



ВИСНОВОК

фахового семінару Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Іванова Олександра Олександровича на тему: «Особливості структуроутворення та властивості електродугових покриттів із порошкових дротів на основі системи Fe-Ti-B-C» на здобуття ступеня доктора філософії (галузь знань 13 – Механічна інженерія спеціальність 132 – Матеріалознавство)

Актуальність теми.

Для розроблення нових матеріалів, які характеризуються високими фізико-механічними властивостями та стійкістю до зношування при різних умовах роботи необхідний комплексний та масштабний підхід до питання. Критичний *аналіз* класичної та сучасної *наукової періодики* надає інформацію про тенденції удосконалення існуючих матеріалів та розроблення нових, які, за рахунок своїх властивостей та економічних факторів, спроможні конкурувати з наявними серійними матеріалами. Термодинамічне, *моделювання* структури та інші види *моделювання*, основані на теоретичних, розрахункових та експериментальних даних, дозволяють прогнозувати параметри та властивості матеріалу, а також більш точно і детально заглибитись у закономірності будови, формування структури, властивостей та факторів, що можуть впливати на використання, експлуатацію та застосування матеріалу відповідно до певних галузей. *Експериментальні дослідження* та апробація результатів сприяють підтвердженню змодельованих даних, та дозволяють отримати дані щодо матеріалу, його структури та властивостей, при реальних умовах роботи та реальному середовищі. Таким чином, для повного, детального та наукоємного дослідження особливостей структуроутворення та властивостей матеріалу необхідно поєднання цих трьох етапів, а саме – *аналізу наукової літератури*, різного роду *моделювання* та *експериментальних досліджень*.

Нанесення на робочі поверхні деталей машин та елементів обладнання зносостійкого матеріалу є сучасним, перспективним та продуктивним методом підвищення їх зносостійкості. Різновиди методу отримання покриття та вхідних систем матеріалу, дозволяють використовувати такий метод універсально, в залежності від багатьох факторів, включаючи умови роботи, види навантажень та середовищ, в яких працює деталь чи елемент конструкції. Робочі поверхні деталей машин та механізмів, що відносяться до нафтогазової, машинобудівної, деревообробної, землекоробної галузей, обладнань, що працюють з переробкою деревних, пластикових та металевих відходів, обладнань, що використовуються при виготовленні конструкційної кераміки, твердого деревного чи кам'яного палива, завжди потребують відновлення, яке є економічно вигідним та доцільним для конкретних умов роботи. Економічно важливими є тривалість роботи

поверхні (деталі/конструкції) між вимушеними ремонтними періодами, вартість матеріалу для відновлення (підвищення зносостійкості) та вартість виконання методу відновлення (підвищення зносостійкості). Робочі поверхні деталей згаданого вище обладнання практично завжди працюють в умовах підвищених питомих та циклічних навантажень (шнеки для виготовлення конструкційної будівельної кераміки при 75 МПа, для виготовлення паливних брикетів/гранул > 45 МПа), за умов помірних ударних навантажень (ножі для зняття кори з деревини, ножі для подрібнення ПЕТ-відходів), при зношуванні закріпленим та незакріпленим абразивом (глинозем – 15...19 ГПа, кремнезем – 9...11 ГПа). Враховуючи вказане вище, матеріал для відновлення та підвищення зносостійкості робочих органів такого обладнання повинен поєднувати високі значення твердості, стійкості в умовах абразивної дії при високих питомих та циклічних навантаженнях. Створення такого матеріалу ускладнюється тим, що збільшення твердості матеріалу (для типових матеріалів для наплавлення, наприклад на основі хрому і вольфраму) призводить до підвищення його крихкості. Проте, забезпечення, у матеріалі, формування структури, яка складається з твердих, дрібних, рівномірно-розподілених, рівновісних включень у відносно менш твердій матриці призведе до отримання необхідних експлуатаційних властивостей при конкретних умовах роботи.

Аналіз наукової літератури, моделювання та експериментальні та апробаційні дослідження дозволяють вибрати необхідну систему матеріалів, метод отримання покриття та визначити очікувані закономірності та особливості структуроутворення та властивостей матеріалів.

