

15 10 1548  
19

## ВІДГУК

офіційного опонента д-ра техн. наук **В.В.Перемітька**  
на дисертаційну роботу **ЛЕНТЮГОВА Івана Павловича**  
**«Порошкові дроти для наплавлення з шихтою з лігатури,  
отриманої електрошлаковим переплавом відходів  
абразивної обробки швидкорізальних сталей»,**

представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук  
за спеціальністю 05.03.06 – «Зварювання та споріднені процеси і технології

### 1. Актуальність теми дисертаційної роботи

Широко відомо, яке значення надається екології та проблемам забруднення навколишнього середовища в сучасному світі. Значний внесок у забруднення навколишнього середовища вносить промисловість. В промислово розвинених країнах, в тому числі в Україні, щорічно утворюється значна кількість різних відходів промислового виробництва і їх переробка є досить актуальною. При цьому перевагами користуються ті технології, які дозволяють не лише переробляти такі відходи, а й повторно використовувати в народному господарстві отриманий продукт або напівпродукт.

Для зварювання та наплавлення особливий інтерес представляють металовмісні відходи, які утворюються при обробці високолегованих марок сталі. Створення технологій переробки металовмісних відходів і подальшого використання отриманих напівпродуктів (у вигляді лігатур) у матеріалах для наплавлення відкривають великі можливості для економії таких дорогих і дефіцитних металів як W, Mo, V тощо, а також дозволяють поліпшити екологію. Це робить тему дисертації актуальною.

Актуальність теми підтверджується виконаним комплексом науково-дослідних робіт в ІЕЗ ім. С.О. Патона за темами відомчого замовлення НАН України: «Дослідити закономірності руйнування багат шарового наплавленого металу при одночасній дії циклічних термічних і механічних навантажень та вдосконалити технології наплавлення деталей із забезпеченням їх високих експлуатаційних властивостей» (№ Держреєстрації 0112U001514, 2012-2014 рр.); «Дослідити вплив структурної й хімічної неоднорідності на

властивості високолегованого наплавленого металу й зони його з'єднання з вуглецевою сталлю та розробити на цій основі ресурсо- та енергозберігаючі технології наплавлення» (№ Держреєстрації 0115U003135, 2015-2017рр), програми «Ресурс»: «Розробка технологій кількарязового багат шарового наплавлення деталей, які працюють в умовах циклічного термомеханічного навантаження, з метою подовження їх гранично допустимого загального ресурсу» (№ Держреєстрації 0113U003449, 2013-2015 рр.) і цільової наукової програми ВФТПМ НАНУ: «Дослідити фізико-металургійні закономірності формування структури та властивостей наплавленого металу при використанні в матеріалах для наплавлення лігатур та порошків на основі евтектичних карбідних композицій» (№ Держреєстрації 0107U002789, 2007-2011 рр).

## **2. Наукова новизна одержаних результатів**

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

- запропоновано фізичну модель руху металевих частинок відходів в системі повітря-шлакова ванна-металева ванна і вперше встановлено, що для забезпечення плавлення частинок під шаром розплавленого шлаку, дозатор повинен забезпечити їм початкову швидкість  $\geq 3,5$  м/с; при вільному падінні частинок з дозатора їх максимальна усталена швидкість, внаслідок опору повітря, не перевищує 0,43 м/с, в цьому випадку вирішальну роль у процесах нагріванні та плавленні частинок грає межа розділу фаз повітря-шлакова ванна, на якій за рахунок сил поверхневого натягу відбувається їх закріплення.

- з використанням розробленої розрахункової моделі встановлено, що при масовій швидкості подачі відходів  $< 60$  кг/год поверхня теплообміну електрод (пресований з частинок) - шлак, більше поверхні теплообміну окремих частинок - шлак і у цьому випадку кращим буде спосіб подачі відходів у вигляді пресованого електроду. При масовій швидкості подачі відходів  $\geq 60$  кг/год значно збільшується поверхня теплообміну та теплообмін між шлаковою ванною і частинками відходів і кращим стає

спосіб подачі відходів у вигляді окремих частинок. Для забезпечення сталого плавлення такої кількості відходів необхідно, щоб питома потужність процесу була  $\geq 150 \text{ Вт/см}^2$  при питомій швидкості подачі відходів 1,3...1,6 кг/год на 1 кВт потужності. При цьому на розплавлення відходів витрачається близько 30 % від загальних витрат тепла, що забезпечує досить високий ККД процесу переплаву.

