

nitrided layers have three distinct creep areas, depending on the temperature their duration is different. This is due to the presence in the surface layer of the reinforcing phase AlNi; uniformity of distribution of components of a covering on a surface and degree of their refractoryness. This is due to the complexity of the movement of dislocations, which on their way face the need to overcome large obstacles in their movement, caused by the presence of a reinforced layer.

Conclusions. Based on the obtained curves of isothermal and thermo cyclic creep, it is established that the type of creep curves depends on the temperature and conditions of its influence on the composition "base-coating"; the time to failure in the thermo cyclic test mode is less than in the isothermal; in the process of creep of aluminum alloy AL21 with heat-protective diffusion ion-nitrided layers, two competing processes are observed: hardening due to plastic deformation and removal of hardening under the influence of elevated temperature; despite the different composition of heat-protective diffusion ion-nitrided layers, the resistance to isothermal and thermo cyclic creep of the reinforced aluminum alloy AL21 increased by 1.8 ... 2.2 times.

**vacuum nitriding, aluminum alloys, heat resistance, isothermal and thermo cyclic tests, creep curves**

*Одержано (Received) 11.09.2020*

*Прорецензовано (Reviewed) 30.09.2020*

*Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020*

УДК 621.791.927.5

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).81-87](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).81-87)

**О.О. Іванов**, асп.

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна*

*e-mail: o.ivanov@nung.edu.ua*

## Дослідження структури та властивостей зносостійких покриттів отриманих методом наплавлення порошковими електродами на основі системи Fe-Ti-B-C

Проаналізовані сучасні та класичні публікації щодо зносостійких покриттів на основі карбідо- та боридоутворюючих перехідних металів IV-VI груп періодичної системи хімічних елементів. Розглянуто та проаналізовано передумови формування фаз дослідженої системи та мікроструктуру зносостійких покриттів. Запропонована система забезпечує дрібнозернисту структуру з рівномірно розподіленими карбідами та боридами разом з високою твердістю 67-69 HRC.

**наплавлення порошковими електродами, зносостійкі покриття, карбід титану, борид титану**

**А.А. Іванов**, асп.

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна*

**Исследование структуры и свойств износостойких покрытий, полученных методом наплавки порошковыми электродами на основе системы Fe-Ti-B-C**

Проанализированы современные и классические публикации о износостойких покрытиях на основе карбидо- и боридоформирующих переходных металлов IV-VI групп периодической системы химических элементов. Рассмотрены и проанализированы предпосылки формирования фаз рассматриваемой системы и микроструктуру износостойких покрытий. Предложенная система обеспечивает мелкозернистую структуру с равномерно распределенными карбидами и боридами вместе с высокой твердостью.

**наплавка порошковыми электродами, износостойкие покрытия, карбид титана, бориды титана**

**Постановка проблеми.** Отримання матеріалів, які характеризуються поєднанням таких параметрів як висока твердість та абразивна зносостійкість за умов підвищених робочих питомих тисків завжди була та є актуальною задачею матеріалознавства. Методи отримання зносостійких матеріалів відрізняються складністю, універсальністю, якістю отриманих матеріалів та вартістю здійснення процесу. Поширеними є наплавлення порошковими електродами, лазерне зміцнення, пресування, спікання, напилення з додатковою термічною обробкою [1], синтез та інші методи і їх комбінації.

Наплавлення порошковими електродами є відносно простим методом отримання зносостійких покриттів з можливістю наплавлення покриттів форм та розмірів в досить широкому діапазоні, а також, на різноманітні поверхні. Така універсальність методу корисна, в першу чергу, для галузей, що передбачають використання зносостійких матеріалів, а саме деревообробку, нафтопромислово, машинобудівну та інші.

Для зносостійкого матеріалу, що працює в умовах інтенсивної абразивної дії головними є такі параметри як мікроструктура, тип матриці, розподіл карбідів/боридів в структурі, їх розмір та форма, твердість матеріалу та мікротвердість фаз [2]. Наплавлення порошковими електродами дозволяє за один прохід електрода отримати шар більшої товщини у порівнянні з лазерним наплавленням [3], та значно простіше у порівнянні з синтезом матеріалів із вихідних реагентів [4].

