

Голові спеціалізованої вченої ради  
ДФ 20.052.017  
Івано-Франківського національного  
технічного університету нафти і газу  
доктору технічних наук, професору  
Петрині Дмитру Юрійовичу

**ВІДГУК**  
**ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА**  
**Мариненка Сергія Юрійовича**

на дисертаційну роботу Іванова Олександра Олександровича  
на тему «Особливості структуроутворення та властивості електродугових  
покриттів із порошкових дротів на основі системи Fe-Ti-B-C»  
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії  
за спеціальністю 132 Матеріалознавство.

**1. Актуальність теми дисертаційної роботи**

За сучасних умов експлуатації конструкційних елементів машин та механізмів, робочі поверхні яких працюють під дією навантажень та піддаються частковому або повному зношуванню важливим є вивчення можливостей розроблення та нанесення захисних покриттів на робочі поверхні.

Нанесення на робочі поверхні деталей машин та елементів обладнання зносостійкого матеріалу є сучасним, перспективним та продуктивним методом підвищення їх зносостійкості. Економічно важливими є тривалість роботи поверхні (деталі/конструкції) між періодами, вартість матеріалу для відновлення та вартість виконання робіт.

Тому, отримання зносостійкого покриття шляхом наплавлення порошковими електродами Fe-Ti-B-C, з високими експлуатаційними показниками та фізико-механічними властивостями, дослідження особливостей

його структуроутворення є актуальним науково-практичним завданням матеріалознавства.

## **2. Аналіз змісту дисертації. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації**

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка містить вступ, п'ять розділів, висновки, список використаних джерел та додатки.

У *вступі* обґрунтовано актуальність дослідження, наведено зв'язок роботи з науково-дослідною темою, поставлено мету та визначено завдання дослідження, об'єкт та предмет дослідження, наведено перелік методів дослідження, що застосовувались для досягнення мети дисертаційної роботи. Сформульовано наукову новизну, практичне значення отриманих результатів та особистий творчий внесок здобувача. Подано відомості щодо апробації та опублікування результатів дослідження.

У *першому розділі* зроблено огляд праць за темою дисертації та подано стислий аналіз сучасного стану проблеми. Проаналізовано сучасні серійні матеріали для наплавлення від провідних світових виробників, а також системи легування на основі Cr і Ti та матеріали, що використовуються для отримання зносостійких покриттів. Також описано особливості формування структури та властивостей електродугових покриттів із порошкових матеріалів та розглянуто методи теоретичного аналізу фазового складу багатоконпонентних систем легування.

У *другому розділі* подано конструкцію та основні технологічні етапи виготовлення дослідних порошкових електродів, методи дослідження фізико-механічних властивостей, методику їх випробувань в умовах дії незакріпленого абразиву, закріпленого абразиву, газо-абразивного зношування та ударно-абразивного зношування.

У *третьому розділі* описано результати термодинамічного моделювання покриттів на основі системи Fe–Ti (Mo)–B–C методом CALPHAD. На основі квантово-хімічних розрахунків встановлено, що у системі B–Mo–C за рівноважних умов енергетично вигідне існування лише однієї хімічної сполуки

$\text{VMo}_2\text{C}$ , яку було представлено відповідно до три-підграткової моделі Хіллєрта та включено до розрахунків фазової рівноваги. Шляхом поєднання теоретичних розрахунків та експериментального дослідження структури і фазового складу встановлено оптимальний хімічний склад покриття.

*У четвертому розділі* досліджено структури та фазовий склад розроблених матеріалів. Проаналізовано вплив марки порошку титану на формування структури дослідних зразків та зону їх сплавлення з основним металом.

