

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

КАПУСТЯН Олексій Євгенович



УДК: 669.295: 621.762

ПІДВИЩЕННЯ МЕХАНІЧНИХ І СЛУЖБОВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ
ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ СПЕЧЕНОГО КОНСТРУКЦІЙНОГО ТИТАНУ

05.02.01 - Матеріалознавство

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата
технічних наук

Запоріжжя – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Запорізькому національному технічному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор **Овчинников Олександр Володимирович**, Запорізький національний технічний університет, завідувач кафедри «Обладнання та технологія зварювального виробництва», директор НДЦ «Титан Запоріжжя»

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, старший науковий співробітник **Костін Валерій Анатолійович**, Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, провідний науковий співробітник відділу фізико-хімічних досліджень матеріалів

доктор технічних наук, професор **Дурягіна Зоя Антонівна**, Національний університет «Львівська політехніка» МОНУ, завідувач кафедри «Прикладне матеріалознавство та обробка матеріалів»

Захист відбудеться «12» лютого 2019 р. о 15-30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д17.052.01 у Запорізькому національному технічному університеті за адресою: 69063, м. Запоріжжя, вул. Жуковського, 64, ауд. 153.

Із дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Запорізького національного технічного університету за адресою: 69063, м. Запоріжжя, вул. Жуковського, 64, та на сайті університету у розділі «Наука» - «Спеціалізована вчена рада».

Автореферат розісланий « 28 » грудня_ 2018 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
доктор технічних наук, професор



О.А. Мітяєв

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. На сьогоднішній день в Україні титан як конструкційний матеріал знаходить широке застосування в хімічній, нафтовій, авіаційній та інших галузях промисловості. У хімічній промисловості застосування титану забезпечує істотне підвищення ресурсу обладнання завдяки поєднанню високої міцності й корозійної стійкості.

Основний об'єм титану та його сплавів виробляється з титану губчастого, який отримують магнієтермічним способом. За традиційними технологіями для одержання зливок титану потрібної чистоти з титану губчастого виготовляють брикети, витратні електроди та здійснюють їх переплав (іноді подвійний чи потрійний) у вакуумних дугових і електронно-променевих печах. Одержані такими методами зливки титану діаметром 350...500 мм та вагою до 10 т використовують для подальшого виробництва різного типу продукції методами обробки металів тиском та лиття.

Частина титанової губки подрібнюється з метою виробництва порошків для потреб порошкової металургії (ПМ). Дослідження Гегузін Я.Є., Гича Г.А., Івасишина О.М., Дрозденко В.А., Кипарисова С.С., Коржова В.П., Олесова Ю.Г., Павлова В.А., Павлова В.В., Устинова В.С., Amigo V., Eriksson M., Hadeo N., Simchi A. та ін. показали, що методи ПМ не потребують витратних, технічно складних вакуумних переплавів і деформаційних обробок отриманих пресовок та забезпечують коефіцієнт використання матеріалу (КВМ) до 0,96 в порівнянні з 0,20...0,75 для технологій, що традиційно застосовуються. За рівнем механічних і службових властивостей виготовлені методом ПМ вироби близькі до рівня властивостей литих виробів та несуттєво поступаються деформованим.

Однак виготовлення виробів складної геометричної форми та значних розмірів потребує складної за конструкцією пресової оснастки та потужного обладнання. Розв'язання зазначеної задачі може полягати в розробці комплексної технології, яка об'єднує процеси порошкової металургії та зварювання. Відомо, що титан та його сплави мають добру зварюваність. Однак, пори і несуттєвості в структурі спечених заготовок можуть негативно впливати на процес зварювання і механічні властивості зварних з'єднань. Це обумовлює необхідність вирішення матеріалознавчих задач, проведення досліджень технологічних факторів, методів і процесів порошкової металургії та зварювання, спрямованих на формування структури, яка забезпечує необхідний рівень механічних і службових властивостей виробів з титану.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Основні етапи дисертаційної роботи виконані відповідно з планами науково-дослідних робіт Запорізького національного технічного університету (ЗНТУ)

за темами:

– ДБ 01115 «Розробка та дослідження ресурсозберігаючих технологій виготовлення відповідальних деталей авіаційних двигунів із титанових сплавів» (№ держреєстрації 0115U002239, 2015-2016 р.);

– Г/Д № 2115 «Розробка технологій виготовлення та ремонту деталей ГТД адитивними методами нарощування із застосуванням ресурсозберігаючих і імпортозамінних порошків титанових сплавів вітчизняного виробництва, що забезпечують необхідні механічні властивості» (№ держреєстрації 0115U003863, 2015 р.);

– Г/Д № 2124 «Проведення комплексу конструкторсько-технологічних досліджень для виробництва лопаток ГТД з титанових сплавів на основі методів порошкової металургії і інтенсивної пластичної деформації» (№ держреєстрації 0114U007353, 2015-2017 р.).