В загальному, стійкість та працездатність матеріалу визначаються твердістю і міцністю матеріалу та міцністю закріплення його в матриці. Стан структури матеріалу (наявність тріщин, пор, концентраторів напружень) може значно впливати на його міцність і опір ударним навантаженням. Вдосконалення макро- та мікроструктури поверхні твердого матеріалу дає можливість в ряді випадків значно підвищити міцність матеріалу.

Окрім мікротвердості твердих включень та фаз в матеріалі не менш важливими, для процесу наплавлення, є змочуваність розплавленим електродним матеріалом поверхні, на яку здійснюється наплавлення, відсутність дефектів в наплавленому шарі, стійкий та міцний хімічний зв'язок між наплавленим матеріалом та матеріалом, на який здійснюється наплавлення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Серед систем, що широко застосовуються, можна виділити системи на основі карбідоутворюючих елементів, таких як Cr, Mo, Ti, Nb, V [5-7]. Серед вказаних систем найбільшою твердістю характеризуються покриття на основі системи Fe-Cr-V-C [8]. Хоча мікротвердість карбідів Cr<sub>2</sub>C<sub>3</sub>, Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>, Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub> та боридів Cr<sub>2</sub>B, Cr<sub>5</sub>B<sub>3</sub>, CrB, Cr<sub>3</sub>B<sub>4</sub> менша у порівнянні з мікротвердістю інших перехідних металів IV-VI груп періодичної системи хімічних елементів [9, 10], висока твердість забезпечується заевтектичною структурою покриття, яка містить евтектичну матрицю (Fe,Cr)<sub>3</sub>B<sub>x</sub>+γ-Fe та первинні карбідні та (або) боридні фази. Висока крихкість такої структури перешкоджає використанню матеріалів системи Fe-Cr-V-C у якості зносостійкого покриття в умовах динамічних навантажень. Вплив бору на підвищення твердості та сприяння дрібнозернистої структури матеріалів розглянуто в роботах [11] та [12].

При створенні зносостійких матеріалів, в якості вхідної сировини часто використовують феросплави металів [13]. Проте, за результатами [8], застосування чистих порошоків металів сприяє синтезу реакції "in situ", яка забезпечує формування дрібнозернистої структури з рівномірно розподіленими твердими включеннями. За допомогою використання порошоків чистих металів автори [14] досліджували наплавлені покриття системи Fe-Mo-V-C. Мікроструктура покриттів характеризується наявністю твердої фази MoV<sub>4</sub> у вигляді кристалів поліедричної форми, рівномірно розподілених у структурі. Фаза MoV<sub>4</sub> є близькою до структурного типу AlB<sub>2</sub>. Проте, в

структурі наявна небажана потрійна феритно-боридна евтектика, в якій розміщені кристали  $\text{MoB}_4$ .

Відповідно до досліджень авторів [15] при взаємодії компонентів Ti-B можливе утворення боридів:  $\text{TiB}$  (ромбічна ґратка),  $\text{Ti}_3\text{B}_4$  (орторомбічна ґратка),  $\text{TiB}_2$  (гексагональна ґратка). Титан, як перехідний метал IV групи періодичної системи елементів утворює монокарбід типу  $\text{MeC}$  з ГЦК-ґраткою. Відповідно до класичної літератури [9] мікротвердості  $\text{TiC}$  та  $\text{TiB}_2$  становлять  $\sim 29$  та  $\sim 29,5$  ГПа, відповідно, а їх теплота утворень на 1 моль фази становить для  $\text{TiC}$  183,8 [9], для  $\text{TiB}_2$  315,6 [15] –  $\Delta H$ , кДж. Мікротвердості карбіду титану та дибориду титану перевищують значення мікротвердості карбідів та диборидів інших перехідних металів [9], окрім твердості  $\text{W}_2\text{C}$ .

Диборид титану серед диборидів інших перехідних металів IV-VI груп періодичної системи елементів характеризується максимальною жорсткістю ґратки. [10] Показано, що ступінь жорсткості визначається ступенем заповненості  $\text{sp}$ -станів бору. У дибориді титану, у порівнянні з диборидами ванадію і хрому, ступінь заповненості  $\text{sp}$ -станів бору найбільша (3,95). Про високу жорсткість ґратки дибориду титану свідчать отримані експериментально порівняно невеликі значення коефіцієнтів термічного розширення і стиску, а також високі значення модуля Юнга [9].