- вперше встановлено, що для кожного діаметру порошкового дроту існує таке оптимальне співвідношення величини швидкості подачі дроту і інших параметрів наплавлення, при якому її підвищення в 2,3...2,5 рази в порівнянні з загальноприйнятою (170...190 м/год) призводить до зниження частки основного металу в наплавленому в 1,3...1,5 рази. При цьому значення густини струму  $J$ , при якій спостерігається зниження глибини проплавлення, для досліджених діаметрів 1,8 и 2,0 мм порошкового дроту ПП-Нп-120В3ХМФ знаходяться у діапазоні:  $J = 142-143 \text{ А/мм}^2$ . У цьому випадку встановлюється сприятливий тепловий баланс процесу наплавлення, при якому зростання площі наплавленого металу вище, ніж збільшення площі проплавлення.

### **3. Практична цінність роботи**

За результатами досліджень, виконаних дисертантом:

– розроблено технологію підготовки металовмісних відходів абразивної обробки швидкорізальних сталей та їх ЕШП в лігатуру для наступного її використання у якості шихти порошкових дротів для наплавлення. Основними складовими технології є прожарювання металовмісних відходів, їх магнітна сепарація, електрошлаковий переплав у лігатуру необхідного хімічного складу;

– запропоновано порошковий дріт для дугового наплавлення, основним компонентом шихти якого є лігатура, отримана ЕШП відходів абразивної обробки швидкорізальних сталей. За системою легування метал, наплавлений дротом цього типу, можна віднести до групи Fe4 за ДСТУ EN 14700:2008 або

до хромовольфрамкових, хромомолібденових напівтеплостійких сталей, які використовуються для наплавлення валків, роликів, штампів, проводок тощо.

– підготовлено технологічні інструкції на переробку відходів абразивної обробки швидкорізальних сталей у лігатуру Лг-В8М3Х3Ф та на виготовлення порошкового дроту ПП-Нп-120В3ХМФ із шихтою з цієї лігатури.

Економічний ефект від впровадження результатів досліджень становить 200 тис. гривень.

#### **4. Обґрунтованість наукових положень у дисертації та їх достовірність**

Ступінь обґрунтованості наукових положень, сформульованих у дисертаційній роботі висновків та практичних рекомендацій є високим, чітко поставлено мету і задачі досліджень. Достовірність одержаних результатів не викликає сумніву. Вірогідність наукових положень і практичних рекомендацій, викладених у дисертації, підтверджена сучасними методиками, які автор використовував у своїх дослідженнях, а також гарною збіжністю результатів розрахунків з експериментальними даними.

Основні наукові положення та результати досліджень доповідалися на численних конференціях і семінарах, що свідчить про достатню ступінь апробації роботи.

Основний зміст дисертації та найважливіші висновки викладені у статтях, опублікованих у фахових журналах, що входять до переліку рекомендованих МОН України видань для публікації праць здобувачів наукового ступеня.

#### **5. Структура та зміст дисертації**

Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг роботи –

176 сторінок, включаючи 69 рисунків, 54 таблиці, список використаних джерел із 178 найменувань на 13 сторінках, та 4 додатки.

Дисертація та автореферат містять усі необхідні структурні розділи, написані українською мовою й оформлені відповідно до вимог ДАК України.

У вступі обґрунтовано актуальність теми роботи; подано мету та основні напрямки досліджень, а також наукову новизну і практичну цінність отриманих результатів. Наведено відомості про апробацію основних наукових положень та наукові публікації.

У **першому розділі** проведено аналіз металовмісних відходів, що утворюються в різних галузях промислового виробництва. Показано, що однією з основних цілей переробці металовмісних відходів в різні типи металургійної сировини є повернення в сферу виробництва дефіцитних легуючих елементів і поліпшення екології в промислових регіонах. Найбільшу практичну цінність для переробці, с точки зору їх подальшого використання в шихті порошкових дротів для наплавлення, представляють відходи абразивної обробці середньо - і високолегованих швидкорізальних сталей: P6M5, P9 і P18, у складі яких містяться W, Mo, V, Cr та ін.

У **другому розділі** описані матеріали і обладнання, які застосовувалися при виконанні роботи; наведені методи досліджень властивостей металовмісних відходів шліфування і заточування швидкорізальних сталей; методики досліджень зварювально-технологічних властивостей дослідних порошкових дротів; досліджень хімічного складу, структури наплавленого металу і його властивостей.