Мета і задачі досліджень. Мета роботи – підвищення механічних і службових властивостей зварних з'єднань спеченого титану в виробках складної конфігурації, отриманих за комплексною технологією і призначених для роботи в агресивних середовищах.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні задачі:

– визначити фракційний склад порошків і режими пресування, які забезпечують необхідний рівень механічних й службових властивостей спечених заготовок;

– визначити засоби підвищення механічних і службових властивостей виробів з титану, отриманих методом порошкової металургії і зварювання;

– дослідити вплив способів зварювання тиском на структуру і механічні властивості зварних з'єднань виробів з порошків титану;

– дослідити корозійну стійкість і електрохімічні характеристики зварних з'єднань виробів із порошків титану;

– провести випробування отриманих виробів у промислових умовах;

– розробити технологічні рекомендації для впровадження результатів досліджень у промисловість.

Об'єкт досліджень – процеси структуроутворення в зварному шві, зонах термічного і термомеханічного впливу у виробках з порошків титану.

Предмет досліджень – закономірності впливу структури на механічні властивості та корозійну стійкість зварних з'єднань титанових виробів, отриманих методом порошкової металургії.

Методи досліджень. Визначення хімічного складу порошків титану і отриманих з нього виробів здійснювали рентгеноспектральним і хімічним методами, структуру – енергодисперсійним рентгеноспектральним аналізом. Металографічні дослідження структури і зламів проводили з використанням оптичного та растрового електронного мікроскопів. Механічні властивості

визначали за стандартними методиками при статичних і ударних навантаженнях. Корозійну стійкість досліджували масовим методом з оцінкою швидкості корозії в 20 % HCl і 40 % H₂SO₄. Електрохімічне випробування здійснювали з використанням потенціостата IPC-Pro в потенціодинамічному режимі. Дослідження виконували у відповідності з діючими стандартами на приладах і обладнанні, які пройшли метрологічний контроль. Обробку статистичних даних виконували регресійно-кореляційним методом.

Наукова новизна отриманих результатів.

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

Встановлено загальні закономірності, які полягали в позитивному впливу означених способів зварювання на структуру зварного шва та зони термомеханічного впливу, а саме зменшення розміру та частки пор. У зварних швах об'ємна частка залишкових пор складала 0,5...1,0 %, а їх розмір не перевищував 3 мкм, в зоні термомеханічного впливу – 1...5 % та 10...20 мкм, в основному металі - до 15 % та 62 мкм відповідно, що пояснюється механізмом «заліковування» пор.

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

Потенціал корозії зони зварного шву в порівнянні з потенціалом корозії основного металу мав більш позитивні значення (- 0,270 В проти - 0,365 В і - 0,196 В проти - 0,416 В), а щільність струму корозії знижувалась (0,162 А/м² проти 0,207 А/м² і 0,77 А/м² проти 0,151 А/м²) відповідно у 20 % HCl і 40 % H₂SO₄, завдяки формуванню однорідної структури і суттєвому підвищенню густини зварного шву.

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.

Встановлено, що оптимальною є фракція порошку -0,55+0,1 мм, яка забезпечила отримання пористості не більше 7 % із розміром пор до 62 мкм, твердості HB > 130 і границі міцності $\sigma_B \geq 345$ МПа.

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. Встановлено, що при зварюванні на технологічних режимах не відбувається газонасичення металу шва і

колошовної зони більше основного металу.

Мікрорентгеноспектральним енергодисперсійним якісним та кількісним аналізами доведено, що в означених видах зварювання, завдяки витисканню металу в ґрат, не відбувається насичення зварного з'єднання газовими домішками. Це дозволило отримати у зварних з'єднаннях вміст газу на рівні основного металу: $O_2 \leq 0,18 \%$, $N_2 \leq 0,035 \%$.

Практичне значення отриманих результатів.