Покриття, отримані нанесенням реліту (матеріалу на основі карбиду вольфраму) залишаються одним із найбільш твердіших матеріалів для підвищення зносостійкості. Однак, їх висока вартість низька стійкість в умовах дії незакріпленого абразиву, що є наслідком крупнозернистої структури, сприяють пошуку альтернативних систем для нанесення покриття. Такими системами виступають Fe-Me-C, Fe-Me-B, Fe-Me-B-C, де Me – карбідоутворюючий та боридоутворюючий метал IV – VI групи періодичної системи елементів. Найбільш вивченими та досліджуваними системами являються такі, в яких, в якості Me виступають Cr та Ti, при чому, часто системи додатково легуються іншими металами IV – VI групи. Система з Ti також актуальна з огляду на те, що в Україні знаходяться найбільші в Європі ресурси і запаси титану (~ 17 родовищ), родовища якого знаходяться в Київській, Дніпропетровській, Харківській та Житомирській областях.

Як метод отримання покриття, електродугове наплавлення порошковими електродами (Flux-Cored Arc Welding – FCAW) характеризується рядом переваг серед подібних методів отримання покриття (наплавлення в захисних газах (Shielded Metal Arc Welding - SMAW), лазерне наплавлення, напилення та інші), таких як економічність, продуктивність, якість покриття, товщина шару, простота виконання.

Тому, отримання зносостійкого покриття шляхом наплавлення порошковими електродами, з високими експлуатаційними показниками та фізико-механічними властивостями, дослідження його особливостей структуроутворення є актуальним науково-практичним завданням матеріалознавства, що вимагає наукоємних підходів, щодо розроблення нових систем легування, до яких відноситься система Fe-Ti-B-C.

Зв'язок теми дослідження з планами науково-дослідних робіт.

Дисертаційна робота виконана відповідно до тематичного плану науково-дослідних робіт Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (ІФНТУНГ), є складовою частиною наукового напрямку кафедри зварювання ІФНТУНГ, а також тематики науково-дослідної роботи «Розробка методів і засобів підвищення експлуатаційних характеристик робочих поверхонь технічного оснащення об'єктів безпекової інфраструктури» РК 0120U102113, де дисертант був виконавцем.

Конкретна особиста участь автора в одержанні результатів та особистий внесок в них автора у публікаціях.

Основні положення та результати досліджень за темою дисертаційної роботи автор отримав самостійно. Постановка мети, наукових задач, вибір об'єкта досліджень, обговорення одержаних результатів виконано спільно з науковим керівником. У працях, написаних у співавторстві, здобувачу належить:

[1] – проведено дослідження застосування чистих порошків металів для забезпечення здійснення *in-situ* механізмів при структуроутворенні покриттів шляхом наплавлення порошковими електродами систем Fe-Ti-B-C, Fe-Cr-B-C, Fe-Mo-B-C, Fe-Ti-Mo-B-C, Fe-Ti-Cr-B-C;

[2] – проведено оцінку впливу порошку титану на механізми термодинамічної взаємодії при формуванні структури електродугового покриття багатокомпонентної системи;

[3] – проаналізовано умови та особливості роботи шнека для виготовлення конструкційної кераміки, проведено лабораторні та апробаційні дослідження зносостійкості робочих поверхонь шнека, зміцненого розробленим електродним матеріалом на основі системи Fe-Ti-Mo-B-C в умовах інтенсивної абразивної дії.

[4] – проведено оцінку впливу карбіду титану на твердість та абразивну стійкість електродугових покриттів багатокомпонентних систем;

[5] – проведення досліджень структури та фазового складу покриття отриманого наплавленням порошковими електродами системи Fe-Mo-B-C. Запропоновано схему утворення покриття шляхом наплавлення порошковими електродами з реакційною сумішшю чистого порошку Mo та карбіду бору B_4C .

