В І Д Г У К

офіційного опонента на дисертаційну роботу

ГОЛОВЧУКА Мирослава Ярославовича

«Вплив діаметра високолегованих порошкових дротів на структуру і фізико-механічні характеристики електродугових покриттів»,

представленої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – матеріалознавство

Актуальність теми дисертації

Газотермічні методи широко застосовуються у промисловості для отримання корозійнотривких, зносостійких, відновних, декоративних та функціональних покриттів. Серед газотермічних методів процес електродугового напилювання покриттів найекономніший, оскільки у 3…8 разів дешевший від усіх інших методів напилювання, використання порошкових дротів (ПД) дає змогу отримувати покриття з високою твердістю, зносостійкістю та жаростійкістю. Проте стосовно діаметру ПД існують різні погляди,зокрема: покриття із ПД більшого діаметру з меншим ущільненням шихти забезпечуватимуть гірші фізико-механічні характеристики, ніж покриття із дроту діаметром 1,6…1,8 мм. Водночас існує думка, що до складу штихти ПД більшого діаметру можна залучити певну кількість шихтових матеріалів, а, значить, які дадуть змогу отримати високолеговані покриття із підвищеними фізико-механічними характеристиками. Разом з тим у науковій літературі практично відсутні дані, які б стверджували про роль діаметра ПД в процесі електродугового напилювання покриттів та його вплив на їх фізико-механічні характеристики. Це стримує розвиток методу напилювання електродугових покриттів, не дає змоги створювати нові ПД із підвищеним вмістом легувальних елементів для електродугової металізації.

Дисертаційна робота М. Я. Головчука спрямована на встановлення закономірностей формування зносостійких електродугових покриттів з ПД діаметром 2,2…2,4 мм, які дають змогу розробляти покриття з підвищеною зносостійкістю та корозійною стійкістю в нейтральних водних середовищах і є, поза сумнівом, актуальною і своєчасною, має теоретичне, наукове і практичне значення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Робота виконувалась у рамках науково-дослідних робіт відділів поверхневого зміцнення конструкційних матеріалів і фізико-хімічних методів зміцнення та захисту металів Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України за відомчим замовленням НАН України, в яких дисертант був виконавцем, а саме: "Розробка комплексного методу нанесення зносостійкого та корозійностійкого шару на штоки гідроциліндрів шахтного, гірничодобувного та комунального обладнання методами газотермічного напилення і наплавлення" (2013–2014 рр.), "Розроблення електрометалізаційного устаткування та новітніх витратних матеріалів для нанесення захисних і відновних покриттів на деталі відповідального

обладнання" (2016 р.), "Розроблення нових матеріалів та методів подовження ресурсу конструктивних елементів обладнання, що працюють в умовах корозійно-механічного руйнування" (2016-2020 рр.)

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій, сформульованих в дисертації, їх достовірність і новизна

Обґрунтованість і достовірність наукових положень та висновків дисертаційної роботи М. Я. Головчука підтверджується узгодженістю із загальновизнаними уявленнями про механізми та закономірності формування покриттів, коректністю використання сучасних методів визначення механічних властивостей отриманих покриттів, застосуванням сучасних методів реєстрації і обробки експериментальних даних, узгодженням окремих результатів з відомими з літератури та практичним застосуванням висновків і рекомендацій, сформульованих за результатами проведених під час виконання роботи досліджень.

У висновках, наведених у дисертації, повністю відображено всі аспекти проведеної роботи і відбито її значущість для науки та практики.