1. Розроблена ресурсозберігаюча технологічна схема «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 фракції титанового порошку марки ПТ (ТУ 14-10-026-98), які забезпечують формування щільної структури заготовок із твердістю та границею міцності на рівні вимог, що близькі до титану марки ВТ1-0 в литому стані.

2. За розробленою технологічною схемою методом порошкової металургії і конвекційного зварювання тертям виготовлено дискові та шарові крани, деталі насосів і пруткові заготовки діаметром до 38 мм і довжиною до 700 мм. Промислова апробація розробленої технологічної схеми показала її високу технологічну і економічну ефективність, що підтверджено відповідними актами:

–працездатність дискових і кульових кранів DN15 і DN20 підтверджена в експлуатації на ТОВ «Авіа-Січ» і ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат» з очікуваним річним економічним ефектом 217000 грн;

–для ДП «Кремнійполімер» виготовлена втулка методом порошкової металургії і зварена з титановим кільцем валу мулового насоса марки 28/2. Нова технологія рекомендована до впровадження;

–на ДП «ДНДП Інститут титану» напівфабрикати з порошків титану випробовувались в агресивних середовищах HNO_3 , H_2SO_4 , HCl . Технологія рекомендована до впровадження. Розроблено рекомендації до внесення змін в ТУ У 27.4-00201081-001-2003 «Елементи фільтруючі з титану»;

–результати досліджень використовуються в навчальному процесі на кафедрі обладнання і технології зварювального виробництва ЗНТУ в лекційних курсах, при виконанні студентами лабораторних, практичних, курсових та магістерських робіт.

Особистий внесок здобувача. У дисертаційній роботі основні положення, наукові результати та висновки отримані і сформульовані автором самостійно. Аналіз результатів досліджень та визначення закономірностей впливу фракції порошків і тиску пресування на структуру і властивості спеченого сплаву проводився безпосередньо автором цієї роботи. Здобувач сформулював і обґрунтував методологію проведення експериментів, які виконані за його участю.

Особистий внесок дисертанта в спільних публікаціях: аналіз актуальності проблеми і постановка задач досліджень [6, 12, 16]; теоретичні та експериментальні дослідження впливу структури на закономірності руйнування спеченого титану [8-10], його зварних з'єднань [3-5, 7, 15, 16]; визначення ефективності запропонованого методу виготовлення виробів з порошків титану [2, 11-14, 17]; аналіз впливу режимів пресування на пористість спечених титанових виробів [10].

Апробація результатів дисертації. Основні висновки та результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на: X Міжнародній науково-технічній конференції «Прогресивні технології життєвого циклу авіаційних двигунів і енергетичних установок» (2013, м. Алушта); XII, XIV Міжнародній науково-технічній конференції «Стародубовські читання» (2012, 2014, м. Дніпропетровськ); XXI-міжнародному конгресі двигунобудівників (2016, м. Коблево); IV міжнародній науково-практичній конференції «Титан-2016: Производство и применение в авиационной промышленности» (2016, м. Запоріжжя); Науково-практичній конференції «Тиждень науки» (2017, м. Запоріжжя); IV Міжнародній конференції «Высококачественные материалы: получение, применение, свойства» (2017, м. Харків); XX Міжнародній молодіжній науково-практичній конференції «Людина і космос» (2018, м. Дніпро); Міжнародній конференції «Титан 2018: производство та використання в Україні» (2018, м. Київ).

Публікації. Основні результати роботи знайшли відображення в 17 публікаціях, з них: 6 – у фахових наукових журналах, 4 – у фахових збірниках наукових праць, з яких 4 входять до наукометричних баз даних, а також в 6 матеріалах і тезах конференцій; отримано 1 патент України на корисну модель.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотацій, вступу, п'яти розділів, висновків, містить список використаних джерел та додатки. Загальний обсяг дисертації становить 161 сторінку, з них 120 сторінок основного тексту, 16 таблиць, 43 рисунки, списку використаних джерел із 178 найменувань на 21 сторінці та 6 додатків на 13 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі визначено актуальність дисертаційної роботи, сформульовані мета і завдання досліджень, наукова новизна і практичне значення отриманих результатів із зазначенням особистого внеску автора.

У першому розділі проаналізовано основні властивості титану і вимоги до сплавів, які використовуються в хімічній промисловості. Проведено аналіз переваг і недоліків технологій виготовлення деталей. Доведено, що деталі складної конфігурації для металургійної та хімічної

промисловості доцільно отримувати методом ПМ із застосуванням зварювання.

