

ВІДЗИВ

Вх. № 792
07 06 2008

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Вігілянської Наталії Вікторівни «Електродугове напилення
композиційних покриттів з псевдосплавною структурою на основі міді»,
представленої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.06 – «Зварювання та споріднені процеси і технології»

Актуальність теми дисертації

У багатьох випадках основною причиною передчасного виходу із ладу деталей машин, механізмів, інженерних металевих конструкцій є виникнення на їх поверхнях пошкоджень, зумовлених корозією, ерозією, кавітацією або механічним зношуванням робочих поверхонь. Для підвищення ресурсу деталей машин широко використовуються різноманітні методи їх поверхневого зміцнення як під час виготовлення нових виробів, так і під час ремонту і відновлення експлуатованих. Зміцнення поверхневого шару дає можливість раціональніше використовувати дороговартісні матеріали. При цьому саму деталь виготовляють із дешевших конструкційних матеріалів, а тонкий поверхневий шар наносять дорожчими матеріалами, які забезпечують елементам конструкцій високі функціональні властивості. До прогресивних та ефективних методів зміцнення і модифікації поверхонь відносять газотермічне напилювання для отримання корозійнотривких, зносостійких, відновних, декоративних та функціональних покриттів. Серед них умовно виділяють електродуговий, газополуменевий, плазмовий та детонаційний методи. Процес електродугового напилювання покриттів найекономніший серед газотермічних методів, оскільки у 3...8 разів дешевший за інші методи напилювання та забезпечує високу адгезію покриттів із сталеву підкладку. Псевдосплави, розпилені електродуговим методом мають високі фізико-механічні та трибологічні характеристики та не поступаються спеченим псевдосплавам. Однак недостатнє висвітлення впливу режимів напилювання на властивості напилених покриттів стримує їх широке використання у промисловості.

Дисертаційна робота Н. В. Вігілянської, яка присвячена розробленню нових псевдосплавів Al-Cu, Cu-Fe, Cu-Mo, Cu-Fe-FeB, Cu-NiCr, встановленню закономірностей впливу режимів їх нанесення електродуговим методом на фізико-механічні та трибологічні характеристики отриманих покриттів та прогнозуванню їх роботоздатності під впливом експлуатаційних чинників, зокрема за відсутності мастила на ділянках фрикційної взаємодії є, поза сумнівом, актуальною і своєчасною, має теоретичне, наукове і практичне значення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Актуальність роботи підтверджується її виконанням у рамках низки науководослідних робіт, зокрема: «Розробка газотермічних покриттів з псевдосплавів на основі міді для захисту плит кристалізаторів МБЛЗ», 73; 22/14-П, 2008 р. (№ держреєстрації 0108U004191); «Розробити технологію зміцнення і відновлення вузьких стінок слябових кристалізаторів МБЛЗ нанесенням

псевдосплавних покриттів електродуговим методом», 7.1.4(7.1) 2010–2012 рр. (№ держреєстрації 0110U006252), яка виконувалась в рамках програми "Ресурс".

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

Обґрунтованість і достовірність наукових положень та висновків дисертаційної роботи Н. В. Вігілянської підтверджуються використанням широкого спектру сучасних методів досліджень, використанням методу математичного планування експериментів, чітким формулюванням задач і комплексним підходом при їх розв'язанні, значним обсягом експериментальних результатів.

Результати роботи доповідалися і обговорювалися провідними фахівцями на V - VIII всеукраїнських науково-технічних конференціях молодих учених і спеціалістів «Зварювання та споріднені технології» (Україна, смт. Ворзель, 2009 2011, 2013, 2015 рр.) та на Міжнародній конференції «Зварювання та споріднені технології – сьогодні і майбутнє» (м. Київ, 2013).

Структура та зміст дисертації

Дисертація складається з анотації українською, та англійською мовами, списку публікацій здобувача, вступу, п'яти розділів, висновків, переліку використаних джерел та трьох додатків. Загальний обсяг роботи становить 163 сторінки, у тому числі 146 сторінок основного тексту, 69 рисунків, 44 таблиць, список використаних джерел із 114 найменувань на 12 сторінках та додатки на 9 сторінках.

