

ВІДГУК
на дисертаційну роботу
Ганущака Олега Васильовича
на тему «Розробка технології стикового плазмово-дугового
багатопрхідного зварювання біметалу «титан-сталь» із нанесенням
бар'єрних покриттів»,
що представлена на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань 13 Механічна інженерія
за спеціальністю 132 Матеріалознавство

Актуальність теми дисертації.

Сучасним трендом розвитку хімічної та енергетичної галузей промисловості є впровадження та збільшення обсягу застосування металевих матеріалів, що поєднують у собі властивості різних металів, у тому числі композиційних матеріалів, що складаються з двох і більше шарів металів, з'єднаних між собою на рівні елементарних зв'язків. Зокрема біметал титан-сталь, що поєднує в собі високу корозійну стійкість титану з хорошими технологічними властивостями конструкційних сталей є перспективним матеріалом для виробництва зварних труб і дозволяє підвищити експлуатаційний ресурс відповідних магістральних та технологічних трубопроводів, завдяки плакованій титаном або його сплавом внутрішній поверхні. Стримуючим фактором виготовлення зварних прямошовних трубних виробів з біметалу титан-сталь є брак відповідної рентабельної промислової технології зварювання.

Використання дугових та плазмових процесів для зварювання біметалу титан-сталь ускладнене через низку науково-технічних проблем, аналогічних до проблематики зварювання титану зі сталлю. Перш за все, це висока хімічна активність титану, суттєва різниця у фізичних властивостях та кристалічній будові титану і заліза, а також обумовлений взаємною дифузією цих елементів розвиток хімічної неоднорідності з утворенням крихких інтерметалідних фаз (ІМФ) типу TiFe_2 , TiFe , Ti_2Fe .

Таким чином, проведені в даній дисертаційній роботі дослідження з вивчення металургійних особливостей процесів плазмового і дугового зварювання біметалу титан-сталь, визначення складу та способу нанесення бар'єрних прошарків задля мінімізації або повного усунення ІМФ, встановлення методів, технологічної послідовності й раціональних параметрів режиму багатопрхідного зварювання прямошовних сталевих труб плакованих титаном представляють суттєвий науковий та практичний інтерес, є своєчасними та актуальними.

Про актуальність теми представленої роботи свідчить також її зв'язок з програмами і темами наукових досліджень, зокрема: «Розробка адитивних технологій отримання об'ємних виробів промислового та біомедичного призначення із сплавів та біметалів методами плазмово-дугового та електронно-променевого наплавлення» (№ ДР 0122U000895, 2022); «Дослідження процесів сфероїдизації крапель-дисперсних часток і закономірностей формування структури гранул і порошків із складнолегованих

сплавів та інтерметалідів при плазмово-дуговому розпиленні струмопровідних порошкових дротів» (№ ДР 0122U001952, 2022–2024); «Розробка технологій одержання новітніх титанових сплавів методами електронно-променевого плавлення та виробів з них методами прокатки і 3D друку для потреб оборони та медицини» (№ ДР 0123U100870, 2023–2024).

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в сукупності встановлених закономірностей зв'язку між технологічними показниками досліджених методів зварювання і особливостями структуроутворення, зокрема розмірами та складом «проблемних» ділянок зварного з'єднання біметалу титан-сталь, а також виявлених особливостях фізико-металургійних процесів в умовах застосування бар'єрних покриттів з різних матеріалів, створених з використанням різних методів плазмово-дугового наплавлення і напилення на титан та сталь. Зокрема, до наукової новизни дослідження відносяться наступні положення:

- вперше встановлено закономірності впливу величини погонної енергії плазмового і дугового наплавлення сталі на титан на товщину та схильність до дефектоутворення перехідної зони, що виникає під час взаємодії розплаву сталі з титаном і містить ІМФ типу Ti-Fe;

- поглиблено уявлення про особливості структуроутворення в процесах плазмового та дугового наплавлення покриття ванадію на сталь і сталі на це покриття, встановлено, що в перехідній зоні між наплавленим ванадієвим покриттям і сталлю утворюється інтерметалідний прошарок V-Fe змінної концентрації і підвищеної твердості, що призводить до тріщиноутворення;