З метою створення зносостійкого покриття розглядалась система Fe-Ti-B-C з огляду на можливість отримання високих фізико-механічних властивостей матеріалу поверхні через високу мікротвердість фаз, отриманих при взаємодії компонентів.

**Постановка завдання.** Метою даного дослідження було отримання зносостійкого матеріалу наплавленням порошковими електродами, дослідження фазового складу та структури матеріалу на основі системи Fe-Ti-B-C з додаванням Мо.

**Виклад основного матеріалу.** Порошкові електроди виготовлені шляхом закатування порошкової суміші вхідної сировини в металеву оболонку розміром 0,5 на 20 мм, матеріал оболонки сталь 08кп (ГОСТ 503-81).

Відповідно до [16] суміш вхідних компонентів обирався відповідно до рівняння:

$$(x+y)\text{Ti} + 2y\text{B} + x\text{C} = x\text{TiC} + y\text{TiB}_2, \quad (1)$$

В якості вихідних компонентів використовувались порошки Ti марки ПТМ, які мають більш розвинену поверхню ніж частинки порошку Ti марки ПТХ, що буде позитивно впливати на процеси формування фаз при наплавленні, Мо марки (МПЧ) та порошок  $\text{V}_4\text{C}$  (ГОСТ 5744-85). В дослідженні використовується порошок  $\text{V}_4\text{C}$ , оскільки при використанні порошків В та С згідно [17] можливе випаровування порошку В та вигорання С при підвищених температурах. Компонентний склад порошкових електродів вказано в таблиці 1.

Таблиця 1 – Склад порошкових електродів

№ зразка	Вміст компонентів, мас. %		
	Ti	Mo	$\text{V}_4\text{C}$
1	72,2	-	27,8
2	26,4	53,11	20,392

Джерело: розроблено автором

Як основу для наплавлення використовували металеву пластину, матеріал основи Ст3сп ГОСТ 535-2005. Наплавлення проводили на струмі прямої полярності 170 А, напруга 30-32 В з наступним охолодженням при кімнатній температурі. Твердість покриттів вимірювалась методом Роквелла, дослідження структури проводилось за методом електронної мікроскопії та дифракції відбитих електронів.

Мікроструктура зразка № 1 приведена на рис. 1. Відповідно до рисунку, мікроструктура складається з декількох фаз. Темні кристали мають у площині шліфа

січення продовгуватої трапецеподібної, прямокутної, шестикутної форми, які відповідно до аналізу складаються з 31,66 % В, 67,33 % Ті та 1,01 % Fe у масових відсотках. При переведенні у атомні відсотки дана фаза відповідає дибориду титану  $TiB_2$  з гексагональною кристалічною ґраткою, розчинність Fe у фазі менше 1 ат. %. Дрібніші, сірі кристали відповідають близькому до стехіометричного монокарбиду титану  $TiC$  з ГЦК-ґраткою типу NaCl. Матриця, в якій розміщені  $TiB_2$  та  $TiC$  відповідає фериту.

Отримане покриття характеризується високим значенням твердості 67 HRC, а дрібна мікроструктура з рівномірно розподіленими твердими включеннями перспективна для використання як зносостійкого покриття в умовах абразивного зношування.