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

У **першому розділі** проведено ґрунтовний аналіз методів отримання псевдосплавів. Показано, що псевдосплави використовуються в багатьох галузях промисловості, зокрема у вузлах та механізмах, де відбувається тертя за високих питомих навантажень в умовах обмеженого мащення або за його відсутності взагалі. Проаналізовано основні недоліки псевдосплавів, отриманих відомими методами. Відзначено, що псевдосплави можна наносити на поверхні методами газотермічного напилювання покриттів і їх фізико-механічні та трибологічні характеристики не поступаються характеристикам псевдосплавів, отриманих методом спікання та просочування. На основі проведеного аналізу було сформульовано наступну мету цієї роботи: дослідження особливостей процесу формування псевдосплавних покриттів, отриманих електродуговим напилюванням з використанням різнорідних дротяних матеріалів, розробка технологічних принципів електродугового напилювання псевдосплавних покриттів.

У **другому розділі** описані використані в роботі методики, зокрема методика електродугового напилювання псевдосплавів на основі міді. Покриття отримували шляхом розпилення різнорідних дротів за допомогою

електродугового апарату ЕМ-14М. Для встановлення характеру взаємозв'язку між режимами розпилення дротів, характеристиками продуктів розпилення і властивостями псевдосплавних покриттів використано метод математичного планування експерименту за допомогою матриці з напівреплікою 2^{4-1} . Для дослідження процесу формування псевдосплавних покриттів за умов електродугового напилювання було обрано дроти Cu-Fe, Cu-Al та Cu-Mo, які відрізнялися за характером міжфазної взаємодії компонентів. Для визначення структури та механічних характеристик псевдосплавних покриттів використано електронну та оптичну мікроскопію, рентгенофазовий і локальний спектральний аналізи, а для оцінювання їх зносостійкості - трибологічні випробування.

Третій розділ присвячений вивченню особливостей процесу формування часточок розплаву псевдосплавів із різнорідних дротів за різних режимів їх електродугового розпилювання. Показано, що дисперговані повітряним струменем часточки розплаву можуть взаємодіяти між собою безпосередньо в дузі (в процесі утворення розплаву), впродовж польоту до підкладки, розташованій на певній віддалі (дистанція напилювання), та під час взаємодії з підкладкою (при ударі крапель об напилювану поверхню). Встановлено, що розмір диспергованих часточок під час розпилювання псевдосплавів із різнорідних дротів Cu і Fe, або Cu і Al залежить головним чином від тепловкладення у дроти і газовий струмінь, а також від динамічного напору струменя, який змінюється в залежності від тиску повітряного струменя.

У **четвертому розділі** досліджено структуру та основні характеристики електродугових псевдосплавних покриттів Cu-Fe, Cu-Al, Cu-Mo. Показано, що псевдосплавним покриттям властива ламелярна гетерогенна структура. Мікроспектральним та фазовим аналізом встановлено, що до складу покриттів входили вихідні компоненти Cu, Fe, Al, Mo, оксид міді та продукти взаємодії (інтерметалідні фази) між собою розплавлених часточок із різнорідних дротів. Шляхом математичної обробки результатів досліджень отримано лінійні регресійні рівняння та визначено міру впливу режимів електродугового напилювання на характеристики псевдосплавних покриттів (їх пористість, вміст оксидної фази, мікротвердість). Встановлено, що отримані псевдосплавні покриття характеризуються стабільним значенням коефіцієнта тертя в парі із сталлю на рівні 0,25–0,28.

У **п'ятому розділі** на основі теоретичних і експериментальних досліджень запропоновано технологічні підходи до вибору матеріалів та режимів напилювання електродугових псевдосплавних покриттів різного функціонального призначення. Основним критерієм вибору їх складу було дотримання термодинамічної і термомеханічної сумісності компонентів, з яких формувалося псевдосплавне покриття. На основі розроблених технологічних підходів запропоновано псевдосплавні покриття на основі міді Cu-NiCr та Cu-порошковий дріт (ПД) (Fe-FeV).