Проведено аналіз методів зварювання та їх впливу на матеріал деталей. Показано, що найбільш перспективними серед методів зварювання порошкових виробів з титану, можуть бути: стикове оплавленням, конвекційне тертям, тертям перемішуванням.

Огляд сучасних публікацій дозволив встановити, що найбільш поширені дані стосуються зварювання тертям деталей з однофазних титанових сплавів, що отримані методами лиття та деформаційної обробки тиском. Структура та властивості сплавів, що отримані методом ПМ, багато в чому залежать від технології виробництва, а саме від тиску при пресуванні, фракції порошку, технології зварювання та ін. Це вимагає проведення досліджень щодо впливу структури спеченого титану на зварюваність та якість зварних з'єднань.

У даному розділі показано актуальність, сформульовано мету і матеріалознавчі задачі роботи, визначено основні напрямки досліджень.

У другому розділі обґрунтовано вибір методик і устаткування, які застосовувалися в процесі виконання роботи.

Для виготовлення спечених виробів в якості шихтового матеріалу використовували порошок титану марки ПТ різного фракційного складу виробництва ДП «Державного науково-дослідного і проектного інституту титану». Зразки для проведення випробувань механічних властивостей та досліджень структури отримували шляхом формоутворення механічним одностороннім холодним пресуванням в сталевих прес-формах з подальшим твердофазним спіканням та механічним обробленням до потрібних розмірів.

Зварні з'єднання отримували без застосування захисного середовища на рекомендованих для сплавів титану режимах, що отримані за традиційними технологіями: контактним стиковим зварюванням оплавленням, конвекційним зварюванням тертям та зварюванням тертям перемішуванням.

Дослідження стикового зварювання оплавленням і конвекційного тертям проводили на спечених заготовках діаметром 10...12 мм, зварювання тертям перемішуванням – на заготовках у вигляді пластин товщиною 2 мм.

Хімічний склад зразків визначали спектральним методом згідно ГОСТ 19863.1-91...ГОСТ 19863.14-91 з використанням приладу «SPECTROMAX». Вміст азоту і кисню визначали відповідно до ОСТ 190013, за допомогою газоаналізатора моделі ON900 фірми «ELTRA». Розподіл хімічних елементів вивчали за допомогою електронного мікроскопу JSM-6360LA з приладдям для енергодисперсійного аналізу JED 2200.

Структуру зварних з'єднань зразків досліджували із застосуванням мікроскопу «Observer.D1m» фірми CARL ZEISS. Поверхні руйнування

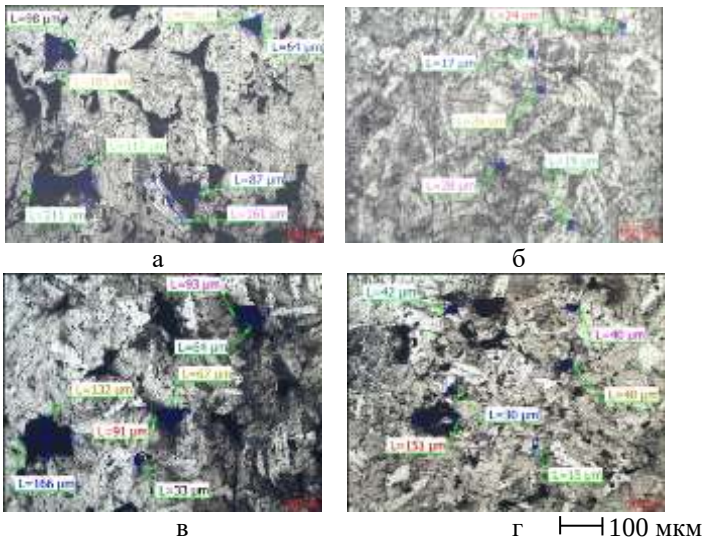
досліджували на мікроскопі МСП-2 фірми «ЛОМО». Оцінку пористості спечених зразків проводили згідно ГОСТ 1778-70, ГОСТ 15139-69.

Механічні властивості основного металу та зварних з'єднань визначали за ГОСТ 1497-84 та ГОСТ 6996-66 відповідно на машині INSTRON-8801. Мікротвердість вимірювали згідно ГОСТ 9450-76 на приладі PMT-3. Корозійну стійкість досліджували масовим методом (ГОСТ 9.907-83) у 20 % HCl (ГОСТ 3118-77) та 40 % H₂SO₄ (ГОСТ 4204-77) розчинах.

