

№27/01.11, 13.03.2025р.

ВІДГУК

офіційного опонента д-ра техн. наук **В.В. Перемітька**
на дисертаційну роботу **НОВИКОВА Сергія Володимировича**
«Дугове наплавлення з низькочастотними
механічними коливаннями пласкої деталі»,
що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.03.06 – «Зварювання та споріднені процеси і технології»

Дисертація складається із анотації, вступу, п'яти розділів, висновків, переліку використаних літературних джерел із 123 найменувань, семи додатків, 54 рисунків, 18 таблиць. Загальний обсяг дисертації становить 250 сторінок, з них основний текст складає 187 сторінок.

Актуальність обраної теми дисертації

Намагання збільшити ресурс та службові показники великої гами металевих виробів – інструменту, деталей та конструкцій – зумовлює широке застосування дугових зварювальних процесів. Аналіз використання поверхневого відновлення та зміцнення при виготовленні та реновації виявляє в якості основних напрямків вдосконалення існуючих технологій використання широкої гами способів впливу на склад, структуру та властивості сплавів, що наносяться.

Доведено, що службові властивості наплавленого металу залежать не лише від його хімічного складу, але й характеристик мікроструктури. Будова наплавленого металу визначається режимами дугового процесу та суттєво може піддаватися зміні під впливом зовнішніх впливів, зокрема механічних коливань зварювальної ванни відносно дуги. Таким чином, встановлення взаємозв'язку між технологічними параметрами формування зварювальної ванни та характеристиками наплавленого металу залишається актуальним.

Актуальність теми підтверджується також її виконанням в рамках плану науково-дослідних робіт за темою державної програми у Державному підприємстві “Дослідне конструкторсько-технологічне бюро Інституту електрозварювання ім. Є.О Патона НАН України” та восьмої рамочної програми Європейського Союзу по розвитку наукових досліджень і технологій «*Horizon 2020*», в яких автор дисертації був співвиконавцем.

Ступінь обґрунтованості й достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Для обґрунтування встановлених закономірностей автором виконані численні теоретичні та експериментальні дослідження (оптичної та растрової мікроскопії для визначення загального виду мікроструктури та типу її структурних складових валиків; статистичного аналізу осцилограм – встановлення дійсного значення струму наплавлення і напруги на дузі; кількісної оцінки тепловмісту дуги – визначення кількості електричної енергії, витраченої на горіння дуги певної тривалості; “латинського квадрату” – визначення кількості наплавлень в серії експериментів; найменших квадратів регресійного аналізу – визначення параметрів регресії; визначення середніх значень відгуку – встановлення оцінки ступеню впливу технологічних факторів). Наукові положення, висновки і рекомендації, які сформульовані в дисертаційній роботі С. Новикова, достатньо обґрунтовані, виконані із застосуванням сучасного експериментального обладнання, розроблених методик та методів досліджень. Отримані автором закономірності не мають протиріч з існуючими теоретичними уявленнями та накопиченим досвідом інших дослідників, добре узгоджуються з існуючими концепціями.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується результатами теоретичних досліджень та їх зіставленням з отриманими експериментальним шляхом, зокрема за допомогою методів оптичної та растрової мікроскопії (для визначення структури та морфології зразків матеріалів). Механічне визначення твердості та мікротвердості проводили на атестованому обладнанні із застосуванням стандартизованих методик. Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в роботі, підтверджується порівняльним аналізом результатів розрахункових та експериментальних досліджень з відомостями з літературних джерел.