Отримане псевдосплавне покриття Cu-ПД(Fe-FeV) характеризувалося високою зносостійкістю та високою теплопровідністю. Тому його рекомендовано для підвищення зносостійкості та інтенсивнішого відведення

тепла від стінок кристалізаторів машин безперервного лиття заготовок (МБЛЗ). Крім цього це покриття Cu-ПД(Fe-FeВ) знайшло застосування для підвищення ресурсу роботи фрикційних дисків коробки передач екскаваторної техніки. Собівартість напилювання псевдосплавного покриття Cu-ПД(Fe-FeВ) на фрикційний диск в 1,6–1,7 разів нижча собівартості виготовлення фрикційних накладок методом порошкової металургії.

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

Наукова новизна отриманих у роботі результатів, сформульованих положень та висновків

Авторка вперше встановила кількісну залежність міри дисперсності продуктів розпилювання різнорідних дротів Cu-Fe, Cu-Al від режимів електродугового напилювання та показала, що найменший розмір частинок у випадку використання систем дротів Cu-Fe або Cu-Al досягав 52 і 44 мкм відповідно. При цьому використовувалося поєднання максимального тепловкладення в дроти (2,2 і 2,7 МДж/кг) і витрат стисненого повітря 126 м³/год.

В роботі вперше виявлено міжфазну взаємодію під час зіткнення розплавлених часточок компонентів псевдосплавного покриття впродовж їх руху до підкладки з утворенням легованих часточок Cu-Fe, Cu-Al. Встановлено, що структура таких часточок визначається типом міжфазної взаємодії і відмінністю за поверхневим натягом розплавів компонентів і має вигляд «оболонка-ядро» (Cu-Fe) або конгломерат розплавів (Cu-Al).

Показано, що зміна полярності «катод-анод» на різнорідних дротах Cu-Fe під час електродугового напилювання псевдосплавного покриття за витрат повітря 108–126 м³/год істотно не впливає на розмір диспергованих часточок розплавів у зв'язку з реалізацією режиму струменевого розпилення дротів.

Дисертантка вперше встановила наявність інтенсивного випаровування міді в процесі електродугового напилювання псевдосплавних покриттів при збільшенні тепловкладення в дроти міді і заліза понад 1,5 МДж/к, яке призводить до втрат міді в покритті до 20 об. %.

Практичне значення отриманих результатів

В роботі розроблені і апробовані наступні технології:

- нанесення електродугових псевдосплавних покриттів на основі міді (Cu-NiCr, Cu-ПД(Fe-FeВ), а розроблені покриття рекомендовані для зміцнення мідних стінок кристалізаторів машин безперервного лиття заготовок (МБЛЗ), які експлуатуються в умовах зношування за підвищеної температури.
- електродугового напилювання псевдосплавного покриття Cu-ПД(Fe-FeВ) для підвищення стійкості фрикційних дисків автоматичної коробки передач екскаватора фірми «Liebherr» (для фірми «Гідроконтінент», м.Київ) та показана економічна ефективність його застосування порівняно з виготовленням фрикційних накладок завдяки зниженню витрат на електроенергію (у 17 разів) і трудовитрат (у 4 7 рази).

Випробування дисків з покриттями в виробничих умовах довело їх високу роботоздатність.

Повнота викладу матеріалів дисертації в опублікованих працях

Основний зміст дисертаційної роботи Вігілянської Наталії Вікторівни відображено у 14 наукових працях, із яких 6 статей опубліковані у наукових фахових виданнях, одна з яких у англомовному українському журналі, 5 публікацій - у матеріалах конференцій, 3 патенти України на корисну модель.

Опубліковані роботи повністю відображають зміст дисертації.