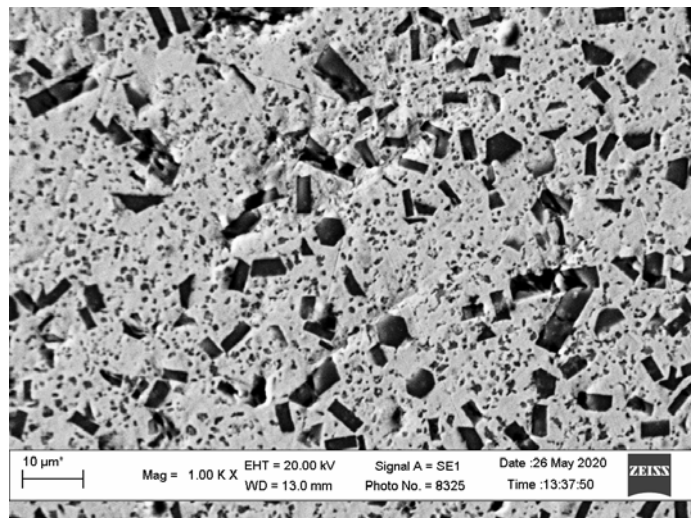


Рисунок 1 – структура матеріалу зразка 1

*Джерело: розроблено автором*

Проте, не дивлячись на дані [9] які свідчать про хорошу змочуваність залізом карбиду та дибориду титану, під час проведення експерименту наплавлення матеріал електроду наплавлявся з утворенням значних дефектів (рис. 2).

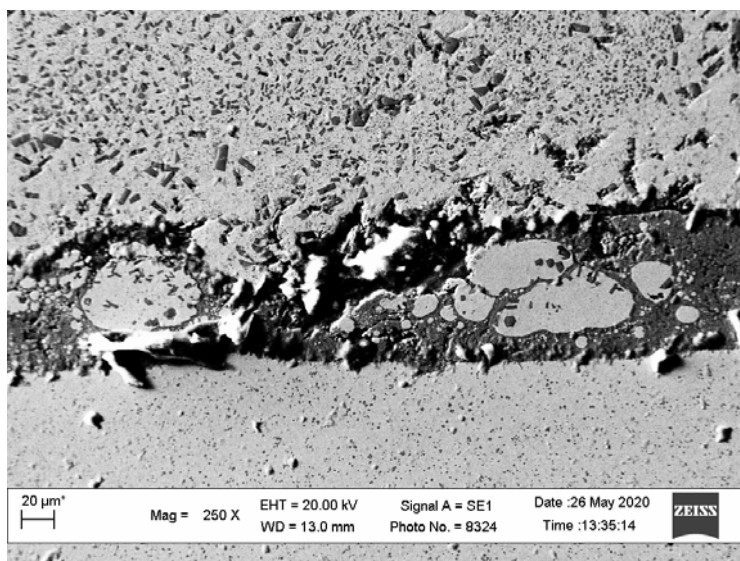


Рисунок 2 – зона сплавлення дослідного зірця 2

*Джерело: розроблено автором*

Як видно із рис. 2 по всій довжині зони сплавлення зносостійкого матеріалу – сталі присутні значні по розмірах дефекти, що свідчить про слабкий зв'язок наплавленого і основного матеріалу.

Для усунення дефектів під час наплавлення та формування покриття можна застосовувати захисні матеріали та проводити наплавлення в захисних газах [18]. Проте, наявність захисних матеріалів може порушити хімічний склад компонентів шихти та перешкодити синтезу «*in situ*» та утворенню необхідних фаз, а проведення наплавлення в захисному середовищі ускладнює процес та робить його більш вартісним.

По даним роботи [15] наплавлений шар системи Fe-Mo-V-C характеризується кращим зв'язком покриття-поверхня та відсутністю дефектів. Тому добавка порошку Мо до шихти Ti-V-C в рівних еквімолярних долях Me/V<sub>4</sub>C доцільне з приводу покращення якості наплавлення та підвищення зносостійких властивостей.

