

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

КАПУСТЯН Олексія Євгеновича

на тему «**ПІДВИЩЕННЯ МЕХАНІЧНИХ І СЛУЖБОВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ
ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ СПЕЧЕНОГО КОНСТРУКЦІЙНОГО ТИТАНУ**»,

представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за

спеціальністю 05.02.01 - Матеріалознавство

Актуальність теми дисертації та відповідність спеціальності 05.02.01 – Матеріалознавство.

Тема дисертаційної роботи Капустян О.Є. присвячена дослідженню особливостей процесів структуроутворення у виробках із спеченого титану, впливу на цей процес фракційного складу вихідних порошків титану, впливу різних способів зварювання на структуру, механічні властивості та корозійну стійкість зварних з'єднань із спеченого титану.

Добре відомо, що титан та його сплави знайшли широке застосування в авіаційній та космічній техніці, суднобудуванні, військовій галузі, медицині, криогенній, хімічній та багатьох інших галузях народного господарства.

Це пов'язано з унікальним поєднанням фізико-хімічних властивостей титана та його сплавів. Вони мають високі питому міцність, модуль пружності, опір втомного руйнування, антикорозійні властивості, жароміцні і жаростійкі властивості, стійкість до ерозії і кавітації в морській воді, зберігають високі механічні властивості при низьких температурах.

Виробництво титану - процес технологічно складний, дорогий та тривалий. Основна маса титану виробляється з губчастого титану магністермічним способом. Традиційно для отримання виробів титанова губка переплавляється в вакуумних дугових і електронно-променевих печах з наступною обробкою зливків тиском або прокатом. Разом з цим, частина титанової губки подрібнюється з метою отримання порошків.

Використання методів та технологій порошкової металургії дозволяє значно знизити вартість виробництва титанових виробів складної форми, не потребує використання складного обладнання, переплаву та термодформаційної обробки, забезпечує високий коефіцієнт використання матеріалу, та отримання механічних властивостей на рівні литих або деформованих виробів. Разом з тим, наявність пор, несучільностей, хімічна неоднорідність, наявність шкідливих домішок та газів при використанні порошків може звести нанівець всі переваги використання даного методу.

У тих випадках, коли у виробі потрібно поєднати різні частини складної форми зазвичай застосовують зварювання. Добре відомо, що титан та його сплави достатньо добре зварюються з використанням електронно-променевих технологій зварювання у вакуумі. При зварюванні титану та його сплавів необхідно надійно захистити зону зварювання та зону термічного впливу, температура нагріву якої перевищує 400° С, від шкідливого впливу атмосферного повітря. Додатковими труднощами при зварюванні титану є його схильність до значного збільшення

розміру зерна при високих температурах та утворення пор. Тому при зварюванні на відкритому повітрі для отримання якісних та надійних зварних з'єднань титану та його сплавів слід запобігати утворення рідкої фази, та застосовувати твердофазні способи зварювання тиском.

Таким чином, дисертаційна робота, яка присвячена дослідженню особливостей формування структури спеченого титану та структури його зварних з'єднань, розподілу домішок та газів у зварних з'єднаннях, механізмам їх руйнування з'єднань, та об'єднує процеси порошкової металургії та зварювання є актуальною та своєчасною для сучасного стану промислового комплексу України.

Дисертаційна робота Капустян О.Є. повною мірою відповідає паспорту спеціальності 05.02.01 (у частинах 1, 3, 5) – Матеріалознавство.

Ступінь обґрунтованості, повнота і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій.

Отримані дисертантом наукові результати, сформульовані принципи і висновки мають наукову значимість та практичну цінність.

У роботі використані теоретичні та експериментальні методи досліджень. При проведенні експериментальних досліджень в лабораторних і промислових умовах використано стандартне обладнання та апробовано фізичні моделі спікання та зварювання, сучасні методи дослідження виробів порошкових матеріалів та їх зварних з'єднань.