[6] – аналіз умов роботи, механізмів та характеру зношування робочих поверхонь обладнання для зняття кори з деревини;

[7] – аналіз умов роботи, механізмів та характеру зношування робочих поверхонь обладнання, що працює в умовах підвищеної абразивної дії. Порівняння зносостійкості робочих поверхонь, відновлених серійними електродами типу реліт та електродами системи Fe-Ti-B-C, в основі формування яких приймає участь *in-situ* механізм;

[8] – визначення впливу марки порошку титану на особливості формування структури та властивостей поверхневих шарів, наплавлених порошковими дротами системи Fe-Ti-B-C;

[9] – досліджено застосування порошків чистих металів при формуванні структури та властивостей покриттів, наплавлених порошковими електродами систем Fe-Ti-B-C та Fe-Ti-Mo-B-C, визначення механічних властивостей та оцінка технологічних властивостей;

[10] – оцінено та обґрунтовано залежність триботехнічних властивостей електродугових покриттів системи Fe-Ti-Cr-B-C в умовах інтенсивної абразивної дії;

[11] – досліджено *in-situ* механізм формування карбіду титану TiC , модифікуючого карбіди хрому в системі Fe-Ti-Cr-B-C;

[12] – досліджено та обґрунтовано застосування модифікаторів TiC, сформованих *in-situ* на механічні властивості електродугових покриттів систем Fe-Ti-B-C-Cr, Fe-Ti-Mo-B-C, Fe-Ti-Cr-B-C;

[13] – досліджено вплив легуючих добавок перехідних металів IV-VI групи періодичної системи елементів на механічні властивості поверхонь, отриманих наплавленням порошковими електродами системи Fe-Ti-Cr-B-C;

[14] – досліджено вплив карбіду та нітриду ванадію на твердість зносостійкого покриття;

[15] – удосконалено методику проведення триботехнічних випробувань при сухому терті по закріпленому абразиву;

[16] – визначено технологічні особливості підвищення зносостійкості породоруйнівного інструменту порошковими електродами системи Fe-Ti-Cr-B-C;

[17] – визначено температурні залежності формування дибориду титану TiB₂ при застосуванні металевого порошку титану в складі порошкових електродів під час наплавлення;

№	Автори, назва публікації	Особистий внесок дисертанта, зміст	%
Праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації			
1.	Ivanov O., Prysyzhnyuk P., Lutsak D., Matviienkiv O., Aulin V., 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, 2020, Volume 28, Issue 3, pp. 178-183. DOI 10.2478/mspe-2020-0026 (індексується в наукометричній базі SCOPUS)	Проведено дослідження застосування чистих порошоків металів для забезпечення здійснення <i>in-situ</i> механізмів при структуроутворенні покриттів шляхом наплавлення порошковими електродами систем Fe-Ti-B-C, Fe-Cr-B-C, Fe-Mo-B-C, Fe-Ti-Mo-B-C, Fe-Ti-Cr-B-C	60
2.	Shihab T., Prysyzhnyuk P., Semyanyk I., Andrusyshyn R., Ivanov O., Troshchuk L., Thermodynamic Approach to the Development and Selection of Hardfacing Materials in Energy Industry, Management Systems in Production Engineering, 2020, Volume 28, Issue 2, pp. 84-89. DOI 10.2478/mspe-2020-0013 (індексується в наукометричній базі SCOPUS)	Проведено оцінку впливу порошку титану на механізми термодинамічної взаємодії при формуванні структури електродугового покриття багатокомпонентної системи	30
3.	Prysyzhnyuk P., Shlapak L., Ivanov O., Korniy S., Lutsak L., Burda M., Hnatenko I., Yurkiv V., 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, 2020, 4/12 (106), pp. 46-51. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.206568 (індексується в наукометричній базі SCOPUS)	Проаналізовано умови та особливості роботи шнека для виготовлення конструкційної кераміки, проведено лабораторні та апробаційні дослідження зносостійкості робочих поверхонь шнека, зміцненого розробленим електродним матеріалом на основі системи Fe-Ti-Mo-B-C в умовах інтенсивної абразивної дії	25

