

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертаційну роботу Ганущака Олега Васильовича «Розробка технології стикового плазово-дугового багатопрохідного зварювання біметалу «титан-сталь» із нанесенням бар'єрних покриттів», представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 13 – «Механічна інженерія» за спеціальністю 132 – «Матеріалознавство»

Актуальність теми дисертації. Дисертаційна робота, що подана до захисту, в умовах війни та проблем з надійністю енергопостачання, що існують в Україні та світі, присвячена вирішенню актуальної проблеми – розробки технології з'єднання листів сталі плакованої титаном, яка дозволить отримувати трубні вироби необхідної якості, які використовуються в хімічній, нафтопереробній промисловості та для магістральних трубопроводів. Для вирішення цієї проблеми автор пропонує застосовувати високопродуктивний, гнучкий, з високим рівнем відтворюваності, процес плазово-дугового багатопрохідного зварювання. Розроблені технологічні принципи його побудови, методи розрахунку та отримані дослідні зразки. Розвинуті уявлення про механізми нагрівання та зварювання, встановлені взаємозв'язки між головними технологічними параметрами процесу з'єднання та визначений їх вплив на формування заданої мікрогеометрії поверхонь деталей та фізико-механічні властивості з'єднань. Дисертаційна робота присвячена вивченню металургійних особливостей процесів плазово-дугового зварювання із нанесенням бар'єрних покриттів для мінімізації утворення інтерметалідних фаз, які зазвичай утворюються при взаємодії титану та сталі у нагрітому стані.

Обґрунтованість наукових положень та їх достовірність. Наукові положення та результати, які викладені у дисертаційній роботі обґрунтовані та підтверджені автором низкою виконаних теоретичних та експериментальних досліджень із застосуванням сучасних методів і лабораторного обладнання, спрямованих на підвищення ефективності використання плазового та плазово-дугового зварювання для покращення якості з'єднань відповідальних деталей.

Одержані результати досліджень пройшли лабораторне опробування та рекомендовані для використання у промисловості України.

Наукова новизна та значення результатів роботи для науки і практики. Наукова та практична цінність отриманих у роботі Ганущака Олега Васильовича результатів полягає у тому, що: вперше виявлено ступінь та параметри взаємодії на границі «титан – плазово напилене сталеве покриття» при плазово-дуговому наплавленні сталевого дроту на це покриття, а саме – умови мінімізації його товщини (не менше 400 мкм) і величини погонної енергії наплавлення на це покриття (до 200–250 Дж/мм), при яких між напиленим покриттям і титаном утворюється бездефектна перехідна зона. При цьому визначено, що в результаті нагріву плазовими і дуговими зварювальними джерелами при заповненні розробки стикового з'єднання біметалу «титан-сталь» в

процесі багатопрохідного зварювання до 900–1300°C в зоні контакту титану і сталі в твердій фазі утворюється бездефектна перехідна зона товщиною від 1 мкм до 10 мкм, в якій при подальшому підвищенні температури до 1430°C утворюється суміш інтерметалідів з мікротвердістю HV 600–800 та інтегральним хімічним складом, що відповідає формулі Ti_2Fe .

Не менш важливим результатом, наведеним у роботі, є розробка спеціального плазмотрону для зварювання титанового шару в U-подібній канавці, який відрізняється видовженим плазмоутворюючим соплом.

Рекомендації щодо використання результатів. Одержані результати можуть бути використані для розробки технологічних процесів плазмового та плазмово-дугового зварювання у стратегічних галузях промисловості, а також для створення технологічної бази даних для керованого формування параметрів зварювальних швів з високоміцних біметалевих сплавів для тих чи інших умов експлуатації деталей.

Дотримання принципів академічної доброчесності. Результати аналізу роботи, в тому числі за допомогою перевірки тексту дисертації з використанням системи виявлення текстових збігів, свідчать про відповідність дисертації принципам академічної доброчесності.

Повнота опублікованих результатів дисертації. За результатами дисертаційної роботи опубліковано 26 наукових праць, у тому числі 9 статей у наукових фахових виданнях (з них 5 статей у іноземних періодичних виданнях (Scopus, WoS), 4 - у рекомендованих фахових виданнях України) та 13 тез доповідей в збірниках матеріалів міжнародних конференцій. Вказані публікації повністю відображають основний зміст дисертації, об'єм та характер проведених теоретичних та практичних досліджень.

Апробація матеріалів дисертації. Основні положення та результати досліджень доповідалися на міжнародних наукових конференціях: Сучасні технології з'єднання матеріалів: збірка тез пленарних та стендових доповідей міжнародної конференції Київ, Україна, 2021; The 6th International scientific and practical conference – Results of modern scientific research and development. Barca Academy Publishing, Madrid, Spain, 2021; The 3rd International scientific and practical conference "Modern scientific research: achievements, innovations and development 15 prospects" MDPC Publishing, Berlin, Germany 2021; The 11th International scientific and practical conference "European scientific discussions". Potere della ragione Editore, Rome, Italy, 2021; The 11th International scientific and practical conference "European scientific discussions". Potere della ragione Editore, Rome, Italy, 2021; The 35 th International scientific and practical conference "Modern Science". Nika Publishing, Leeds, Great Britain, 2022 та інших. Також за матеріалами дисертації подано 2 патенти на винаходи.