Достовірність отриманих результатів у цілому, пояснення наукових положень, висновків і рекомендацій, що впливають з роботи, не викликають ніяких сумнівів, оскільки теоретично обґрунтовані і мають експериментальне підтвердження. Вони підтверджені в багатьох роботах інших дослідників, апробовані на авторитетних міжнародних і українських наукових конференціях, семінарах, опубліковані у фахових виданнях.

Загальна характеристика змісту дисертації.

Дисертація складається із анотацій, вступу, 5-ти розділів основного тексту, загальних висновків, 7-ти додатків, списку використаних джерел. Робота викладена на 198 аркушах машинного тексту і додатків на 17 сторінках, містить 55 ілюстрації, 20 таблиць та 224 використаних літературних джерела. За структурою дисертація та автореферат є логічними, підпорядкованими меті роботи та її завданням.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету та задачі роботи, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, сформульовано наукову новизну та практичну значимість отриманих результатів із зазначенням особистого внеску автора.

У **першому розділі** проаналізовано основні властивості титану і вимоги до сплавів, що використовуються в хімічній промисловості. Проведено аналіз переваг і недоліків існуючих технологій виготовлення деталей. Доведено, що деталі складної конфігурації для хімічної промисловості доцільно отримувати методом порошкової металургії із застосуванням зварювання. Проведено аналіз сучасних методів зварювання та визначено їх вплив на структуру та властивості

титану. На підставі критичного аналізу літературних даних було сформульовано актуальність роботи, визначено мету та задачі дослідження, обрано матеріал та встановлено основні напрямки та методи досліджень.

У другому розділі обґрунтовано вибір методик та обладнання для досліджень. Для виготовлення спечених виробів в якості шихтового матеріалу використовували порошок титану марки ПТ різного фракційного складу. Зварні з'єднання отримували методами зварювання тиском: контактним стиковим зварюванням оплавленням, конвекційним зварюванням тертям та зварюванням тертям перемішуванням.

Для отримання необхідної інформації про об'єкт та предмет дослідження виконували аналіз макро- та мікроструктури, визначали хімічний склад спектральним методом, механічні та корозійні властивості металу зварних з'єднань проводили за стандартними методиками. Для структурних досліджень використовували світлову, растрову електронну мікроскопію, мікрорентгеноспектральний та дюрOMETричний аналіз.

Оцінку пористості спечених зразків та визначення їх механічних властивостей проводили за стандартними методиками. Корозійну стійкість досліджували масовим методом у розчинах: 20 % HCl та 40 % H₂SO₄.

Обробку статистичних даних виконували регресійно-кореляційним методом.

У третьому розділі представлено результати дослідження процесів, що відбуваються при спіканні, досліджено структуру спечених порошків, розподіл пор, проаналізовано вплив розмірів порошку і величини тиску пресування на структуру та властивості спечених зразків.

Результати спектрального аналізу показали, що хімічний склад зразків із спеченого титану відповідав складу технічного титану VT1-0. Встановлено, що пори в спечених пресовках мали різноманітну конфігурацію, їх кількість і середні розміри зменшувались зі зменшенням розмірів порошку і зі збільшенням тиску пресування. Автором встановлена залежність між тиском пресування, розміром порошку і пористістю. Встановлено, що найбільша пористість формується у спечених зразках при найбільшому розмірі вихідних порошків (0,63...0,80 мм) та найменшому тиску пресування заготовки (500 МПа). Збільшення тиску пресування з 500 МПа до 900 МПа призводило до зниження об'ємної пористості заготовок з 5 % до менше 2 %.

Автором встановлено, що розмір пор визначається, більшою мірою розміром порошків і в меншій - тиском пресування. При цьому спостерігається практично прямолінійна залежність між розміром пор та тиском пресування.

Встановлено, що зменшення розміру частинок порошків в дослідних зразках призводило до підвищення твердості до двох разів, границі міцності і відносного подовження на 15...20 % при оптимальних тисках пресування – 700...900 МПа

Аналіз характеру руйнування при статичних навантаженнях показав, що вплив пор на руйнування є нелінійним. Встановлено, що зі зростанням розмірів і

кількості пор механічні властивості порошкового титану знижуються.