№	Автори, назва публікації	Особистий внесок дисертанта, зміст	%
4.	Shihab T., Prysyzhnyuk P., Andrusyshyn R., Lutsak L., Ivanov O., Tsap I., Forming the Structure and the Properties of Electric Arc Coatings Based on High Manganese Steel Alloyed with Titanium and Niobium Carbides, Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2020, 1/12 (103), pp. 38-44. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.194164 (індексується в наукометричній базі SCOPUS)	Проведено оцінку впливу карбіду титану на твердість та абразивну стійкість електродугових покриттів багатокомпонентних систем	25
5.	Prysyzhnyuk P., Ivanov O., Lutsak D., Lutsak L., Wear Resistance Improvement of Equipment for Production of Building Ceramics by Hardfacing with Flux-Coerd Electrodes based on Fe-Ti-B-C System, MAPE, 2020, Volume 3, Issue 1, pp. 263-273. doi:10.2478/mape-2020-0023	Проведення досліджень структури та фазового складу покриття отриманого наплавленням порошковими електродами системи Fe-Mo-B-C. Запропоновано схему утворення покриття шляхом наплавлення порошковими електродами з реакційною сумішшю чистого порошку Мо та карбіду бору В ₄ С	40
6.	Іванов О., Присяжнюк П., Луцак Д., Бурда М., Луцак Л., Відновлення Робочих Органів Обладнання для Зняття Кори з Деревини, Проблеми трибології (Problems of Tribology), 2018, № 1, с. 99-105. (фахове видання України)	Аналіз умов роботи, механізмів та характеру зношування робочих поверхонь обладнання для зняття кори з деревини	50
7.	Ivanov O., Prysyzhnyuk P., Lutsak D., Burda M., Lutsak L., Increasing the durability of working elements of equipment for abrasive-containing masses processing, Problems of Tribology, 2019, 24 (3/93), pp. 14-21. DOI: https://doi.org/10.31891/2079-1372-2019-93-3-14-21 (фахове видання України)	Аналіз умов роботи, механізмів та характеру зношування робочих поверхонь обладнання, що працює в умовах підвищеної абразивної дії. Порівняння зносостійкості робочих поверхонь, відновлених серійними електродами типу реліт та електродами системи Fe-Ti-B-C, в основі формування яких приймає участь <i>in-situ</i> механізм	50
8.	Іванов О., Присяжнюк П., Особливості Формування Структури та Властивостей Поверхневих Шарів Наплавлених Порошковими Дротоми Системи Fe-Ti-B-C, Вісник ХНАДУ, 2020, вип. 91, с. 111-115. DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2020.91.0.111 (фахове видання України)	Визначення впливу марки порошку титану на особливості формування структури та властивостей поверхневих шарів, наплавлених порошковими дротоми системи Fe-Ti-B-C	70

№	Автори, назва публікації	Особистий внесок дисертанта, зміст	%
9.	Іванов О., Дослідження структури та властивостей зносостійких покриттів отриманих методом наплавлення порошковими електродами на основі системи Fe-Ti-B-C, Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки, 2020, вип. 3(34), с. 81-87. DOI: https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).81-87 (фахове видання України)	Досліджено застосування порошків чистих металів при формуванні структури та властивостей покриттів, наплавлених порошковими електродами систем Fe-Ti-B-C та Fe-Ti-Mo-B-C, визначення механічних властивостей та оцінка технологічних властивостей	100
10.	Іванов О., Луцак Д., Присяжнюк П., Луцак Л., Зміцнення корпусної частини породоруйнівного інструменту електродуговим наплавленням зносостійкого покриття / 1-ша Міжнародна науково-практична конференція «Підвищення надійності машин і обладнання»: матеріали конференції, м. Кропивницький, 17-19 квітня 2019 року, с. 17-18. (фахове видання України)	Оцінено та обгрунтовано залежність триботехнічних властивостей електродугових покриттів системи Fe-Ti-Cr-B-C в умовах інтенсивної абразивної дії	50
11.	Іванов А., Присяжнюк П., Луцак Д., Луцак Л., Сенютович А., Формирование структуры и свойств износостойкого электродугового покрытия системы Fe-Ti-B-C-Cr / 18-я Международная научно-техническая конференция «Инженерия поверхности и реновация изделий» 04-08 июня 2018 г., г. Свалява: материалы конференции, Киев, 2018, с. 70-72.	Досліджено <i>in-situ</i> механізм формування карбіду титану TiC, модифікуючого карбіди хрому в системі Fe-Ti-Cr-B-C	50
12.	Іванов А., Присяжнюк П., Луцак Д., Повышение абразивной износостойкости деталей производственного оборудования наплавлением порошковыми электродами на основе боридов/карбидов металлов / 20-я Международная научно-техническая конференция «Инженерия поверхности и реновация изделий» 01-05 июня 2020 г., г. Киев: материалы конференции, Киев, 2020, с. 31-34.	Досліджено та обгрунтовано застосування модифікаторів TiC, сформованих <i>in-situ</i> на механічні властивості електродугових покриттів систем Fe-Ti-B-C-Cr, Fe-Ti-Mo-B-C, Fe-Ti-Cr-B-C	60
13.	Іванов О., Грунт О., Присяжнюк П., Особливості електродугового наплавлення калібруючих поверхонь шарошкових доліт порошковими електродами / XII науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих учених «Підвищення надійності машин і обладнання» 18-20 квітня 2018 року, м. Кропивницький: збірник тез доповідей, Кропивницький, 2018, с. 54-55.	Досліджено вплив легуючих добавок перехідних металів IV-VI групи періодичної системи елементів на механічні властивості поверхонь, отриманих наплавленням порошковими електродами системи Fe-Ti-Cr-B-C	60