Проаналізовано структури дослідних покриттів, отриманих наплавленням порошкових електродів з реакційною сумішшю  $\text{Me} + \text{V}_4\text{C}$ , де  $\text{Me}$  – суміш чистих порошоків металів  $\text{Ti}$  та  $\text{Mo}$  при всіх можливих концентраціях з кроком 10%. Встановлено, що при застосуванні чистих порошоків металів основна фаза  $\text{Mo}_2\text{FeV}_2$  формується навколо *in-situ* сформованих частинок карбїду титану  $\text{TiC}$ , які виступають в ролі модифікаторів. Встановлено, що структура покриття з оптимальними значеннями розподїлу твердих включень, їх розміри та форма, забезпечується при співвідношенні  $\text{Ti}/\text{Mo}$  як 4/6. Показано, що застосування реакційної суміші  $\text{Me} + \text{V} + \text{C}$  є не доцїльним з точки зору формування покриття, утворення фаз та властивостей матеріалу.

*У п'ятому розділі* наведено результати досліджень фізико-механїчних, триботехнїчних та експлуатаційних властивостей.

Визначено зносостїйкїсть розроблених та серійних електродних матеріалів, призначених для умов роботи в абразивному середовищі при рїзній дїї абразиву на досліджуванї матеріали. Встановлено, що розроблений матеріал має найвищу зносостїйкїсть при дїї незакріпленого абразиву та газоабразивного зношування. Шляхом визначення термічного циклу при наплавленні та аналізу експериментально побудованих ізоTERM встановлено, що ширина зони проплавлення розробленими електродами основного матеріалу становить 1,0 см, а глибина близько 0,5 см. Проведено апробацію розробленого матеріалу для відновлення та зміцнення робочих деталей промислового обладнання для зняття кори з деревини та виготовлення будівельної кераміки. Стїйкїсть

робочих деталей порівняно з деталями, відновленими серійними електродами підвищилась на 50 – 60%.

### **3. Наукова новизна одержаних результатів**

Основним науковим результатом дисертаційної роботи Іванова О.О. є встановлення закономірностей формування мікроструктури системи Fe-Ti-B-C та Fe-Ti/Mo -B-C, у яких для досягнення високих фізико-механічних та експлуатаційних властивостей частину Ti замінено Mo для формування потрібного бориду  $Mo_2FeB_2$ .

Автором проведено квантово-хімічні розрахунки термодинамічних характеристик сполук системи B-Mo-C, що дозволило розвинути теорію моделювання фазової рівноваги у багатокомпонентних системах методом CALPHAD.

В системі Fe-Ti-Mo-B-C виявлено дисперсну фазу TiC, сформовану in-situ в центральній частині фази  $Mo_2FeB_2$ , що дає змогу регулювати параметри структури.

Вважаю, що наукові результати здобувача є вагомим внеском у розвиток підвищення зносостійкості, експлуатаційної довговічності та надійності елементів конструкцій, що працюють в умовах інтенсивного абразивного зношування.

Розроблені зносостійкі покриття на основі системи Fe-Ti-B-C із добавками Mo дають нові можливості для підвищення залишкового експлуатаційного ресурсу елементів конструкцій для роботи в інтенсивного зношування.

### **4. Достовірність отриманих результатів і висновків**

Достовірність отриманих результатів підтверджується використанням сучасного математичного апарату, методів дослідження та обладнання, що забезпечило задовільне узгодження теоретичних розрахунків з експериментальними результатами.

## **5. Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності та повнота викладу наукових результатів в опублікованих працях**

*Оформлення дисертації.* Дисертаційну роботу викладено на 202 сторінках друкованого тексту, в тому числі 100 рисунків і 17 таблиць, список використаних джерел складає 172 найменування. Оформлення дисертації відповідає усім необхідним вимогам.

*Дотримання вимог академічної доброчесності.* Проведена перевірка дисертації на наявність академічного плагіату, отримані результати свідчать про високу індивідуальність роботи. По всьому тексту дисертації простежується авторський стиль. У дисертації не виявлено текстових запозичень і використання наукових результатів інших науковців без посилань на відповідні джерела.

*Повнота викладу результатів в опублікованих працях.* За темою дисертації опубліковано 17 робіт, із них 4, які входять до наукометричної бази SCOPUS (2 з них – у виданнях, віднесених до другого квартилю Q2, відповідно до класифікації Scimago Journal & Contry Rank), 1 у міжнародному виданні, яке входить до наукометричних баз, 4 входять до спеціалізованих фахових видань та 8 тез доповідей на конференціях.