**Третій розділ** присвячений дослідженням основних закономірностей підготовки та ЕШП металовмісних відходів абразивної обробки швидкорізальних сталей. Встановлено, що відходи шліфування і заточування швидкорізальних інструментальних сталей мають близький хімічний склад, а їх металева складова являє собою мікростружку різної форми і розмірів. У

сукупності це дозволяє розглядати ці відходи як однотипну шихту, що спрощує їх подальший переділ.

Визначено основні фізико-механічні властивості відходів абразивної обробки швидкорізальних інструментальних сталей: температурний режим прожарювання; насипна щільність; температура плавлення. Встановлено, що властивості відходів дозволяють їх переробляти за допомогою ЕШП і отримувати лігатури для виробництва порошкових дротів для наплавлення.

З використанням запропонованої фізичної моделі процесу руху частинок металовмісних відходів в системі повітря - шлакова ванна розраховані швидкості руху цих частинок. Досліджено теплообмін між металовмісними відходами та шлаковою ванною для двох способів подачі відходів, що переплавляються: у вигляді пресованого з відходів електрода або у вигляді окремих частинок. Встановлено, що зі збільшенням швидкості подачі відходів, в значній мірі збільшується поверхня теплообміну, а також сам теплообмін між шлаковою ванною і частинками відходів, що переплавляються. В результаті при швидкості подачі відходів, що переплавляються,  $\geq 60$  кг/год кращим стає спосіб переплавлення відходів у вигляді окремих частинок, який забезпечує збільшення швидкості їх плавлення і скорочення витрат електроенергії.

У **четвертому розділі** наведені результати експериментів по розробці технології отримання лігатур електрошлаковим переплавом металовмісних відходів абразивної обробки швидкорізальних сталей, дослідженню властивостей металу, наплавленого дослідними порошковими дротами з шихтою з лігатури.

В результаті досліджень встановлено, що для підтримки стійкого ЕШП металовмісних відходів необхідно, щоб питома потужність була не менше  $150 \text{ Вт/см}^2$ , а швидкість подання відходів повинна становити 2-2,5 кг/хв.

Хімічний аналіз лігатури показує, що вона має досить однорідний хімічний склад і містить в достатній кількості ряд дорогих легуючих

елементів (Cr, W, Mo, V), що робить перспективним її використання в шихті порошкового дроту для наплавлення.

Досліджена зносостійкість при кімнатній і підвищеній температурах, а також термічна стійкість металу, наплавленого дослідними порошковими дротами, з шихтою, що складається з лігатури (ПП-Нп-120В3ХМФ) або відповідних феросплавів (ПП-Нп-120В3ХМФ(фс)). Встановлено, що метал, наплавлений порошковим дротом з лігатурою, за цими властивостями, в середньому, на 7...15 % перевершує аналогічний за хімічним складом метал, наплавлений порошковим дротом з шихтою з феросплавів.

У **п'ятому розділі** наведені результати санітарно-гігієнічної оцінки розробленого порошкового дроту ПП-Нп-120В3ХМФ. Встановлено, що виділення шкідливих речовин при використанні для наплавлення порошкового дроту ПП-Нп-120В3ХМФ з шихтою з лігатури по більшості компонентів нижче, ніж при використанні порошкового дроту ПП-Нп-120В3ХМФ(фс) із шихтою з феросплавів.

В результаті експериментальних досліджень зварювально-технологічних особливостей застосування порошкового дроту ПП-Нп-120В3ХМФ встановлено, що для запобігання появи тріщин температура попереднього підігріву деталей, що наплавляються, повинна складати 450 °С.

Для зниження глибини проплавлення основного металу і його частки в наплавленому металі запропоновано використовувати підвищені швидкості подання електродного дроту.

Проведено дослідно-промислову перевірку розробленого порошкового дроту ПП-Нп-120В3ХМФ при наплавленні штампів гарячого штампування для ВАТ «ТКШЗ». Економічний ефект від безпосереднього застосування розробленого порошкового дроту ПП-Нп-120В3ХМФ на підприємстві ВАТ «ТКШЗ» складе близько 200 тис. грн. Певний ефект забезпечить також повернення в промислове виробництво металовмісних відходів абразивної обробки інструментальних швидкорізальних сталей.