№	Автори, назва публікації	Особистий внесок дисертанта, зміст	%
14.	Іванов О., Андрусичин Р., Зміцнення бурових доліт наплавленням зносостійкого матеріалу / III Міжнародна науково-практична конференція «Прикладні науково-технічні дослідження» 3-5 квітня 2019 р., Івано-Франківськ: Матеріали III міжнародної науково-практичної конференції, с. 58.	Досліджено вплив карбіду та нітриду ванадію на твердість зносостійкого покриття	70
15.	Shihab T., Shlapak L., Prysyzhnyuk P., Ivanov O., Burda M., Increasing of durability of mechanical seals of oil and gas centrifugal pumps using tungsten-free metal-ceramic composites / XVI International Scientific and Engineering Conference “HERVICON + PUMPS” Hermetic Sealing, Vibration Reliability and Ecological Safety of Pump and Compressor Machinery, September 8-11, 2020, SumSU, Sumy, Ukraine.	Удосконалено методику проведення триботехнічних випробувань при сухому терті по закріпленому абразиву	25
16.	Іванов О., Присяжнюк П., Цап І., Зміцнення калібруючих поверхонь бурових доліт електродуговим наплавленням зносостійкого матеріалу / II-га Міжнародна науково-технічна конференція «Машини, обладнання і матеріали для нарощування вітчизняного видобутку нафти і газу» 24-27 квітня 2018 року, м. Івано-Франківськ: матеріали конференції, с. 226-229.	Визначено технологічні особливості підвищення зносостійкості породоруйнівного інструменту порошковими електродами системи Fe-Ti-Cr-V-C	60
17.	Ivanov O., Formation Features of Titanium Borides and Titanium Carbides at Hardfacing by Flux-Cored Arc Welding Containing a Reaction Mixture of B ₄ C/Ti / I International Scientific and Practical Conference «Topical Aspects of Modern Science and Practice» September 21-24, 2020, Frankfurt am Main, Germany, pp. 354-356. DOI - 10.46299/ISG.2020.II	Визначено температурні залежності формування дибориду титану TiB ₂ при застосуванні металевих порошків титану в складі порошкових електродів під час наплавлення	100

Ступінь обґрунтованості запропонованих здобувачем положень, висновків та рекомендацій.

Наукові положення, висновки та рекомендації, отримані автором у процесі дослідження, належним чином аргументовані та науково обґрунтовані.

Обґрунтованість забезпечується коректністю постановки задач досліджень, використанням апробованих положень матеріалознавства, методів скануючої електронної мікроскопії (SEM), металографічного, рентгеноструктурного (XRD) аналізу; застосуванням моделювання фазової рівноваги із використанням методу CALPHAD.