Результати роботи показали, що дослідні спечені зразки мають рівень механічних властивостей близький до рівня механічних властивостей литого і деформованого титану марки VT1-0, окрім пластичності. Рівень пластичності спеченої заготовки був нижче, ніж у заготовок, отриманих за традиційними технологіями майже у 1,5...2 рази.

На підставі цього, автор робить висновок, що спечені сплави титана марки VT1-0 можуть застосовуватися в якості конструкційного матеріалу для деталей, що працюють в умовах незначних навантажень.

У четвертому розділі наведено результати досліджень впливу різних способів зварювання спеченого титану марки VT1-0 на структуру, механічні властивості та корозійну стійкість їх зварних з'єднань.

Дослідження стикового зварювання оплавленням і конвекційного тертям проводили на спечених заготовках діаметром 10...12 мм, тоді як зварювання тертям перемішуванням - на заготовках пластин товщиною 2 мм.

Автором було досліджено структуру та властивості металу шва та зони термічного впливу спеченого титану VT1-0, виконаних трьома різними способами зварювання: контактним стиковим зварюванням оплавленням, конвекційним зварюванням тертям, зварюванням тертям перемішуванням.

Встановлено, що у зв'язку з різним рівнем тепловкладення при використанні цих способів зварювання ширина зварного шва та зони термічного впливу була різною: при стиковому зварюванні оплавленням вони склали 0,3...2,5 мм та 12...15 мм; при конвекційному зварюванні тертям - 0,08...1,25 мм та 2,0...2,5 мм; при зварюванні тертям перемішуванням - 15...20 мм та 2,5...4,0 мм, відповідно.

Різні типи зварювання по-різному впливають на структуру, яка формується при з'єднанні: при зварюванні оплавленням у металі шва формуються окремі β -зерна титану характерні для литого стану, а у металі ЗТВ - тонкопластинчасті паралельні пластини α -фази; при конвекційному зварюванні тертям у металі шва під дією значної пластичної деформації - дрібні (до 5 мкм) зерна α -фази, у металі ЗТВ - тонкопластинчасті радіально орієнтовані пластини α -фази (3 мкм \times 150 мкм); при зварюванні тертям перемішуванням у металі шва та ЗТВ - голчасті пластини α -фази (3 мкм \times 10 мкм), орієнтовані в напрямку обертання інструменту.

Проведені автором мікрорентгеноспектральні дослідження встановили, що розподіл основних домішкових елементів для стикового зварювання оплавленням і конвекційного зварювання тертям був практично однаковим у шві і зонах термомеханічного впливу. Тобто, використання цих способів зварювання не призводило до насичення зварного шва і зони термомеханічного впливу газами з навколишньої атмосфери.

Автором встановлено, що величини границі міцності зони шва при стиковому і конвекційному зварюваннях в середньому перевищували границю міцності вихідних спечених заготовок на 18 % і 25 % відповідно. Значення границі міцності зварного шва, отриманого конвекційним зварюванням, було на 12 % вище в порівнянні зі стиковим зварюванням оплавленням. При зварюванні

тертям перемішуванням міцність зварного з'єднання виявилася майже в 2 рази нижчою в порівнянні з міцністю двох інших способів зварювання.

На підставі проведених досліджень, автором було встановлено, що найбільш сприятливий вплив на структуру, механічні властивості і розподіл домішкових елементів може забезпечити конвекційне зварювання тертям.

Проведені автором корозійні дослідження зварних з'єднань спеченого титану показали, що стійкість до корозії металу зон шва та термомеханічного впливу вище, порівняно з основним металом, що допускає використання методу конвекційного зварювання тертям спечених титанових сплавів для експлуатації в хімічно-активних середовищах.

У п'ятому розділі наведено результати промислової апробації розробленої технології одержання виробів із спеченого титану. Апробацію проводили на ДП «ДНДП Інститут титану», ДП «Кремнійполімер», ТОВ «Запорізький титаномагнієвий комбінат», ТОВ «Авіа-Січ».