Оцінка змісту роботи, її завершеність. Представлена дисертаційна робота Ганущака О.В. за своїм змістом повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 131 – Прикладна механіка та предметній області, що визначена освітньо-науковою програмою підготовки докторів філософії з Прикладної механіки.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею, наведені результати та висновки свідчать про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям дослідження новітніх проблем механіки суцільного середовища, аналізу й оптимізації конструкцій та технологій виробництва машин.

Представлена Ганущаком О.В. кваліфікаційна робота є виконанням автором самостійно завершеним науковим дослідженням, а її результати і висновки свідчать про значний особистий внесок дисертанта у розв'язання сучасних задач механіки суцільного середовища, оптимізації конструкцій машин та технологій їх виробництва.

Після аналізу представленого звіту подібності та перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння можна стверджувати, що кваліфікаційна робота Ганущака О.В. є результатом його власних наукових досліджень. У роботі відсутні ознаки фальсифікації, фабрикації, плагіату, компіляції, запозичень або несанкціонованого використання здобувачем результатів інших авторів. Використані дисертантом ідеї, результати та тексти інших авторів чітко відзначені відповідними посиланнями.

Мова та стиль викладення результатів. Дисертаційна робота О.В. Ганущака викладена українською мовою. Суть дисертаційної роботи подана послідовно, зрозуміло та стисло. Автор використав загальноприйнятну технічну термінологію, що сприяє повному розумінню представлених результатів досліджень.

Подані у дисертації результати досліджень систематично розподілені на окремі розділи, що дозволяє іншим ученим та спеціалістам чітко розуміти послідовність кроків у виконанні досліджень. Представлений графічний матеріал, що включає власні фотографії, графіки та скріншоти, повністю відображає результати експериментальних, аналітичних і розрахункових досліджень.

Дисертаційна робота Ганущака О.В. викладена на 240 сторінках і складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаної літератури. Обсяг основного тексту складає 153 сторінки машинописного тексту, містить 110 рисунків, 45 таблиць, список літератури із 123 найменувань на 15 сторінках та 2 додатків.

У вступі до дисертаційної роботи висвітлена актуальність теми, сформульована мета та основні положення, які подаються на захист, обґрунтовані наукова новизна та практична цінність роботи, надана інформація про апробацію результатів і публікації за темою роботи.

Перший розділ містить аналіз сучасного стану питання, що вивчається. У розділі наведені результати аналізу особливостей зварювання біметалевих з'єднань титану та сталі з використанням сучасних зварювальних технологій і технологічних прийомів. Розглянуто технологічні особливості зварювальних процесів і структурні особливості формування таких зварних з'єднань, визначені характерні дефекти їх утворення. На основі проведеного аналізу визначені мета та задачі досліджень.

Другий розділ присвячено опису лабораторного обладнання, методів виконання експериментальних досліджень, у розділі наводяться матеріали, що застосовувались в процесі зварювання та нанесення покриттів. Проведено опис технологічного зварювального обладнання для виконання експериментів і металографічних досліджень.

У третьому розділі наведені результати технологічних та металографічних досліджень для виявлення ступеню впливу параметрів дугового та плазово-дугового джерел енергії на процес формування зварних швів, а також результати металографічних досліджень наплавлення сталевому шару на титановий, встановлено залежність параметрів формування інтерметалідного прошарку від величини погонної енергії зварювального процесу. З урахуванням отриманих даних обрано найбільш перспективні зварювальні та споріднені технології для наплавлення і напилювання бар'єрних шарів, призначених для усунення або зменшення товщини інтерметалідного прошарку. Проведено металографічні дослідження структуроутворення у перехідних зонах після нанесення бар'єрних покриттів на титан, сталь і після наплавлення тонкого сталевому шару на нанесені покриття.

У четвертому розділі наведено результати моделювання термічних циклів багатопрохідного стикового зварювання біметалевих пластин сталь-титан (плазове зварювання титанового шару, аргано-дугове наплавлення неплавким електродом бар'єрного шару, дугове наплавлення плавким сталевим дротом для заповнення розробки крайок у сталевому шарі) та дослідження їх впливу на структуру зони термічного впливу біметалу. Встановлено, що при зварюванні під час дії вказаних теплових джерел (порядку 10–12 с) температура межі контакту титану і сталі у ЗТВ біля зони плавлення змінюється від 900 до 1450°C, що створює умови для утворення інтерметалідних прошарків в твердій фазі.