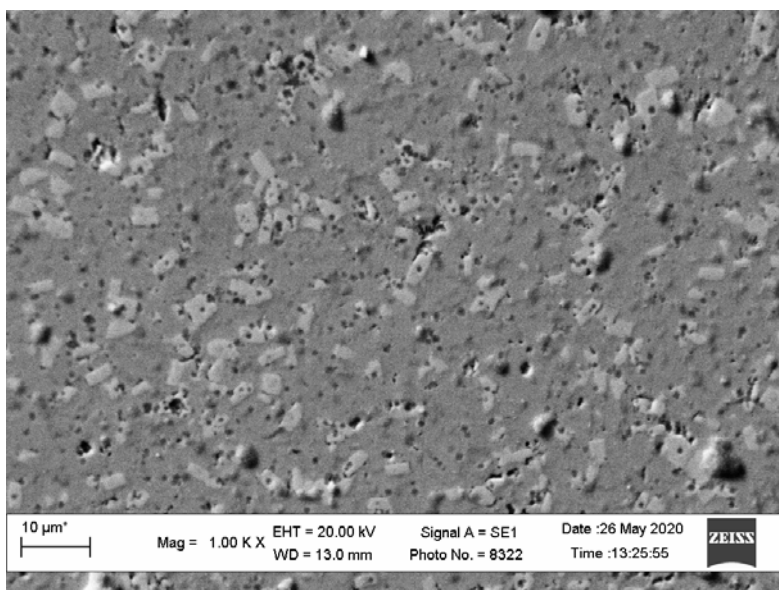


Рисунок 3 – структура матеріалу зразка 2

Джерело: розроблено автором

Структура зразка 2 (рис. 3) складається з карбідної (Ti, Mo)C та боридної (Ti, Mo)B<sub>2</sub> фаз, розміщених в феритній матриці, також присутній цементит. Мікроструктура зразка 2 більш дрібнозерниста у порівнянні зі структурою зразка 1 та зі структурою зносостійкого матеріалу системи Fe-Mo-V-C у роботі [14]. Якість наплавлення значно переважає якість наплавлення зразка 1. Твердість поверхні наплавленого покриття зразка 2 становить 69 HRC.

**Висновки.** За результатами проведених теоретичних та експериментальних досліджень розроблено та порівняно системи Fe-Ti-V-C та Fe-Ti-Mo-V-C. Покриття характеризуються дрібнозернистою структурою, що складається з твердих карбідів та боридів, рівномірно розміщених в феритній матриці. Формування карбідів та боридів забезпечується синтезом «*in situ*», який відбувається під час наплавлення при застосуванні порошків чистих металів Ti та Mo. Твердість покриття Fe-Ti-Mo-V-C 69 HRC вища ніж у покриття системи Fe-Ti-V-C 67 HRC. Подальші дослідження варто спрямувати на термодинамічні розрахунки фазоутворення в системі Fe-Ti-Mo-V-C та дослідження системи на абразивну зносостійкість за різними методами.

## Список літератури

1. Microstructure and Microhardness of Ni/Al-TiB<sub>2</sub> Composite Coatings Prepared by Cold Spraying Combined with Postannealing Treatment. / X. Chen at el. *Coatings*. 2019. Vol. 9, № 9. DOI: 10.3390/coatings9090565
2. Toward hard yet tough ceramic coatings. / Yu Xi Wang & Sam Zhang. *Surface & Coatings Technology*. 2014. Vol. 258. P. 1-16. doi.org/10.1016/j.surfcoat.2014.07.007
3. Effect of Molybdenum on the Wear Properties of (Ti,Mo)C-TiB<sub>2</sub>-Mo<sub>2</sub>B Particles Reinforced Fe-Based Laser Cladding Composite Coatings. / M. Zhang at el. *Journal of Tribology*. 2018. Vol. 140 № 5.
4. Influence of Sintering Temperature on Microstructure and Mechanical Properties of Ti-Mo-B<sub>4</sub>C Composites. / A.S. Namini at el. *Metals and Materials International*. 2019. doi.org/10.1007/s12540-019-00469-y
5. A Study on Hardfacing Alloy Using Fe-Cr and Fe-B Powders. / E. Kapir at el. *Acta Physica Polonica A*. 2015. Vol. 128. P. 160-163. doi.org/10.12693/APhysPolA.128.B-160
6. Microstructure and wear resistance of Fe-Cr<sub>13</sub>-C-Nb hardfacing alloy with Ti addition. / K. Yang at el. *Wear*. 2017. P. 1091– 1096.
7. Formation of eutectic carbides in Fe-Cr-Mo-C alloy during non-equilibrium crystallization. / K. Wiczerzak at el. *Materials & Design*. 2016. Vol. 94. P. 61-68. doi.org/10.1016/J.MATDES.2016.01.028
8. Improvement of Abrasion Resistance of Production Equipment Wear Parts by Hardfacing with Flux-cored Wires Containing Boron Carbide/Metal Powder Reaction Mixtures. / O. Ivanov at el. *Management Systems in Production Engineering*. 2020. Vol. 28. № 3. P. 178-183. doi.org/10.2478/mspe-2020-0026
9. Пайка и металлизация сверхтвердых инструментальных материалов / под общей ред. д-ра техн. наук Ю.В. Найдича. Киев «Наукова думка», 1977. 187 с.
10. Бориды. / Г.В. Самсонов и др. *Москва Атомиздат*, 1975. 376 с.
11. The Influence Of Boron On Microstructure And Hardness Of Fe-Cr-C Hardfacing Coatings. / Hülya Durmuş at el. *2nd International Conference on Material Science and Technology in Cappadocia (IMSTEC'17)*. October 11-13. 2017.
12. Microstructural and mechanical properties investigation of TiC reinforced hardface alloy deposited on mild steel substrate. / A. Jilleh et al. *Transactions of the Indian Institute of Metals*. 2013. Vol. 66. №. 4. P. 433-436. DOI: 10.1007/s12666-013-0252-z
13. Microstructure and wear properties of the Fe-Ti-V-Mo-C hardfacing alloy. / X. Wang at el. *Wear*. 2008. Vol. 265, №. 5-6. P. 583-589.
14. In Situ Formation Of Molybdenum Borides At Hardfacing By Arc Welding With Flux-Cored Wires Containing A Reaction Mixture Of B<sub>4</sub>C/MO. / P. Pryszazhnyuk at el. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 4/12. №. 106. P. 46-51. doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206568
15. Thermodynamic Analysis of the Nb-Ti-B Ternary Phase Diagram. / Yu Nakama at el. *Materials Transactions*. 2009. Vol. 50. №. 5. P. 984-992.
16. Structure and properties of 'Ti-C-B composite thin films produced by sputtering of composite TiC-TiB. / E.A. Levashov at el. *Surface and Coatings Technology*. 1997. Vol. 92. P. 34-41.
17. А.Ф. Лисовский. Формирование структуры композиционных материалов при обработке металлическими расплавами. Киев «Наукова думка». 2008. 198 с.
18. M. Roy. *Surface Engineering for Enhanced Performance against Wear*. 2013. Springer. P. 152-155.