На ТОВ «Авіа-Січ» була здійснена заміна литих і кованих запорних кранів, що застосовуються для роботи в агресивних середовищах, на спечені з порошків титану марки ПТ. Дані крани пройшли апробацію також на ТОВ «Запорізький титаномагнієвий комбінат».

Для мулових насосів 28/2 Запорізького державного підприємства «Кремнійполімер» розроблена технологія виготовлення втулок методом порошкової металургії.

Випробування, що було виконано в ДП «ДНДП Інститут титану» показали, що корозійна стійкість матеріалу, яка отримана за розробленою автором технологією, майже не поступається деформованому сплаву VT1-0, що використовувався раніше. Рекомендовано використання та впровадження розробленої технології для виготовлення довгомірних напівфабрикатів і деталей невеликих розмірів.

Наукова новизна отриманих результатів.

В дисертаційній роботі проведено комплекс теоретичних і прикладних досліджень процесів структуроутворення при спіканні порошкових матеріалів титану марки VT1-0 та зварюванні спеченого титану різними способами. Сукупність отриманих автором результатів роботи можна класифікувати, як вирішення важливої науково-практичної задачі, що має вагоме економічне значення.

1. Вперше встановлено закономірності формування структури з'єднань спеченого титану, що отримані методами зварювання тиском: контактним стиковим оплавленням, конвекційним тертям і тертям перемішуванням.

2. Вперше встановлено вплив структури зварних з'єднань порошкового титану, що отримані конвекційним зварюванням тертям, на опір корозійним процесам в водних розчинах неорганічних кислот.

3. Дістало подальшого розвитку уявлення про вплив фракційного складу вихідних порошків титану на формування структури, в тому числі пористості, а також на рівень механічних властивостей спеченого титану.

4. Розширено уявлення про розподіл газових домішок азоту і кисню в структурних складових зварних з'єднань спеченого титану при зварюванні контактним стиковим оплавленням та конвекційним тертям в повітряній атмосфері.

Практичне значення.

1. Розроблено ресурсозберігаючу технологічну схему «порошкова металургія – зварювання» для отримання виробів складної конфігурації зі спеченого титану на основі сировинної та промислової баз підприємств України. Для даної технології визначені оптимальні тиск пресування і розмір фракції титанового порошку марки ПТ (ТУ У 14-10-026-98), що забезпечують формування щільної структури заготовок із твердістю і границею міцності на рівні вимог, близьких до титану марки ВТ1-0 в литому стані.

2. Виконано порівняльний аналіз трьох способів зварювання порошкових виробів з титану: контактним стиковим оплавленням, тертям конвекційним і тертям перемішуванням. Встановлено, що з технологічної та економічної точок зору оптимальним є конвекційне зварювання тертям.

3. Визначено режими конвекційного зварювання тертям, що забезпечують рівномірність зварного з'єднання при мінімальній осадці. Отримані результати розширюють галузі використання виробів і напівфабрикатів з титану, в тому, числі в агресивних середовищах.

4. За розробленою технологічною схемою методом порошкової металургії і конвекційного зварювання тертям одержані дискові та кульові крани, деталі насосів і пруткові заготовки діаметром до 38 мм і довжиною до 700 мм. Промислова апробація розробленої технології показала її високу технологічну і економічну ефективність, що підтверджено відповідними актами.

Повнота викладу основних результатів дисертаційної роботи в наукових публікаціях.

Основні наукові результати дисертаційної роботи Капустян О.Є. пройшли апробацію на 9 науково-технічних конференціях, у тому числі 8 міжнародних. Матеріали дисертаційної роботи опубліковано у 17 друкованих роботах, в тому числі: 6 статтях у спеціалізованих фахових виданнях ВАК України, у 4-х фахових збірниках наукових праць, з яких 4 входять до наукометричних баз даних, а також в 6 матеріалах і тезах конференцій, та отримано 1 патент України на корисну модель.

Публікації в достатній мірі відображають основні положення дисертації. Кількість та якість публікацій відповідає вимогам, які пред'являють до дисертацій на здобуття наукового ступеню кандидата технічних наук.