- доповнено уявлення про особливості металургійної взаємодії розплаву мідних сплавів з титаном і сталлю, а саме – встановлено умови нанесення бар'єрного покриття зі сплаву CuSi3Mn1 на титанову пластину, при яких взаємна дифузія елементів на межах розділу «титан-CuSi3Mn1-сталь» не призводить до утворення крихких фаз та тріщиноутворення;

- вперше виявлено особливості металургійної взаємодії на межі «титан – плазмово напилене сталеве покриття» при плазмово-дуговому наплавленні сталевого дроту на це покриття, а саме – умови мінімізації його товщини і величини погонної енергії наплавлення на це покриття, що обумовлює бездефектну перехідну зону між напиленим покриттям і титаном;

- вперше встановлено, що під час багатопрохідного зварювання біметалу «титан-сталь» в результаті нагріву зварювальним джерелами тепла до 900–1300 °C в зоні контакту титану і сталі утворюється бездефектна перехідна зона інтерметаліду TiFe товщиною 1–10 мкм, яка при подальшому нагріванні до 1430 °C перетворюється у суміш інтерметалідів типу Ti_xFe та мікротвердістю 600–800 HV.

Наукова новизна роботи сформульована чітко і зрозуміло. Положення наукової новизни відповідають пп. 1–4 завдань, сформульованих у науковій роботі, сутність цих положень розкрито у висновках до дослідницьких розділів дисертації.

Обґрунтованість та достовірність основних наукових положень, висновків і рекомендацій роботи визначається наступним:

- аналізом праць визнаних учених і фахівців у галузі матеріалознавства, прикладної механіки, зварювання та споріднених процесів і технологій;
- залученням до експериментальної частини роботи великої кількості різних способів та методів зварювання, наплавлення і напилення, з різними за фізичним принципом і енергетичними характеристиками джерелами нагрівання;
- застосуванням автором сучасних апробованих методик проведення експериментів, зокрема методів оптичної, аналітичної растрової електронної мікроскопії та рентгеноструктурного аналізу, а також використання найбільш відповідної для зварювальних умов об'ємної моделі джерела нагрівання у моделюванні теплових процесів методом скінченних елементів;
- значним обсягом даних, отриманих шляхом проведення прямих експериментів;
- апробацією основних результатів роботи на міжнародних конференціях.

Основні результати представленого наукового дослідження є достовірними та обґрунтованими. Наукові положення, висновки і рекомендації, що сформульовані у дисертації, відповідають всім вимогам МОН України щодо дисертаційних робіт.

Отже, під час вирішення поставленого в роботі наукового завдання, здобувач дослідив особливості металургійних процесів плазмового і дугового зварювання біметалу титан-сталь, науково обґрунтував склад та метод нанесення бар'єрного прошарку, що мінімізує шкідливий вплив ІМФ на якість та властивості зварного біметалу, а також розробив технологію стикового плазмово-дугового багатопрхідного зварювання біметалевого прокату титан-сталь завтовшки 12 мм (шар титану ВТ1-0 завтовшки 2 мм + шар сталі Q235 завтовшки 10 мм) із забезпеченням міцності зварного з'єднання на рівні 0,85 міцності основного металу. Таким чином, мету дисертаційної роботи досягнуто, усі поставлені завдання виконано в повному обсязі, а здобувач оволодів методологією наукової діяльності та продемонстрував високі фахові компетентності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

Представлена дисертаційна робота Ганущака О.В. за своїм змістом повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 132 Матеріалознавство та предметній області, що визначена освітньо-науковою програмою підготовки докторів філософії з Матеріалознавства.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею, наведені результати та висновки свідчать про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям дослідження новітніх проблем матеріалознавства.