Результати дисертаційної роботи доповідалися дисертантом та обговорювалися провідними фахівцями на II-ій Міжнародній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених з хімії та хімічної технології (Київ, 2009); XI-ій Міжнародній конференції-виставці «Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів» (Львів, 2010); XXII- відкритій науково-технічній конференції молодих науковців і спеціалістів Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України "Проблеми корозійно механічного руйнування, інженерія поверхні, діагностичні системи" (Львів, 2011); XIII-ій Міжнародній конференції-виставці «Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів» (Львів, 2016); XI-ій Всеукр. науково-практичній конференції "Підвищення надійності машин і обладнання" (Кропивницький, 2017). Крім того робота у повному обсязі доповідалася і обговорювалася на наукових семінарах: "Проблеми матеріалознавства та інженерії поверхні металів" та "Корозія та захист металів від корозії" Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України.

Структура та зміст дисертації

Дисертація складається з анотації українською та англійською мовами, списку публікацій здобувача, переліку умовних позначень і скорочень, вступу, п'яти розділів, висновків, переліку використаних джерел та трьох додатків. Загальний обсяг роботи становить 182 сторінки, у тому числі 148 сторінок основного тексту, 84 рисунків, 30 таблиць, список використаних джерел із 192 найменувань на 21 сторінці та додатків на 13 сторінках.

У **вступі** обґрунтовано актуальність обраної теми, сформульовано мету і задачі роботи, визначено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, особистий внесок здобувача, а також наведено дані щодо апробації матеріалів дисертаційної роботи та публікацій за темою досліджень.

У **першому розділі** детально проаналізовано науково-технічну літературу щодо використання газотермічних методів напилювання для поверхневого зміцнення конструкційних матеріалів не лише за експлуатаційними характеристиками одержуваних покриттів, але й за їх екологічністю та вартістю. Показано, що порошкові дроти забезпечують високі фізико-механічні характеристики електродуговим покриттям та використовуються в багатьох галузях промисловості, зокрема в енергетиці, машинобудуванні, гірничодобувній галузях тощо. Як правило в практиці формування таких покриттів використовують порошкові дроти діаметром 1,6 мм. На основі проведеного аналізу дисертант сформулював мету своєї роботи.

У **другому розділі** описано методики, використані в роботі для атестації отриманих покриттів, зокрема: методика електродугового напилювання покриттів із порошкових дротів різного діаметра, методика визначення розмірів краплин та їх швидкості на дистанції напилювання покриттів, методики вивчення структури та фізико-механічних характеристик покриттів (електронна та оптична мікроскопія, рентгенофазовий і локальний спектральний аналізи), особливості методики визначення зносостійкості покриттів у корозійних середовищах

Третій розділ присвячений дослідженню процесу формування електродугових покриттів з модельних порошкових дротів різного діаметру. Показано, що в процесі напилювання покриттів із ПД більшого діаметра утворюються краплини більшого діаметра, які мають меншу швидкість на дистанції напилювання. Це приводить до збільшення товщини ламелей у структурі отриманих покриттів та їх поруватості. Крім того, оскільки напилювання покриттів як правило здійснюють у повітрі, то в їх структурі формується велика кількість оксидної фази (переважно різних оксидів заліза).

У **четвертому розділі** досліджено фізико-механічні характеристики та зносостійкість електродугових покриттів з ПД більшого діаметра. Встановлено, що збільшення діаметра порошкового дроту неоднозначно впливає на всі фізико-механічні характеристики покриттів. Так із збільшенням діаметра ПД типу ПД 50ХН2ГР5С зростає твердість покриттів, абразивна та газоабразивна зносостійкість. В той же час твердість покриттів та зносостійкість із ПД 250Х21ВФГС зменшується. Така закономірність пояснена інтенсивним вигорянням вуглецю на дистанції напилювання із краплин, що формувалися при розпиленні ПД 250Х21ВФГС та утворенням між ламелями у структурі отриманого покриття великої кількості оксидної фази.