**Висновки дисертації** повністю відображають найважливіші наукові та практичні результати дисертації. Вони сформульовані конкретно та логічно, відповідно до змісту дисертації.

**Зміст дисертації та автореферату ідентичний.** Автореферат дисертації достатньо повно висвітлює результати, наведені в самій дисертації.

#### **6. Апробація положень та результатів дисертації та повнота їх викладення в опублікованих роботах**

Основні результати дисертації опубліковані в 15 наукових працях, які включають 8 статей у наукових фахових виданнях, з яких 1 в іноземному виданні; 6 тез та матеріалів наукових і науково-практичних конференцій. Наукові публікації охоплюють всі розділи дисертаційної роботи. Отримано один патент України на корисну модель.

Обсяг друкованих робіт та їх кількість відповідають вимогам МОН України щодо публікації основного змісту дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

#### **7. Зауваження по дисертаційній роботі**

1. У пункті 2 наукової новизни не зазначено параметри зони вводу відходів у шлакову ванну, що є важливим з огляду на визначення зосередженості подачі.

2. У першому розділі, який присвячено аналізу існуючих технологій переробки металовмісних відходів інструментального виробництва, є підрозділ «1.2.3 Технології переробки зольних відходів». Цей підрозділ, на наш погляд, є зайвим, виходячи із загальної назви розділу.

3. Другий розділ «Матеріали, устаткування та методики експериментальних досліджень» перевантажений загальними характеристиками використаного стандартного наплавного обладнання. Їх можна було б опустити.



4. Санітарно-гігієнічну оцінку розробленого порошкового дроту автор провів стосовно наплавлення під флюсом. Разом з тим, дослідно-промислово перевірка дроту проведена при наплавленні штампів у захисних газах. Доцільно було провести санітарно-гігієнічну оцінку дроту при цьому способі наплавлення, тим більше, що при наплавленні в захисних газах шкідливих виділень може бути більше.

5. У розвиток попереднього зауваження. У тексті дисертації немає пояснення причин більш низького рівня шкідливих виділень при наплавленні дослідним порошковим дротом з шихтою з лігатури в порівнянні з порошковим дротом з шихтою з феросплавів.

6. У своїх дослідженнях дисертант встановив, що для кожного діаметра дроту існує таке оптимальне співвідношення величини швидкості подачі і інших параметрів наплавлення, при якому її підвищення призводить до зниження глибини проплавлення при зростаючому струмі наплавлення. Такі висновки були зроблені за результатами наплавлення одиночних валиків. Бажано провести такі ж дослідження при наплавленні декількох валиків з різним їх перекриттям, що важливо при наплавленні.

7. Автор практично не розглянув можливість використання лігатури в шихті порошкових дротів іншого призначення.

8. У роботі зустрічаються окремі граматичні помилки за текстом (наприклад, стор.17, 18, 28, 57, 59, 73, 74, 75), неточності використання понять („наситна щільність” замість „наситна маса” або „наситна густина”, „перетин стрічки” замість „переріз стрічки”, стор.116) або їх неоднозначність („наплавочні матеріали” на стор.121, „наплавлювальні роботи” на стор.146).

#### **Загальний висновок**

Відмічені недоліки та зауваження, зроблені до окремих положень дисертації, не стосуються кваліфікаційних ознак роботи і не знижують її загального наукового рівня.

В цілому дисертаційна робота Лентюгова Івана Павловича «Порошкові дроти для наплавлення з шихтою з лігатури, отриманої електрошлаковим переплавом відходів абразивної обробки швидкорізальних сталей», є завершеним науковим дослідженням в області технології та матеріалів для зносостійкого електродугового наплавлення, яке за обсягом виконаних досліджень, їх новизною, науковою та практичною значимістю одержаних результатів та їх рівнем повністю відповідає вимогам до робіт на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, зокрема, пунктам 9, 11 та 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року № 567.

Автор дисертаційної роботи – Лентюгов Іван Павлович – заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.06 – Зварювання та споріднені процеси і технології.

Офіційний опонент,  
декан металургійного факультету  
Дніпровського державного технічного  
університету (ДДТУ), професор кафедри  
технології та устаткування зварювання,  
д-р техн.наук, доцент



В.В.Перемітько

Підпис Перемітька Валерія Вікторовича засвідчую:

Учений секретар ДДТУ  
канд. соціолог. наук, доцент



Л.М.Сорокіна