Ці наукові результати відповідають вимогам п.11 Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 06 березня 2019 року №167.

## **6. Практичне значення результатів дисертаційної роботи**

На основі проведених термодинамічного моделювання та досліджень розроблено електродний матеріал з високим рівнем фізико-механічних та експлуатаційних властивостей.

Практична цінність проведеного дослідження полягає у промисловій апробації розроблених електродів для відновлення та підвищення зносостійкості робочих органів обладнання, що працює в умовах змішаної абразивної дії, на Агропромисловій фірмі «Злак» (м. Івано-Франківськ) та ТОВ

Міжгалузовий науково-виробничий центр «Епсілон ЛТД» (м. Івано-Франківськ).

Результати дисертаційної роботи використовуються у навчальному процесі Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу при читанні курсів лекцій «Основи матеріалознавства».

## **7. Зауваження та дискусійні положення щодо змісту дисертації**

1. У вступі бажано було б більш концептуально сформулювати та подати наукову гіпотезу, покладену в основу дисертаційного дослідження.

2. Потребує пояснення, чому рівняння 3.9 було записано за умови постійного тиску, адже попередньо було зазначено, що функція  $\Delta u_j$  залежить від загальних зовнішніх характеристик системи, в тому числі і від  $\Delta P$ , тобто від зміни тиску.

3. У розділі 3 бажано було б вказати математичні програми, за допомогою яких проводились розрахунки рівнянь, наприклад, 3.8 3.13, або надати у додатках порядок перетворення та спрощення моделей.

4. На мою думку, слід навести більш обгрунтовані аргументи щодо формування структур гартування у зразку №87 (с. 135), не зрозуміло за яких умов охолодження вони утворились.

5. Для підтвердження формування тієї чи іншої фази у дослідних зразках доцільно було б подати дані рентгенівського аналізу.

6. В тексті зустрічаються невдалі формулювання, зокрема, підписи до рисунків 5.1, 5.2, а також кілька разів подано одні і ті ж фото, наприклад 4.4 а (с. 124) та 4.10 (с. 131).

7. Викладені розрахунки згідно з 4.1 –4.7 варто було б подати у додатках, а в роботі навести тільки кінцеві результати. Це дозволило б скоротити обсяг подання основних результатів наукових досліджень і привести обсяг дисертації до існуючих вимог.

Слід зазначити, що усі відмічені недоліки не знижують високого наукового рівня та практичної цінності результатів дисертаційного дослідження здобувача.

## Висновки

Представлена дисертація є завершеною науковою працею, у якій отримано нові науково-обґрунтовані результати. У дисертації розв'язано важливе наукове завдання з підвищення довговічності та зносостійкості робочих поверхонь деталей, що працюють в умовах абразивного зношування різного роду шляхом розроблення хімічного складу захисного покриття на основі системи Fe-Ti-B-C.

Одержані наукові та прикладні результати є вагомим внеском у розвиток методик отримання захисних покриттів робочих поверхонь деталей з метою підвищення їх експлуатаційної надійності та довговічності. Зміст роботи повністю відповідає спеціальності 132 Матеріалознавство.

Отже, дисертаційна робота за ступенем актуальності обраної теми, обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх новизни, повноти викладу в наукових публікаціях, відсутності порушень академічної доброчесності, відповідає пунктам 9-12 Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 06 березня 2019 року №167, а її автор, Іванов Олександр Олександрович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 132 Матеріалознавство.

Офіційний опонент:

Доцент кафедри інжинірингу  
машинобудівних технологій  
Тернопільського національного  
технічного університету імені Івана  
Пулюя, к.т.н., доц.



Сергій МАРИНЕНКО

Підпис Мариненка С.Ю. засвідчую.  
Вчений секретар Тернопільського  
національного технічного  
університету імені Івана Пулюя,  
к.т.н., доц.



Галина КРАМАР