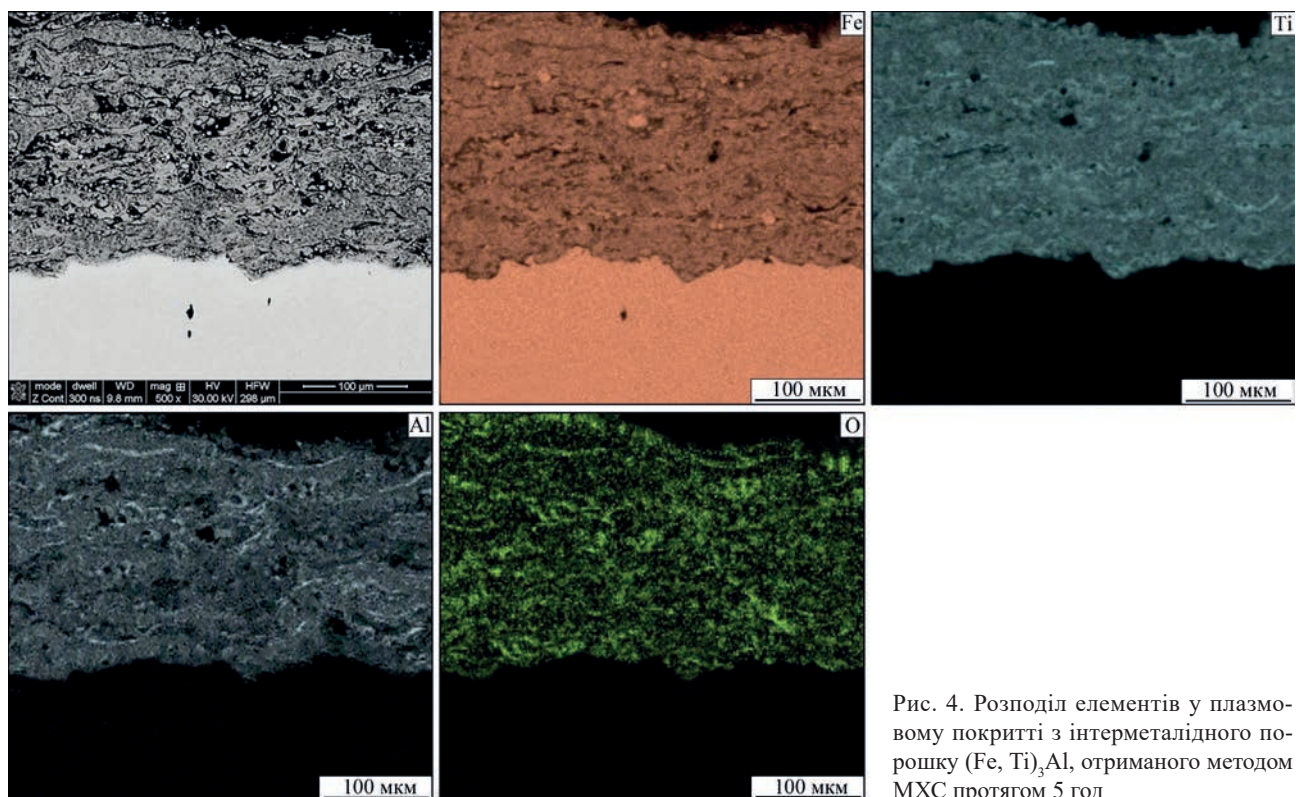


Рис. 4. Розподіл елементів у плазмовому покритті з інтерметалідного порошку $(\text{Fe, Ti})_3\text{Al}$, отриманого методом МХС протягом 5 год

Оцінка ОКР отриманих покриттів з наноструктурного порошку інтерметаліду $(\text{Fe, Ti})_3\text{Al}$ показало, що в результаті плавлення порошку в плазмовому струмені з подальшим затвердінням на основі розмір кристалітів покриттів порівняно з вихідними порошками збільшився з 25 до 60 нм у випадку напилення порошку, отриманого МХС протягом 3 год, та з 10 нм до 45

при напиленні порошку, отриманого МХС протягом 5 год.