Наукова новизна одержаних результатів

У якості нових наукових результатів можна визначити наступне:

- доведена можливість модифікування низьколегованого наплавленого металу адитивною дією механічних низькочастотних коливань, що здійснюються у вертикальній та горизонтальній площинах та практично реалізується періодичним рухом зварювального виробу за траєкторією дуги кола з частотою діапазоном від 2,5 Гц до 4,5 Гц та з амплітудою від 3,0 мм до 7,0 мм;
- експериментально визначено факт модифікування поверхневого шару деталі, що наплавляється дуговим наплавленням під дією механічних коливань за частоти 2,5 Гц та амплітуди 7,0 мм, яке забезпечує максимальне збільшення твердості наплавленого металу відносно наплавлення без коливального впливу, що обумовлено як диспергуванням мікроструктури, так і формуванням в ній зерен із структурними складовими з високою твердістю: голчастого та пластинчатого фериту, сорбітоподібного перліту та бейніту;
- встановлена можливість збільшення ширини наплавлених валиків від 1,3 рази до 1,8 рази, зменшення їх висоти – від 1,2 рази до 6,4 рази та глибини проплавлення основного металу у 2,0 рази у порівнянні з наплавленням без коливань, що обумовлено розосередженням розплаву зварювальної ванни на значну площу основного металу.

Практичне значення одержаних результатів та впровадження результатів

За результатами виконаних дисертантом досліджень:

- створено установку для наплавлення плоских деталей з функцією їх коливань за напрямком дуги кола, що обумовлює підвищену твердість наплавленого металу та формування валиків з ефективними геометричними розмірами;
- на основі отриманих статистичних та аналітичних залежностей, достовірність яких перевірено при відновлювальному наплавленні робочих поверхонь опорних плит гідравлічного пресу, що використовуються у поліграфічному виробництві, розроблено технологічні рекомендації щодо

наплавлення на плоскі поверхні деталей з вуглецевих сталей економно легованим дротом.

Розроблений спосіб наплавлення було реалізовано на підприємстві із складанням відповідного акту про впровадження.

Повнота викладу наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях.

Основні наукові положення, висновки і рекомендації дисертації знайшли достатнє відображення в 26 наукових працях, з яких 2 внесені до реєстру міжнародної наукометричної бази даних Scopus та Web of Science, 7 статей у фахових виданнях України, 3 є патентами України на корисну модель, та 14 – тезами та матеріалами доповідей на міжнародних і всеукраїнських конференціях.

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

Зміст автореферату є ідентичним до змісту дисертації і достатньо повно відображає основні положення дослідження.

Аналіз змісту дисертації.

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, її зв'язок з науковими програмами та планами, розглянуто стан наукової задачі, сформульовано мету і задачі дослідження, викладено наукову новизну, практичне значення результатів роботи, особистий внесок здобувача в друкованих працях, відомості про апробацію отриманих результатів і публікації.

У першому розділі дисертант аналізує існуючі джерела, які відображають сучасний стан досліджень вивчення фізичних аспектів, що обумовлюють природу періодичного впливу на розплав зварювальної ванни та формування мікроструктури та відповідних змін службових властивостей наплавленого металу. Визначено, що єдиної теорії щодо опису фізичних явищ у зварювальній ванні під час кристалізації не створено. Більшість досліджень спирається на

гіпотези та фізичні чи статистичні моделі, побудованих для окремих умов реалізації експериментів. Визначено амплітудно-частотний діапазон періодичного впливу щодо подальших досліджень.

Другий розділ присвячено обґрунтуванню запропонованої комплексної методики досліджень. Зокрема, наведено вибір основних вузлів установки для наплавлення. Наведено опис оригінальної установки для реалізації способу наплавлення в середовищі CO_2 з низькочастотними коливаннями зварювальної ванни. Інновацією є функція генерації поперечних коливань зварювальної ванни за траєкторією вздовж дотичної до дуги кола. Наведено розрахунки щодо вибору елементів генерації коливань: крокового двигуна, його драйверу, блоку керування; відомості про зварювальні матеріали, які використовувалися в процесі виконання дисертаційної роботи.

Третій розділ присвячено аналітичним розрахункам та визначенню взаємозв'язку швидкості наплавлення, струму наплавлення, періоду горіння дуги з параметрами коливань. Проаналізовано вплив коливань на стабільність горіння дуги, ступінь розбризкування електродного дроту та енергетичні параметри дуги.