Достовірність, сформульованих у дисертації наукових положень, висновків та рекомендацій підтверджується їх науковим обґрунтуванням, яке базується на критичному осмисленні здобутків вчених у напрямках отримання та дослідження поверхонь, отриманих при наплавленні зносостійкими електродними матеріалами; термодинамічним моделюванням фазового складу розглянутої багатокомпонентної системи легування; широким комплексом досліджень отриманих матеріалів та визначення їх фізико-механічних та триботехнічних

характеристик, технологічних особливостей; відповідністю використаних наукових методів завданням, поставленим в ході дослідження; структурованістю та логічною послідовністю етапів дослідження; значним обсягом опрацьованих джерел. Проведені експериментальні дослідження підтвердили теоретичні дослідження, положення та висновки.

Основні результати дослідження, ступінь їх наукової новизни та значущості.

Отримані в процесі дослідження наукові результати в сукупності дозволили вирішити актуальну науково-дослідницьку та науково-практичну задачу, яка полягає у моделюванні та дослідженні особливостей структуроутворення зносостійких покриттів на основі системи Fe-Ti-B-C з додаванням Mo, з використанням чистих порошків металів, та отриманні на основі системи матеріалу з підвищеною стійкістю в умовах абразивної дії.

Наукова новизна отриманих результатів:

- вперше, на основі комплексу експериментальних досліджень, встановлено, що у порошкових електродних матеріалах системи легування Fe-Ti-B-C із вмістом Ti ~ 16, B ~ 5.5, C ~ 1.5 мас. % часткова (~ 50 ат. %) заміна Ti на Mo призводить до утворення у структурі покриття значної кількості (~ 20 об. %) фази на основі потрійного бориду Mo_2FeB_2 із високою мікротвердістю (~ 35 – 40 ГПа) та забезпечує високу твердість покриття ~ 67 HRC;

- отримала подальший розвиток теорія моделювання фазової рівноваги у багатокомпонентних системах методом CALPHAD, шляхом доповнення термодинамічних даних для системи Fe-Ti-Mo-B-C новими параметрами потрійних сполук системи B-Mo-C, отриманих за результатами квантово-хімічних розрахунків та розроблення бази даних термодинамічних функцій для прогнозування фазового складу сплавів даної системи та, відповідно, обґрунтованого вибору елементного складу електродних матеріалів для наплавлення;

- вперше, на основі побудованої 3D моделі зерен фази Mo_2FeB_2 , яка утворюється в електродугових покриттях системи Fe-Ti-Mo-B-C, виявлено, що в їх центральних областях знаходяться дисперсні (розмірами ~ 1-2 мкм), рівномірно розташовані огранені зерна фази на основі TiC, сформованої in-situ, що свідчить про їх модифікуючу роль при формуванні структури покриттів;

- за результатами триботехнічних випробувань при різних умовах абразивного зношування електродугових покриттів із порошкових дротів системи Fe-16(Ti+Mo)-5.5B-1.5C встановлено, що при об'ємному співвідношенні Ti:Mo у вихідній шихті від 0.42 до 1 їх зносостійкість є вищою порівняно із покриттями нанесеними із використанням серійних високохромистих матеріалів на 50-60 %, що дає підстави для використання розроблених матеріалів для заміни серійних у важких умовах роботи;

- встановлено, що використання розроблених електродних матеріалів із на основі системи легування Fe-Ti-B-C із добавками Mo при нанесенні електродугових покриттів на робочі поверхні ножів для зняття кори з деревини та шнеків пресів для виробництва будівельної кераміки дозволяє підвищити їх довговічність у 2,8 та 1,9-2,0 рази, відповідно.

Теоретичне значення роботи полягає у:

- за допомогою проведення квантово-хімічних розрахунків визначено термодинамічні показники для трикомпонентної системи B-Mo-C;

– на основі існуючих теоретичних та експериментальних даних, а також, на основі розрахованих, у процесі дисертаційного дослідження, даних сформовано термодинамічну базу даних для багатокомпонентної системи Fe-Ti-Mo-B-C;

– побудовано політермічне січення для багатокомпонентної системи легування Fe-Ti (Mo)-B-C в області концентрацій, що відповідають хімічному складу розроблених, в процесі дисертаційного дослідження, електродів, а також визначено вплив зміни співвідношення Ti/Mo на формування структури та властивостей покриттів при наплавленні дослідними електродами;

– на основі методики стереографічної металографії, розроблено методику та за її допомогою виконано 3D модель зміцнюючої фази, що формується у структурі поверхневого шару.