У **п'ятому розділі** досліджено корозійні та трибокорозійні характеристики сформованих покриттів. Показано, що для зменшення мікрогетерогенності покриттів у шихту ПД необхідно додавати порошки феросплавів Fe-Mn, Fe-Si, які мають низьку температуру плавлення, здатні взаємодіяти із тугоплавкими компонентами шихти з утворенням низькотемпературних евтектик. Розроблені покриття мають високу

зносостійкість та корозійну стійкість в нейтральних водних середовищах. У сірководневих середовищах в процесі трибокорозійних випробовувань на поверхні покриттів формувалися сульфідні сполуки, які під час тертя виконували роль твердого мастила. За трибокорозійних випробувань покриттів з розроблених ПД в аміак-місному середовищі на їх поверхні формувалися тверді щільно зв'язані з поверхнею плівки, що гальмували корозію, але водночас сприяли підвищенню коефіцієнта тертя. За випробувань у вільноаерованому 3% NaCl продукти корозійного зносу покриттів найменше зв'язані з поверхнею, внаслідок чого їх трибокорозійна тривкість була найнижчою.

У **висновках,** що сформульовані в дисертаційній роботі, повністю відображено всі аспекти проведеної роботи і обгрунтовано її значущість для науки та практики.

Наукова новизна отриманих у роботі результатів, сформульованих положень та висновків

В роботі вперше показано, що із збільшенням діаметра використаних для електродугового напилювання ПД (від 1,6 до 2,4 мм) та дистанції напилювання покриттів, вміст міжламелярних оксидів в їх структурі істотно зростає (на 40…100 %). Це пояснено більшим об'ємом порожнин між порошковими інгредієнтами шихти у ПД більшого діаметру, які заповнені повітрям, що сприяє формуванню більшої кількості оксидів в покриттях.

Вперше виявлено, що чим більший діаметр ПД використовується під час формування покриттів, тим більша товщини ламелей, які формуються в їх структурі і вища їх мікротвердість. Як наслідок абразивна і газоабразивна зносостійкість електродугових покриттів із ПД більшого діаметра зростає у 1,5…2 рази.

Вперше встановлено, що адгезія покриттів до сталевої основи дещо зменшується із збільшенням товщини ламелей у покриттях з аустеніт-мартенситною (з ПД 250Х21ВФГС) та мартенсит-боридною (з ПД 50ХН2Р5ГС) структурами. Впливають на це залишкові напруження розтягу, які виникають у покриттях з такою структурою, та спричиняють зародження мікротріщин або їх розгалуженої мережі. Водночас адгезія покриттів до сталевої основи із мартенситною структурою (із ПД 50Х6Г2МС) була вищою. Це пояснено значно вищим вмістом вуглецю у товстіших ламелях, що є передумовою формуванням в них високовуглецевого мартенситу з мінімальним коефіцієнтом термічного розширення. Завдяки цьому рівень залишкових напружень розтягу у таких покриттях істотно знижувався.

Вперше виявлено, що чим вищий коефіцієнт мікрогерогенності та вміст хрому у ламелях, тим вища корозійна стійкість покриттів із ПД системи легування Fe-Cr-B-C-Mn-Si.

Практичне значення отриманих результатів

Розроблено композиційні склади шихти нових ПД на основі феросплавів базових систем легування Fe–Cr-C–B (ПД Х17Р3СЮ та ПД 75Х19Р3С2), для

відновлення та захисту деталей машин, експлуатованих за умов корозійно-механічного зношування.

Розроблено технологічну інструкцію процедури відновлення зношених елементів комунального обладнання з використанням методу електродугового напилювання ПД для отриманням на їх поверхні зносостійких та корозійностійких покриттів. Запропонований метод апробовано для відновлення центрифуг насосів комунального призначення та валів насосів фірми Lovala Shoe на ПП «Оліяр». Проведено дослідно-промислову перевірку, яка підтвердила високу зносостійкість та корозійну стійкість відновлених деталей та дала змогу продовжити їх ресурс.

Повнота викладу матеріалів дисертації в опублікованих працях

Основний зміст дисертаційної роботи Головчука Мирослава Ярославовича відображено у 17 наукових працях: 11 з них у фахових наукових виданнях із яких 4 реферуються у базі даних Scopus, 6 публікацій - у матеріалах конференцій. Опубліковані роботи повністю відображають зміст дисертації.