За результатами розгляду звіту подібності та перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння можна зробити висновок, що дисертаційна робота Ганущака Олега Васильовича є результатом самостійних наукових досліджень здобувача та не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Найбільший відсоток збіжності встановлено

з сайтом журналу, в якому опублікована власна наукова стаття здобувача зі списку опублікованих за темою дисертації праць. Використані здобувачем ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідні джерела.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота Ганущака О.В. викладена державною мовою. Структурованість дисертації на розділи відповідає загальноприйнятим нормам та надає можливість іншим дослідникам покроково чітко зрозуміти послідовність етапів виконання досліджень. Наведений графічний матеріал, який представлений власними фотографіями, скріншотами, графіками, в повній мірі відображає результати експериментальних і розрахункових досліджень. Автором використана загальноприйнята технічна термінологія. Окремі зауваження щодо застосування нестандартизованих або некоректних термінів наведено нижче. Наявність останніх не є критичною і не перешкоджає повному розумінню наведених результатів досліджень.

Дисертаційна робота викладена на 240 сторінках машинописного тексту і складається зі вступу, п'яти розділів загальним обсягом 183 сторінки, загальних висновків, списку використаної літератури зі 123 найменувань та двох додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми дослідження, визначені мета та задачі дослідження, приведені методи дослідження, сформульовані наукова новизна та практична цінність отриманих результатів. Надана інформація щодо апробації результатів роботи та кількості публікацій по темі роботи з наведенням особистого внеску автора. Представлена загальна структура та обсяг дисертаційної роботи.

У першому розділі приведено результати аналізу особливостей отримання зварних 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, визначено характерні дефекти їх утворення. Сформульовано базову проблематику отримання з'єднань титану та сталі зварюванням плавленням. На основі проведеного аналізу визначені мета та завдання досліджень.

У другому розділі наведено опис застосованих стандартизованих та оригінальних методів проведення дослідження. Вказано матеріали, що застосовувались в процесі досліджень. Проведено опис технологічного зварювального обладнання для виконання експериментів і металографічних досліджень.

У третьому розділі приведено технологічні та металографічні дослідження для виявлення ступеню впливу дугового або плазово-дугового джерела наплавлення сталевго шару на титановий шар, встановлено залежність параметрів формування ІМФ прошарку від погонної енергії зварювального процесу. З урахуванням отриманих даних надалі обрано найбільш перспективні зварювальні та споріднені технології для наплавлення і напилювання бар'єрних шарів, призначених для усунення ІМФ прошарку. Проведено металографічні дослідження структуроутворення у перехідних зонах після нанесення бар'єрних покриттів на титан, на сталь і після наплавлення

тонкого сталевому шару на нанесені покриття. За результатами металографічних досліджень обрано найбільш перспективні матеріал і технологію нанесення на титан бар'єрного покриття із наступним наплавленням сталевому шару. Основний критерій вибору – повне або часткове усунення ІМФ прошарку, мінімізація товщини ІМФ прошарку до 10 мкм.

У четвертому розділі досліджено структурні особливості вихідних зразків біметалу титан-сталь, з яких надалі планується зварювати трубні конструкції. Приведені результати математичного та фізичного моделювання процесу нагріву в твердій фазі зразків біметалевого листа титан-сталь, який відбувається при дуговому або плазмово-дуговому зварюванні. Проаналізовано особливості утворення ІМФ у твердій фазі залежно від температури нагріву зони термічного впливу (ЗТВ) при зварюванні.

У п'ятому розділі представлено результати практичної реалізації проведених досліджень, а саме: розроблено ряд технологій, послідовне застосування яких дозволяє одержати зварне з'єднання біметалу титан-сталь відповідної якості, розроблено структурно-апаратні схеми та сконструйовано відповідне обладнання для впровадження цих технологій.

Висновки сформульовані конкретно та логічно, відповідно до змісту дисертації.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Наукові результати дисертаційної роботи висвітлені у 26 опублікованих працях здобувача, серед яких:

- 5 статей періодичних наукових видань, що індексуються базами даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, серед них 3 статті у виданнях віднесених до третього квартелю (Q3) за класифікацією SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports, 1 стаття у виданні першого квартелю (Q1) та 1 стаття у виданні, що індексується тільки Web of Science Core Collection;

- 4 статті періодичних наукових видань, включених до переліку наукових фахових видань України;

- 2 статті науково періодичних видань інших держав;

- 2 патенти на винахід;

- 13 збірок тез та доповідей міжнародних наукових конференцій, що засвідчують апробацію дисертації.