Зокрема, на основі критерію суцільності виведена аналітична залежність швидкості наплавлення від параметрів коливань деталі, що наплавляється. Показано, що окрім величин амплітуди і частоти коливань, швидкість наплавлення залежить від співвідношення l/L – ширини наплавленого валика l , що отриманий без впливу коливань, до розмаху коливань L , при яких здійснюється наплавлення при тому самому значенні струму наплавлення; певного числа n , яке визначає саме ступінь суцільності валика.

Аналіз на основі осцилограм дозволив встановити вплив коливань деталі на період горіння дуги. Показано, що у порівнянні з величиною періоду горіння дуги без впливу коливань його значення майже не змінюється за частоти у 3,0 Гц, але за частоти у 4,5 Гц збільшується в залежності від величини амплітуди.

На основі аналізу осцилограм було отримано аналітичну залежність величини періоду горіння дуги від параметрів коливань та швидкісних характеристик плавлення та подавання електродного дроту.

Визначено, що пріоритетність у збільшенні долі розбризкування відіграє саме фактор коливань дуги, а не перегрів краплі розплавленого електродного металу дугою. Зроблено припущення, що примусові коливання деталі та зварювальної ванни є джерелом тангенціальної складової сили інерції, що діє на рідку металеву перемичку між поверхнею розплаву зварювальної ванни та твердою фазою електродного дроту. Дана величина обумовлює зниження стабільності процесу наплавлення та збільшує ступінь розбризкування.

На основі аналітичного вирішення рівняння Гауса щодо напруженості електричного поля вздовж дуги доведено, що зміна струму після короткого замкнення від свого максимального значення до номінального не залежить від зміни довжини дуги при малому її значенні.

У **четвертому розділі** наведено результати дослідження твердості наплавленого металу та металу ЗТВ, геометричних розмірів валику, отриманого в умовах коливань досліджуваного типу. Аналіз значень твердості та висоти валику проводились на основі регресійних моделей, побудованих за планом експериментів за методом "латинський квадрат". Дослідження ширини наплавленого валику реалізовувалось на основі аналітичної моделі, що отримана як розв'язок системи рівнянь примусових коливань гармонійного осцилятора та динаміки обертального руху коливальної системи. На основі аналізу моделей визначено режим наплавлення щодо отримання валика з оптимальними значеннями твердості та геометричних розмірів.

У **п'ятому розділі** представлені результати аналізу мікроструктури металу наплавлених валиків. Визначено основні структурні складові мікроструктури наплавленого металу та металу ЗТВ та встановлено основні відмінності у мікроструктурі цих валиків у порівнянні з валиками, що отримані без впливу коливань. Наведено також аналіз розміру кристаліту в залежності від параметрів коливань та параметрів режиму наплавлення на основі регресійної моделі. Встановлено взаємозв'язок між величиною твердості наплавленого металу та розміру кристаліту. Наведено інформацію щодо впровадження результатів

досліджень, зокрема описано технологію відновлення поверхонь опірних плит гідравлічних пресів, що використовуються для обтискання поліграфічних виробів.

Висновки розділів та загальні висновки роботи відповідають поставленій меті та характеризують науково-практичні результати дисертації.

Дисертація містить сім додатків з матеріалами, що доповнюють основну частину роботи.

Академічна доброчесність

Ознак порушення дисертантом вимог академічної доброчесності в представлений роботі та публікаціях, у яких висвітлені основні її наукові результати, не виявлено.