Практичне значення одержаних результатів:

– розроблено електродний матеріал з високим рівнем фізико-механічних і технологічних властивостей, з структурою, відмінною від серійних наплавочних матеріалів, оскільки в основі процесів структуроутворення приймає участь *in-situ* формування;

– застосування розроблених дослідних електродів для відновлення та зміцнення робочих поверхонь інструментів/обладнання для зняття кори з деревини та виготовлення будівельної конструкційної кераміки підвищило довговічність інструментів/обладнання у 1,9-2,0 та 2,8 рази, відповідно, у порівнянні з відновленими та зміцненими високохромистими серійними електродами;

– отримані в дисертаційній роботі наукові результати використовуються в навчальному процесі кафедри зварювання Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу при викладанні дисципліни «Основи матеріалознавства» при підготовці бакалаврів за спеціальністю 131 – Прикладна механіка.

Повнота викладення матеріалів дисертації в публікаціях та особистий внесок у них автора. За результатами дисертації опубліковано 17 робіт, із них 4, які входять до наукометричної бази SCOPUS, 1 у міжнародному виданні, яке входить до наукометричних баз, 4 входять до переліку МОН України та 8 тез доповідей на конференціях.

Апробація результатів дослідження. Основні положення дисертаційної роботи були вислухані, обговорені та отримали схвалення на: 1-шій Міжнародній науково-практичній конференції «Підвищення надійності машин і обладнання» (17-19 квітня 2019, м. Кропивницький), 18-тій Міжнародній науково-технічній конференції «Інженерія поверхні та реновація виробів» (04-08 червня 2018, м. Свалява), 20-тій Міжнародній науково-технічній конференції «Інженерія поверхні та реновація виробів» (01-05 червня 2020, м. Київ), XII науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих учених «Підвищення надійності машин і обладнання» (18-20 квітня 2018, м. Кропивницький), III Міжнародній науково-практичній конференції «Прикладні науково-технічні дослідження» (03-05 квітня 2019, м. Івано-Франківськ), XVI Міжнародній науково-практичній конференції «HERVICON + PUMPS» (08-11 вересня 2020, м. Суми), II-гій Міжнародній науково-технічній конференції «Машини, обладнання і матеріали для нарощування вітчизняного видобутку нафти і газу» (24-27 квітня 2018, м. Івано-Франківськ), I-шій Міжнародній науково-практичній конференції «Topical Aspects of Modern Science and Practice» (21-24 вересня 2020, Франкфурт-на-Майні, Німеччина).

Відповідність дисертації вимогам МОНУ.

Дисертаційна робота за ступенем актуальності обраної теми, обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх новизни, повноти викладу в наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації, відсутності порушень академічної доброчесності, цілком відповідає пунктам 9-12 Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 06 березня 2019 року №167.

Оцінка мови та стилю дисертації. Дисертаційна робота написана грамотною українською технічною мовою, стиль викладення матеріалів досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття.

Іванов Олександр Олександрович є сформованим науковим фахівцем, що може ставити і самостійно вирішувати наукові проблеми.

Враховуючи наведене вище, фаховий семінар рекомендує дисертацію Іванова Олександра Олександровича на тему «Особливості структуроутворення та властивості електродугових покриттів із порошкових дротів на основі системи Fe-Ti-B-C» до розгляду та захисту на здобуття ступеня доктора філософії (галузь знань 13 – Механічна інженерія, за спеціальністю 132 – Матеріалознавство) у спеціалізованій вченій раді.

Рецензент,
професор кафедри комп'ютеризованого
машинобудівного виробництва
д.т.н., доц.

 Роп'як Л.Я.

Рецензент,
доцент кафедри
зварювання
к.т.н., доц.

 Біщак Р.Т.