## References

1. Chen, X., Li, C., Xu, S., Hu, Y., Ji, G. & Wang, H. (2019). Microstructure and Microhardness of Ni/Al-TiB<sub>2</sub> Composite Coatings Prepared by Cold Spraying Combined with Postannealing Treatment. *Coatings*, 9(9) [in English].
2. Yu Xi Wang & Sam Zhang, (2014). Toward hard yet tough ceramic coatings. *Surface & Coatings Technology*, Vol. 258, pp. 1-16) [in English].
3. Zhang M., Luo S. X., Liu S. S. & Wang X. H. (2018). Effect of Molybdenum on the Wear Properties of (Ti,Mo)C-TiB<sub>2</sub>-Mo<sub>2</sub>B Particles Reinforced Fe-Based Laser Cladding Composite Coatings. *Journal of Tribology*, 140(5) [in English].
4. Namini A.S., Asl M. S., Delbari S.A., (2019). Influence of Sintering Temperature on Microstructure and Mechanical Properties of Ti-Mo-B<sub>4</sub>C Composites. *Metals and Materials International* [in English].
5. Karip, E., Aydin, S. & Muratoğlu, M. (2015). A Study on Hardfacing Alloy Using Fe-Cr and Fe-B Powders. *Acta Physica Polonica A*, 128, pp. 160-163 [in English].
6. Yang, K., Gao, Y., Yang, K., Bao, Y. & Jiang, Y. (2017). Microstructure and wear resistance of Fe-Cr<sub>13</sub>-C-Nb hardfacing alloy with Ti addition. *Wear*, 376–377, pp. 1091– 1096 [in English].