Зауваження та коментарі до дисертації:

1. У пункті 2 наукової новизни при описі структури наплавленого металу, яка досягається від накладання низькочастотних механічних коливань, не оговорюється хімічний склад основи, наплавного матеріалу та захисного газового середовища (стор.3).
2. В розділі 1 бракує підтвердження факту позитивного впливу подрібнення структурних складових на опірність зносу залізовуглецевого сплаву (стор.50). Огляд літератури переважно містить дані, що стосуються легованих сталей, які за хімічним складом як зносостійкі не застосовуються.
3. Враховуючи академічний характер тексту дисертації, розміщення в якості ілюстрації (рис.2.3, стор.68) зовнішнього вигляду передньої панелі стандартного випрямляча ВДГ-506 виглядає зайвим
4. Не зрозумілим залишився вибір марки дроту для наплавлення (ER70S-6, аналог Св-08Г2С) та його діаметру, з огляду на необхідність досягнення мінімального підплавлення основи та нанесення зазвичай більш легованих за складом шарів металу (стор.79). Вибір у якості зразків листових заготовок лише однієї товщини (8 мм) обмежило теплову ситуацію, яку можна було б додатково змінювати.

5. Проведення наплавлення в один шар (стор.85) неминуче зумовлює значну частку основного металу в нанесеному шарі. Враховуючи, що після наплавлення зазвичай виконується механічна обробка, збільшення розміру буде мінімальним. У розділі 5 не наведено критичне значення втрати товщини плити, перевищення якого стає підставою для відновлення деталі.
6. Для яких випадків може бути рекомендованою аналітичну залежність (3.21) величини періоду горіння дуги від параметрів коливальних та швидкісних характеристик плавлення та подавання електродного дроту, якщо діапазон похибки при розрахунку за нею становить від 7,8 % до 31,4 %?
7. Залишилося незрозумілим, чому для випадку наплавлення (коли вимагається збільшення висоти та відновлення початкового геометричного розміру) здобувачем мінімальна висота валика визначено бажаною величиною (стор.134).
8. Висновки до розділу 4 (пункти 1 – 3) носять констатуючий характер.
9. Не досить коректним виглядає порівняння отриманих значень твердості з випадками зварювання неіржавіючої сталі, а також з використанням флюсу та газової суміші $Ar+CO_2$ (стор.165).
10. Пункт 5.4 написано з використанням даних попереднього пункту, тому, по суті, виглядає його продовженням та закінченням.
11. Під час підготовки рукопису автору, не жаль, не вдалося уникнути дрібних помилок (стор.3, 17, 33, 50, 67, 69, 94, 118, 146) та неусталених понять (*посилення* замість *опуклість*; *перетин*, а не *переріз*; *окружності* замість *кола* тощо).

Наведені зауваження, проте, не знижують загального високого рівня роботи та цінності отриманих результатів.

Дисертація відповідає вимогам Департаменту атестації кадрів МОН України. Назва та зміст дисертації відповідають паспорту спеціальності 05.03.06 – Зварювання та споріднені процеси і технології.

Загальний висновок.

Розглянуті вище результати дають підстави вважати, що дисертація Сергія Володимировича Новикова є завершеною науково-дослідною роботою, яка узагальнює теоретичні й експериментальні дослідження та вирішує важливу комплексну задачу підвищення механічних характеристик поверхневих шарів металу шляхом визначення технологічного впливу поперечних механічних коливань під час дугового наплавлення в середовищі вуглекислого газу на структуру та властивості наплавленого металу та металу зони термічного впливу.

Особистий внесок здобувача для робіт, опублікованих у співавторстві, визначено як в дисертації, так і в авторефераті.

Оформлення дисертації й автореферату в цілому відповідає чинним нормативним документам.

За обсягом виконаних досліджень, їх новизною, науковою та практичною значущістю одержаних результатів та їх рівнем, представлена дисертаційна робота відповідає вимогам пунктів 9, 11 та 12 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року № 567 та рекомендується до захисту. Її автор – Новиков Сергій Володимирович – заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.06 – Зварювання та споріднені процеси і технології.

Декан металургійного факультету
Дніпровського державного
технічного університету,
доктор технічних наук (05.03.06),
професор



Валерій ПЕРЕМІТЬКО

Підпис В. Перемітька засвідчую:

Учений секретар

Дніпровського державного

технічного університету

канд. соціолог. наук, доцент



Людмила СОРОКІНА