Наведені рекомендації для мінімізації небезпеки руйнування зварного з'єднання листів сталь-титан внаслідок утворення крихких інтерметалідів. В результаті аналізу отриманих даних, можна рекомендувати діапазон погонних енергій зварювання не вище 200–400 Дж/мм, при яких розмір ЗТВ не перевищує 1,5–3,5 мм, що сприяє зменшенню товщини інтерметалідного прошарку FeTi на межі контакту сталі та заліза до 1–2 мкм.

У п'ятому розділі наведено результати робіт із практичної реалізації розроблених технологій, створене обладнання для отримання і неруйнівного контролю за якістю зварних

з'єднань Fe-Ti біметалевих листових заготовок. Результати механічних випробувань показали, що міцність отриманих плазмовим зварюванням з'єднань титану BT1-0 товщиною 2 мм і зварюванням за розробленою технологією сталі Q235 товщиною 10 мм становлять порядку 85% міцності відповідних основних металів. Для промислової реалізації розробленої технології зварювання стикових з'єднань біметалу титан-сталь сконструйовано 3D модель дослідно-промислової лінії виготовлення прямошовних труб титан-сталь і 3D моделі необхідних складових обладнання. Розроблені рекомендації по створенню дослідно-промислової лінії виготовлення прямошовних труб «титан-сталь» із застосування розробленої технології багатопрхідного стикового зварювання біметалу «титан-сталь» для повздовжнього і орбітального зварювання заготовок біметалевих труб.

Загальні висновки щодо дисертації. Дисертація Ганущака О.В. є актуальною, завершеною комплексною науково-дослідною роботою, яка містить нові результати, які є науковими та практичними досягненнями. Дослідження виконувались із застосуванням ефективних методів та сучасного обладнання при проведенні статистичного та математичного аналізу та вивчення змін структури, структурно-фазового складу, фізико-механічних властивостей досліджуваних матеріалів. Приведені в роботі висновки, пропозиції та рекомендації безумовно мають наукову та практичну цінність. Матеріали дисертації відображені у достатній кількості фахових та міжнародних наукових виданнях, тезах доповідей.

Зауваження до роботи:

1. З тексту роботи не зрозуміло що таке «металургійна несумісність» (розділ 1.2)?
2. Не зрозуміло навіщо автор досить докладно досліджує технологію отримання листових біметалів Fe-Ti, адже в роботі вони розглядаються лише як заготовки?
3. В таблиці 1.3 відсутні порівняльні характеристики плазмового та дугового зварювання, хоча автор стверджує про їх широке застосування у сучасній промисловості.
4. При аналізі розділу 2.1 не зрозуміло чому автор називає структуру або послідовність проведення досліджень (– вибір загальної схеми зварювання; – підготовка і дослідження зразків; – математичне моделювання; – металографічні дослідження і т.д.) «методикою проведення досліджень»?
5. Аббревіатури «СМТ» немає у переліку умовних позначень, немає там також і багатьох інших аббревіатур та символів (TIG, P-GMAW, P-MAG та інші).
6. Наявна певна декларативність деяких висновків, наприклад про те, що «найбільший інтерес становлять такі джерела, що застосовуються при дугових способах зварювання та наплавлення і є пріоритетними в промисловості [98]» (розділ 1.7), при тому, що у якості аргументу на його користь наводиться посилання лише на одне літературне джерело.

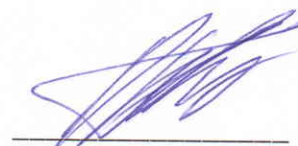
7. В роботі зустрічаються деякі помилки, наприклад, недостатня інформативність рисунків, оскільки не всі необхідні параметри вказані (рис. 1.1, 1.2 та інші), допущені окремі описки, іншомовні слова та неточності.
8. В роботі також відсутній економічний аналіз та ринкова доцільність впровадження розробленої технології.

Заключення. Дисертація Ганущака О.В. за рівнем теоретичних і експериментальних досліджень є завершеною роботою, в якій отримані нові науково обґрунтовані теоретичні і практичні результати, що у сукупності вирішують важливу науково-прикладну задачу управління процесом плазмового та плазмово-дугового зварювання з метою покращення якості зварювальних швів виробів і відповідає галузі знань 13 – «Механічна інженерія» і спеціальності 132 – «Матеріалознавство».

Дисертаційна робота за своїми актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною у повній мірі відповідає вимогам чинного законодавства України, які сформульовані в п.п. 6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», який затверджений Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. за № 44.

Здобувач Ганущак Олег Васильович повною мірою заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії у галузі знань 13 – Механічна інженерія за спеціальністю 132 – Матеріалознавство.

Офіційний опонент,
провідний науковий співробітник
Фізико-технологічного інституту
металів і сплавів НАН України, с.н.с., к.т.н.



Олександр ШАТРАВА



Підпис Олександра ШАТРАВИ "ЗАСВІДЧУЮ"

Володимир Секретар ФТІМС НАН України, к.т.н



Володимир ЛАХНЕНКО

«23» СІЧНЯ

2025 р.