Результати визначення методом мікроіндентування механічних характеристик покриттів, таких як твердість (H) та модуль пружності (E), наведено в табл. 3. В таблиці також наведено співвідношення H/E та H^3/E^2 , які є показниками переходу від пружних деформацій до руйнування (нормо-

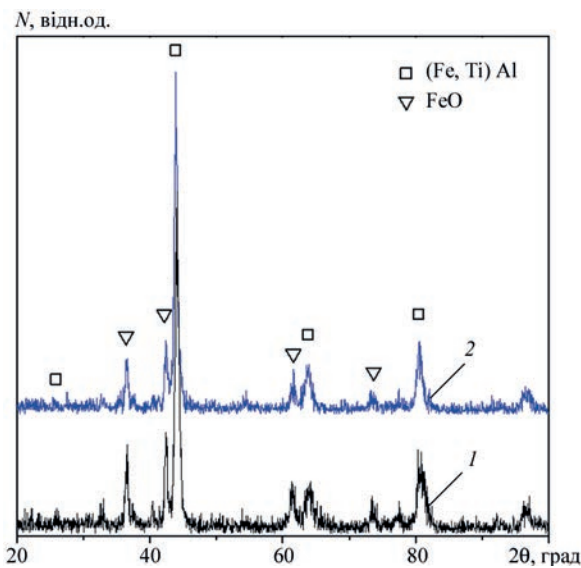


Рис. 5. Рентгенограми плазмових покриттів з інтерметалідного порошку $(\text{Fe}, \text{Ti})_3\text{Al}$, отриманого методом МХС протягом 3 (1) та 5 (2) годин

Таблиця 3. Механічні характеристики плазмових покриттів з інтерметалідного порошку $(\text{Fe}, \text{Ti})_3\text{Al}$, отриманого методом МХС протягом 3 та 5 год

МХС-порошок	H, ГПа	E, ГПа	H/E	H ³ /E ²
$\tau = 3$ год	3	47	0,064	0,012
$\tau = 5$ год	5,4	80	0,068	0,025

вана твердість) та опору пластичній деформації, відповідно.

Порівняння величин механічних характеристик показує, що за показниками твердості та модуля пружності покриття, які отримані з МХС-порошку ($\tau = 5$ год), перевищують покриття з МХС-порошку ($\tau = 3$ год) у 1,8 та 1,7 разів, відповідно. Різниця величин механічних характеристик двох покриттів обумовлена, вочевидь, їх мікроструктурою. Так, покриття з МХС-порошку ($\tau = 5$ год) характеризується тонкошаровою структурою, більш рівномірним хімічним складом та має менший розмір кристалітів, що сприяє підвищенню механічних характеристик у порівнянні з покриттям з МХС-порошку ($\tau = 3$ год).

Відповідно до методу оцінки структурного стану матеріалу з використанням показника H/E , запропонованого авторами роботи [12], отримані покриття відносяться до наноструктурних матеріалів, оскільки показник H/E в обох випадках лежить в межах 0,05...0,09.

Такі показники, як H/E та H^3/E^2 , є індикаторами стійкості покриття до руйнування, які часто використовуються в якості критерію для оцінки зносостійкості захисних покриттів [13–15]. Як видно з табл. 3, за показником H/E покриття з МХС-порошку ($\tau = 3$ год) дещо поступається покриттю, напиленому з МХС-порошку ($\tau = 5$ год). У той час за показником H^3/E^2 покриття з МХС-порошку ($\tau = 5$ год) перевищує покриття з МХС-порошку ($\tau = 3$ год) в 2,1 рази. Отримані дані свідчать про

те, що покриття, напилене з використанням порошку, отриманого МХС протягом 5 годин, володіє більш високою зносостійкістю.

Висновки

В результаті наплення наноструктурних порошків інтерметаліду $(\text{Fe}, \text{Ti})_3\text{Al}$, отриманих методом МХС протягом 3 та 5 год, формуються наноструктурні покриття, розмір кристалітів у яких складає 60 та 45 нм, відповідно. Фазовий склад порошків успадковується плазмовими покриттями, основною фазою в яких є інтерметалідна фаза $(\text{Fe}, \text{Ti})_3\text{Al}$ з наявністю оксиду заліза FeO .

Показано, що збільшення часу МХС порошку інтерметаліду $(\text{Fe}, \text{Ti})_3\text{Al}$ з 3 до 5 год дозволяє формувати покриття в умовах плазмового наплення з тонкошаровою структурою і рівномірним розподілом вихідних елементів в об'ємі покриття. При цьому пористість покриття зменшується з 6,8 до 4,5 %.

Методом мікроіндентування встановлено, що за основними показниками механічних характеристик покриття твердості та модуля пружності, покриття з МХС-порошку, отриманого протягом 5 год, перевершує покриття з МХС-порошку, отриманого протягом 3 год, в 1,8 та 1,7 разів, відповідно. Показники нормованої твердості (H/E) та опору пластичній деформації (H^3/E^2), які є критеріями зносостійкості, також є більшими у покриття при напленні МХС-порошку, отриманого обробкою протягом 5 год.