7. Wiczerzak, K., Bala, P., Stepien, M., Cios, G. & Koziel, T. (2016). Formation of eutectic carbides in Fe–Cr–Mo–C alloy during non-equilibrium crystallization. *Materials & Design*, 94, pp. 61-68 [in English].
8. Ivanov O., Pryszyzhnyuk P, Lutsak D., Matviienkiv O. & Aulin, V. (2020). Improvement of Abrasion Resistance of Production Equipment Wear Parts by Hardfacing with Flux-cored Wires Containing Boron Carbide/Metal Powder Reaction Mixtures. *Management Systems in Production Engineering*, 28(3), pp. 178-183 [in English].
9. Najdich, Yu.V. (1977). *Pajka i metallizaciya sverhtverdyh instrumentalnyh materialov*. Kiev «Naukova dumka» [in Russian].
10. Samsonov, G.V., Serebryakova, T.I. & Neronov, V.A. (1975). *Boridy*. Moskva Atomizdat [in Russian].
11. Hülya Durmuş, Nilay Çömeza, Melis Yurddaşkalb, Uğur Çaligülç, (October 11-13, 2017), The Influence Of Boron On Microstructure And Hardness Of Fe-Cr-C Hardfacing Coatings. *2nd International Conference on Material Science and Technology in Cappadocia (IMSTEC'17)*, Nevsehir, Turkey [in English].
12. A. Jilleh et al., (2013). Microstructural and mechanical properties investigation of TiC reinforced hardface alloy deposited on mild steel substrate. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, Vol. 66, no. 4, pp. 433-436 [in English].
13. X. Wang, F. Han, X. Liu, S. Qu & Z. Zou, (2008). Microstructure and wear properties of the Fe–Ti–V–Mo–C hardfacing alloy. *Wear*, Vol. 265, no. 5-6, pp. 583-589 [in English].
14. P. Pryszyzhnyuk, L. Shlapak, O. Ivanov, S. Korniy, L. Lutsak, M. Burda, I. Hnatenko & V. Yurkiv, (2020). In Situ Formation Of Molybdenum Borides At Hardfacing By Arc Welding With Flux-Cored Wires Containing A Reaction Mixture Of B4C/MO. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4/12 (106), pp 46-51 [in English].
15. Yu Nakama, Hiroshi Ohtani, Mitsuhiro Hasebe, (2009). Thermodynamic Analysis of the Nb-Ti-B Ternary Phase Diagram. *Materials Transactions*, Vol. 50, No. 5, pp. 984-992 [in English].
16. Levashov, E.A., Kosyanin, V.I., Krukova, L.M., Moore, J.J. & Olson, D.L. (1997). Structure and properties of 'Ti-C-B composite thin films produced by sputtering of composite TiC-TiB, targets. *Surface and Coatings Technology*, Vol. 92, pp. 34-41 [in English].
17. Lisovskij, A.F. (2008). *Formirovanie struktury kompozicionnyh materialov pri obrabotke metallichesкими rasplavami*. Kiev «Naukova dumka» [in Russian].
18. M. Roy, Ed. (2013). *Surface Engineering for Enhanced Performance against Wear*. Springer. pp. 152-155 [in English].

**Olexandr Ivanov**, post-graduate

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine*

### **Researching of the Structure and Properties of Wear-resistant Coatings Obtained by Surfacing With Powder Electrodes Based on the Fe-Ti-B-C System**

In this study the main purpose was to provide “in situ” synthesis while flux cored arc welding (FCAW) for obtaining hardfacing with fine structure with uniformly distributed titanium borides and carbides in the Fe-Ti-B-C system. Also, Fe-Ti-Mo-B-C with equimolar content of Me/B4C was researched.

Powders electrodes was manufactured with using of pure metal powders to provide “in situ” synthesis. Initial components were powders of Ti, Mo and B<sub>4</sub>C. It was investigated that the offered harfacings are characterized by high hardness and fine-grained structure. Addition of Ti to Fe-Mo-B-C system leads to elimination of the ferrite-boride eutectics, that exist in Fe-Mo-B-C. Also, the structure of hardfacing of Fe-Ti-Mo-B-C is characterized with absence of defects and pores that exist in case of using Fe-Ti-B-C hardfacing. Analysis was carried out using scanning electron microscopy (SEM) and electron backscatter diffraction (BSD). Hardness was measured by Rockwell method.

According to the analysis of literature and experimental researches, a systems of powder electrode materials was manufactured by FCAW method with high content of hard borides and carbides. The obtained value of the hardness of Fe-Ti-B-C system is 67 HRC and for Fe-Ti-Mo-B-C system is 69 HRC.

**surfacing, wear-resistant coatings, titanium carbide, titanium boride**

*Одержано (Received) 05.10.2020*

*Прорецензовано (Reviewed) 15.10.2020*

*Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020*