Автореферат за змістом відповідає дисертаційній роботі та відображає її основні положення і висновки.

Мова та стиль дисертації

Дисертація написана державною мовою, грамотно, з використанням усталених наукових і технічних термінів, легко сприймається. Результати дисертаційної роботи викладені в логічній послідовності, їх пояснення науково грамотно обгрунтовано, розділи взаємопов'язані та цілком розкривають поставлену мету. Тема і зміст дисертації відповідають паспорту спеціальності 05.02.01 – матеріалознавство.

Зауваження до автореферату і дисертаційної роботи:

1. Відомо, що у сірководневих середовищах одним з продуктів корозії сплавів на основі заліза є водень. При його дифузії у внутрішні шари металу та подальшій молізації у дефектах структури виникають локальні напруження, що призводять до розтріскування. Разом з тим в дисертаційній роботі не згадується про можливий негативний вплив наводнювання на трибокорозійну поведінку сформованих електродугових покриттів.
2. В розділі 5 дисертаційної роботи показано, що під час тертя у сірководень місткому середовищі на поверхні покриттів, отриманих з розроблених ПД, формувалися сульфідні сполуки, які виконували роль твердого мастила. Разом з тим не розкривається, які саме сполуки могли виконувати роль такого мастила?
3. Оскільки дослідження впливу діаметра порошкового дроту на фізико-механічні характеристики покриттів йде в парі зі зміною дистанції розпилювання, то виникає питання, вплив якого з цих двох чинників переважає.

4. Розроблені ПД діаметром 2,2 мм із хромовмісною шихтою з різною природою складників та вмістом хрому варто було захистити охоронними документами на винаходи.
5. З результатів розглянутих в роботі досліджень все таки не зрозуміло, чому автор зупинився на діаметрах ПД 2,2...2,4 мм. Відомо, що науково-виробнича фірма «Елна» і ЕЗ ім. Е.О. Патона НАНУ здійснює промисловий випуск ПД діаметром 3,2 мм, причому тієї ж системи легування Fe-Cr-B-C, яка розглядається в роботі. В підрозділі 1.2 роботи (стор. 24) автор посилається також на діаметр дротів 1,6...3,0 мм.
6. В матеріалах дисертації наявні, очевидно, деякі недоопрацювання, Зокрема: в підрозділі 1.6 «Формування мети та завдань роботи » (стор. 42) завдання роботи не висвітлено; не зрозумілі надписи до рис. 5.22 і 5.23, склад розчинників розшифровується по різному.

Висновок про відповідність дисертації вимогам ДАК

Дисертація М. Я. Головчука є завершеною науковою працею, в якій представлено нові, важливі в науковому і практичному плані результати, спрямовані на вирішення актуального науково-практичного завдання – встановлення впливу діаметра високолегованих ПД на структуру і фізико-механічні характеристики ЕДП для нанесення зносо-та корозійностійких захисних покриттів. За актуальністю та новизною отриманих результатів, їх достовірністю, обґрунтованістю та практичною значимістю робота М. Я. Головчука «Вплив діаметра високолегованих порошкових дротів на структуру і фізико-механічні характеристики електродугових покриттів» повністю відповідає вимогам Положення «Про порядок присудження наукових ступенів» ДАК України щодо кандидатських дисертацій, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.02.01 – матеріалознавство.

ОФІЦІЙНИЙ ОПОНЕНТ:
заслужений діяч науки і техніки
України, завідувач кафедри технології
матеріалів і машинобудування
Національного лісотехнічного
університету України МОН України,
доктор технічних наук, професор _____ **В. М. Голубець**

ЗАВІРЯЮ
Начальник відділу кадрів
Національного лісотехнічного
університету України
Підпис