Проведені дослідження вказують на перспективність використання механічно синтезованого порошку інтерметаліду $(\text{Fe}, \text{Ti})_3\text{Al}$, отриманого при часі обробки вихідних сумішей протягом 5 год, для плазмового наплення покриттів, що працюють в умовах зношення.

Список літератури/References

1. Cinca, N., Lima, C. R. C., Guilemany, J. M. (2013) An overview of intermetallics research and application: Status of thermal spray coatings. *J. of Materials Research and Technology*, 2(1), 75–86. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2013.03.013>.
2. Palm, M., Stein, F., Dehm, G. (2019) Iron aluminides. *Annual Review of Materials Research*, 49, 297–326. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-matsci-070218-125911>.
3. Zamanzade, M., Barnoush, A., Motz, C. (2016) A Review on the Properties of Iron Aluminide Intermetallics. *Crystals*, 6(1), 10. DOI: <https://doi.org/10.3390/cryst6010010>.
4. Moszner, Peng, Suutala, Jasna, Damani, Palm. (2019) Application of Iron Aluminides in the Combustion Chamber of Large Bore 2-Stroke Marine Engines. *Metals*, 9(8), 847. DOI: <https://doi.org/10.3390/met9080847>.
5. Bahadur, A. (2003) Enhancement of high temperature strength and room temperature ductility of iron aluminides by alloying. *Materials Science and Technology*, 19(12), 1627–1634. DOI: <https://doi.org/10.1179/026708303225008266>.
6. Rafiei, M., Enayati, M.H., Karimzadeh, F. (2009) Characterization and formation mechanism of nanocrystalline $(\text{Fe}, \text{Ti})_3\text{Al}$ intermetallic compound prepared by mechanical alloying. *J. of Alloys and Compounds*, 480(2), 392–396. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2009.02.072>.
7. Senderowski, C., Cinca, N., Dosta, S. et. al. (2019) The Effect of Hot Treatment on Composition and Microstructure

of HVOF Iron Aluminide Coatings in Na2SO4 Molten Salts. *J. of Thermal Spray Technology*, 28(7), 1492–1510. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11666-019-00886-w>.

8. Fikus, B., Senderowski, C. Panas, A.J. (2019) Modeling of Dynamics and Thermal History of Fe40Al Intermetallic Powder Particles Under Gas Detonation Spraying Using Propane-Air Mixture. *J. of Thermal Spray Technology*, 28, 346–358. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11666-019-00836-6>.

9. Senderowski, C., Vigilianska, N., Burlachenko, O. et. al. (2023) Effect of APS Spraying Parameters on the Microstructure Formation of Fe3Al Intermetallics Coatings Using Mechanochemically Synthesized Nanocrystalline Fe–Al Powders. *Materials*, 16, 1669. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma16041669>.

10. Borisov, Yu.S., Borisova, A.L., Vihilyanska, N.V. et. al. (2021) Electric arc spraying of intermetallic Fe–Al coatings using different solid and powder wires. *The Paton Welding J.*, 3, 16–21. DOI: <https://doi.org/10.37434/tpwj2021.03.03>.

11. Borisov, Yu.S., Borisova, A.L., Burlachenko, A.N. et. al. (2017) Structure and properties of alloyed powders based on Fe3Al intermetallic for thermal spraying produced using mechanochemical synthesis method. *The Paton Welding J.*, 9, 33–39. DOI: <https://doi.org/10.15407/tpwj2017.09.06>.

12. Фирстов С.А., Горбань В.Ф., Печковский Э.П. (2009) *Новая методология обработки и анализа результатов автоматического индентирования материалов*. Киев, Логос.

Firstov, S.A., Gorban, V.F., Pechkovskiy, E.P. (2009) *New procedure of treatment and analysis of results of automatic indentation of materials*. Kyiv, Logos [in Russian].

13. Chen, X., Du, Y., Chung, Y.-W. (2019) Commentary on using H/E and H/E as proxies for fracture toughness of hard coatings. *Thin Solid Films*, 688, 137265. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2019.04.040>.

14. Cui, C, Yang, C. (2023) Mechanical Properties and Wear Resistance of CrSiN Coating Fabricated by Magnetron Sputtering on W18Cr4V Steel. *Coatings*, 13(5), 889. DOI: <https://doi.org/10.3390/coatings13050889>.