При підготовці публікацій автор неухильно дотримувався принципів академічної доброчесності. В представленій дисертації наведений перелік опублікованих за темою дисертації робіт з наведенням особистого внеску здобувача при проведенні наукових досліджень та підготовці наукових публікацій у співавторстві.

Таким чином, описані в дисертаційній роботі результати повною мірою висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. Робота має деякі неточності в застосуванні термінів та помилки, наприклад «...величина зміцнення деформацій...» (стор. 33), «...зварений шов...» (стор. 39, 46), «...тендітних фаз...» (стор. 54, 127), «... уніполярного (з підставкою) плазмового стикового зварювання...» (стор. 194). Закис ванадію деінде в тексті позначається як VN (стор. 148, 156, 163).

2. На стор. 33 автор застосовує визначення «напруження плинності», на стор. 35 «межа пластичності», а на стор. 87 «границі плинності», бажано було б використовувати стандартизовані терміни.

3. Не зрозуміло, на аналізі яких саме публікацій ґрунтується наведена в п. 5 висновків за розділом 1 ідея наплавлення або напилення порошку Al_2O_3 і порошку заліза ПЖ-1 для створення бар'єрних прошарків (стор. 63).

4. У табл. 3.1 (стор. 92) наведено значення параметрів режимів імпульсного дугового наплавлення плавким електродом у захисному газі, серед яких вказано «зварювальний струм». Оскільки застосовувалась пульсація струму, незрозуміло який саме це струм і чи досліджувався вплив струму імпульсу, струму паузи, частоти та скважності імпульсів на формування наплавленого шару.

5. Дослідження металургійної взаємодії наплавлення сталі на титан методами P-GMAW (P-MAG) та CMT (розділи 3.1.1 та 3.1.2) виконувались у сумішах аргону і вуглекислого газу. Бажано було б пояснити, чому ці серії експериментів проводились без урахування підвищеної хімічної активності титану із застосуванням активних компонентів захисного середовища.

6. У розділі 3.2.3 виконувалось імпульсно-дугове наплавлення сталі на шар ванадію у суміші 82 % Ar + 18 % CO_2 (зразки №1 та 2, табл. 3.16). Аналогічно до попереднього зауваження бажано пояснити, чому в цьому випадку ігнорувалася здатність ванадію у твердому стані поглинати кисень з газової фази за приблизно тієї ж самої температури, що і титан (400...500 °C).

7. У розділі 4.4 бажано було б більш чітко сформулювати висновки за результатами порівняння рентгеноспектрального та рентгеноструктурного (дифракційного) аналізів складу інтерметалідних прошарків у зоні контакту титан – сталь. Зокрема утворення фази типу Ti_xFe (Ti_2Fe), про яку в подальшому ідеться у висновках за розділом 4 (стор. 188-189), не встановлено за результатами рентгеноструктурного фазового аналізу.

8. У роботі досліджується наплавлення та напилення на титан вольфраму і ванадію. Всі три зазначені елементи (Ti, V та W) – сильні карбідоутворювачі. За допомогою застосовуваного в роботі методу рентгеноспектрального мікроаналізу не завжди можливо встановити вміст вуглецю в складі окремих фаз. Наскільки переконливими у цьому випадку є припущення, щодо утворення виключно інтерметалідних фаз в складі різних бар'єрних шарів та титанового шару?

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну значну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу.

Дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Ганущака Олега Васильовича на тему «Розробка технології стикового плазмово-дугового багатопрохідного зварювання біметалу «титан-сталь» із нанесенням бар'єрних покриттів» виконана на високому науковому рівні, вона не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має суттєве значення для галузі знань 13 Механічна інженерія, спеціальність 132 Матеріалознавство. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, які наведені 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», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

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

Офіційний опонент:

доцент кафедри
зварювального виробництва
КПІ ім. Ігоря Сікорського
к.т.н., доцент

Олексій СЛИВІНСЬКИЙ

Підпис офіційного опонента доцента кафедри зварювального виробництва КПІ ім. Ігоря Сікорського к.т.н., доцента Олексія Сливінського засвідчую:

«28» січня 2025 року