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

Мова та стиль дисертації

Дисертаційна робота написана державною мовою, грамотно. Виклад експериментального матеріалу чіткий і логічний. Використана у роботі наукова термінологія загально визнана. Стиль викладення результатів, обґрунтування нових наукових положень і висновків забезпечує доступність їх сприйняття та використання. Експериментальні дані проілюстровані графіками, фотографіями, діаграмами, таблицями, що сприяє розумінню викладених результатів.

Тема та зміст дисертації відповідають паспорту спеціальності 05.03.06 – «Зварювання та споріднені процеси і технології».

Зауваження до автореферату і дисертаційної роботи

1. У табл. 5.7. наведені трибологічні характеристики пари тертя покриття системи Cu-Fe зі сталлю. Скоріш за все авторка мала на увазі трибологічні характеристики пари тертя Cu-ПД(Fe-FeV).
2. Для псевдосплавного покриття Cu-ПД(Fe-FeV) авторка використовує оптимальний режим напилювання, обґрунтований на псевдосплавному покритті Cu-Fe ($W_{др} - 180$ м/год; $U - 22$ В; $V_{г} - 126$ м³/год; $H - 200$ мм). Разом з тим невідомо, чи буде він оптимальним для покриття Cu-ПД(Fe-FeV).
3. На стор. 137 наведено навантаження на зразку - «лінійне навантаження 12 кг». Повинно було б навести не лінійне навантаження, а його питоме значення.
4. Для псевдосплавних покриттів авторка наводить мікротвердість мікроструктурних складових і усереднене значення мікротвердості та її загальну величину. Однак особливості методики визначення середньої та загальної мікротвердості в роботі не наведено.
5. За результатами проведених випробувань зносостійкість електродугових псевдосплавних покриттів Cu-Fe у 2,5–3,5 рази перевищує зносостійкість спеченого порошкового матеріалу «залізо-мідь» (за вмісту міді 50 об. %). Проте в роботі не наведено навіть гіпотетичних пояснень такого ефекту.
6. На рис. 4.2. наведено мікроструктуру псевдосплавних покриттів. Однак невеликі розміри цих фотографій не дає можливості повною мірою оцінити їх особливості і відмінності за структурою.

7. На рис. 4.21. показано поверхню із слідами тертя в парі псевдосплавне покриття (Cu-Fe) – сталь. Однак використано недостатню роздільну здатність, що не дає змоги зрозуміти особливості механізму зношування цієї пари тертя.

В роботі використано невдалі терміни:

сухого тертя ковзання (стор. 122), «придушенням процесів схоплювання» (стор. 124), окисленість (стор. 128), підвищення стійкості (до чого) стінок кристалізаторів (стор. 129), мікротвердість зміцнюючої фази Fe(FeB) (стор. 136), чистої міді (технічно чистої чи хімічно чистої) (стор. 137, 138, 139).

Подекуди в тексті дисертації зустрічаються граматичні помилки.

Висновок про відповідність дисертації вимогам ДАК

Дисертація Н. В. Вігілянської є завершеною науковою роботою, в якій представлено нові, важливі в науковому і практичному плані результати, спрямовані на вирішення актуальної науково-практичної задачі – підвищення зносостійкості і довговічності елементів із конструкційних матеріалів. Робота характеризується цільністю, написана грамотно з використанням сучасної наукової термінології.

Перелічені вище зауваження не знижують загальної позитивної оцінки та значення дисертаційної роботи і рівня достовірності основних отриманих результатів.

За актуальністю та новизною отриманих результатів, їх достовірністю, обґрунтованістю та практичною значимістю робота Вігілянської Наталії Вікторівни «Електродугове напилення композиційних покриттів з псевдосплавною структурою на основі міді» повністю відповідає вимогам Положення «Про порядок присудження наукових ступенів» ДАК України щодо кандидатських дисертацій, а її авторка заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.03.06 – «Зварювання та споріднені процеси і технології».

Провідний науковий співробітник відділу
матеріалознавчих основ інженерії поверхні
Фізико-механічного інституту
ім. Г.В. Карпенка НАН України,
д.т.н., старший науковий співробітник

М. М. Студент

М. М. Студент