15. Beake, B. (2022) The influence of the H/E ratio on wear resistance of coating systems – Insights from small-scale testing. *Surface and Coatings Technology*, 442, 128272. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2022.128272>.

STUDYING THE IMPACT OF DURATION OF TECHNOCHEMICAL SYNTHESIS OF NANOSTRUCTURE (Fe, Ti)₃Al POWDER ON CHARACTERISTICS OF PLASMA COATINGS

O.P. Gryshchenko¹, N.V. Vihilianska¹, O.M. Burlachenko¹, C. Cenderovski², V.F. Gorban³

¹E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine. 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine.
E-mail: grinya3679@gmail.com

²Warsaw University of Technology. plac Politechniki 1, 00-661 Warszawa

³Institute of Problems of Materials Science. I.M. Franevich NAS of Ukraine. 3 Academician Krzhizhanovsky, 03142 Kyiv

The impact of duration of high-energy processing of the mixture of 60.8Fe + 39.2TiAl powders (wt. %) on structure, phase composition and mechanical characteristics of plasma intermetallic (Fe,Ti)₃Al coatings was studied. As powders, for plasma spraying powders of (Fe,Ti)₃Al intermetallic were used, which were produced by the method of mechanochemical synthesis (MChS) in a high-energy mill for 3 and 5 h. As a result of plasma spraying, coatings with a nanocrystalline structure with the size of crystallites of 60 and 45 nm are formed, respectively. It was shown that during spraying of MChS-powder, produced during 5 h, thin-lamellar coatings with a maximum thickness of lamellae of 23 μm are formed, whereas in the case of spraying of MChS-powder produced within 3 h, the thickness of lamellae reaches 42 μm. At the same time, in the case of spraying MChS powder, produced within 5 h, more dense coatings are formed, the porosity of which is reduced by 2.3 % compared to the coating from the MChS-powder, produced within 3 h. It was established that mechanical characteristics (hardness and module of elasticity) of the plasma coating were increased when using a powder produced by processing within 5 h. This allows predicting higher wear resistance of these coatings, operating in the conditions of wear unlike the case of spraying MChS-powder, produced within 3 h. 15 Ref., 3 Tabl., 5 Fig.

Keywords: iron aluminides, mechanochemical synthesis, plasma spraying, nanostructural coatings, crystalline size, mechanical characteristics

Надійшла до редакції 28.06.2023

ПЕРЕДПЛАТА 2024

Журнали	Вартість передплати на друковані версії журналів*, грн.			
	місяць	квартал	півроку	рік
«Автоматичне зварювання», видається з 1948 р., 6 випусків на рік. ISSN 0005-111X. Передплатний індекс 70031.	–	–	900	1800
«Сучасна електromеталургія», видається з 1985 р., 4 випуски на рік. ISSN 2415-8445. Передплатний індекс 70693.	–	300	600	1200
«Технічна діагностика та неруйнівний контроль», видається з 1989 р., 4 випуски на рік. ISSN 0235-3474. Передплатний індекс 74475.	–	300	600	1200
«The Paton Welding Journal»**, видається з 2000 р., 12 випусків на рік. ISSN 0957-798X. Передплатний індекс 21971.	600	1800	3600	7200

*Вартість з урахуванням доставки рекомендованою бандероллю.
** Журнал «The Paton Welding Journal» містить статті, отримані від авторів з усього світу і вибірково переклади на англійську мову статей з журналів «Автоматичне зварювання», «Сучасна електromеталургія», «Технічна діагностика та неруйнівний контроль».
Передплату на журнали можна оформити по каталогах передплатних агентцій «УКРПОШТА», «Прес Центр» та у видавництві. Передплата через видавництво з любого місяця на любой термін, в т.ч. на попередні періоди та окремі статті, починаючи з першого року видання.
Передплата на електронну версію журналів.
Вартість передплати на електронну версію журналів дорівнює вартості передплати на друковану версію. Випуски журналу надсилаються електронною поштою у форматі pdf або для IP-адреси комп'ютера передплатника надається доступ до відповідних архівів журналу.
Передплата через сайт видавництва:
<https://patonpublishinghouse.com/ukr/journals/as/subscription>
<https://patonpublishinghouse.com/ukr/journals/sem/subscription>
<https://patonpublishinghouse.com/ukr/journals/tdnk/subscription>
<https://patonpublishinghouse.com/eng/journals/tpwj/subscription>

На сайті видавництва у 2024 р. доступні для вільного копіювання випуски журналів з 2007 по 2022 рр.