Автореферат дисертації містить всю необхідну інформацію для оцінки дисертації, цілком ідентичний роботі, включає основні наукові положення, висновки і рекомендації, які приведені у дисертації.

Основні зауваження до дисертації.

1. Автором було використано три способи зварювання спеченого

титану. Не зовсім зрозуміло критерій відбору цих способів зварювання. Можливо доцільно було використати у роботі дифузійне зварювання. Якщо спільним було використання різних способів зварювання тиском, тоді навіщо було застосовувати зварювання тертям перемішуванням?

2. Автор вказує, що «дослідження стикового зварювання оплавленням і тертям конвекційного проводили на спечених заготовках діаметром 10-12 мм, зварювання тертям перемішуванням - на заготовках у вигляді пластин товщиною 2 мм». Мені зрозуміло, що у автора не було відповідного твердосплавного піна інструменту для проведення зварювання тертям перемішуванням спеченого титану на повну глибину заготовки, тому він використав у роботі «пластини товщиною 2 мм». У цих умовах, на мою думку, буде не досить правильно порівнювати структуру та властивості зварних з'єднань.

3. Автор на підставі проведеного мікрорентгеноспектрального якісного аналізу по розподілу «домішкових елементів азоту та кисню для стикового зварювання оплавленням і конвекційного зварювання тертям» робить висновок, що «ці способи зварювання, які виконували без захисного середовища, не призводили до насичення зварного шва і зони термомеханічного впливу газами з навколишньої атмосфери». Метод мікрорентгеноспектрального аналізу не здатен достатньо точно визначити склад азоту та кисню у твердому розчині при їх концентраціях нижче 0,1 %. На мою думку, для точного визначення рівня азоту та кисню потрібно було використати метод газового аналізу.

4. Традиційно для зварювання титану та титанових сплавів застосовують електронно-променево та аргоно-дугове зварювання. Перш за все це пов'язано з необхідністю захисту зварного з'єднання від окислення. Разом з тим у роботі автор при обраних способах зварювання зовсім не захищає зварне з'єднання від окислення. Чому?

5. На жаль у роботі не було визначено термічні цикли спікання та зварювання на підставі яких можливо було визначити максимальні температури нагріву та встановити швидкості охолодження при твердофазних способах зварювання. Це надало би можливість визначити спроможність формування мало пластичних гартівних фаз титану.

6. У роботі було досліджено однофазний спечений титан марки VT1-0. На жаль, автором ніде не проаналізовано можливість використання розробленої їм технології «порошкова металургія + зварювання» для виготовлення виробів з багатофазних порошків титану або його сплавів. Тобто, які основні проблеми слід очікувати?

Висновки щодо відповідності дисертації вимогам Міністерства освіти та науки України.

Основні наукові положення, які приведені у дисертаційній роботі, висновки і рекомендації є обґрунтованими, оскільки базуються на теоретичному аналізі та результатах виконаних лабораторних та промислових експериментів. Отримані

результати і рекомендації характеризуються новизною, виконані експерименти – оригінальністю підходу.

Дисертаційна робота КАПУСТЯН Олексія Євгеновича є завершеною науковою працею, в якій отримано нові науково обгрунтовані результати, що сприяють вирішенню актуальної задачі підвищення механічних і службових властивостей зварних з'єднань спеченого конструкційного титану.

Вважаю, що рецензована дисертаційна робота за своєю вагомістю, новизною наукових результатів, їх практичним значенням, кількістю та обсягом публікацій відповідає вимогам п. п. 9, 11 «Порядку присудження наукових ступенів...» щодо кандидатських дисертацій, а автор дисертаційної роботи – КАПУСТЯН Олексій Євгенович заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – Матеріалознавство.

Офіційний опонент
Провідний науковий співробітник
відділу Фізико-хімічних досліджень матеріалів
ІЕЗ ім. Є.О. Патона
доктор технічних наук


В.А. Костін

Підпис д.т.н. Костіна В.А. засвідчую:
Вчений секретар ІЕЗ ім. Е.О. Патона


І.М. Клочков



8x N 32 sig 31.01.2019p