Обробку статистичних даних виконували регресійно-кореляційним методом.

У третьому розділі наведено результати досліджень впливу фракції порошку і тиску пресування на параметри пор і властивості спечених заготовок. Відповідно до плану експерименту було виготовлено 28 варіантів зразків: чотири фракції порошків титану спресовано кожна під тиском 300, 400, 500, 600, 700, 800 і 900 МПа. Зі спечених заготовок вирізали зразки для металографічного аналізу (рис. 1), визначення розміру та об'ємної частки пор (рис. 2) і механічних випробувань.

В зразках, спресованих під тиском 300 і 400 МПа, мало місце осипання нижньої кромки внаслідок непропресованості.

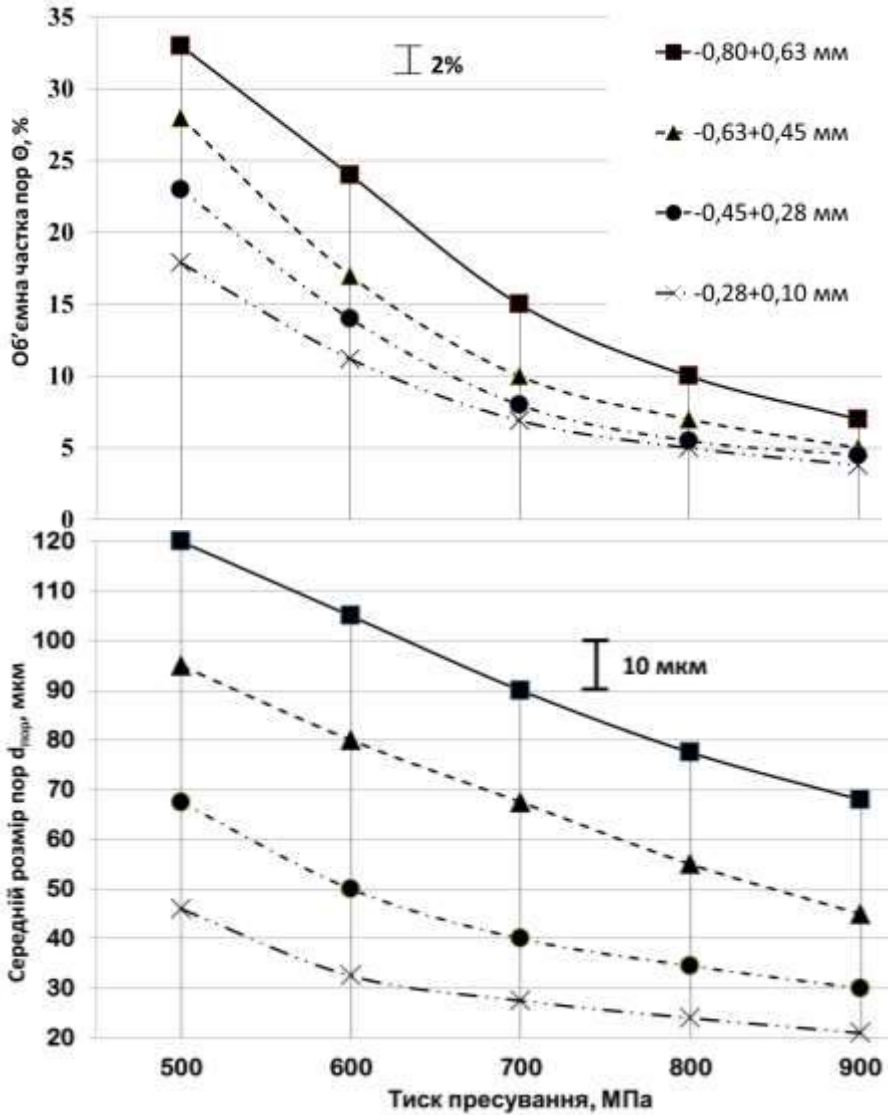


а – -0,63+0,45 мм, 500 МПа; б – -0,63+0,45 мм, 900 МПа;

в – -0,63+0,45 мм, 700 МПа; г – -0,80+0,63 мм, 900 МПа;

L – найбільший лінійний розмір пори

Рисунок 1 - Мікроструктури спечених заготовок



┘ - похибка вимірювання

Рисунок 2 - Залежність об'ємної долі пор Θ та їх середнього розміру $d_{\text{пор}}$ в спечених зразках від фракцій порошку і тиску пресування

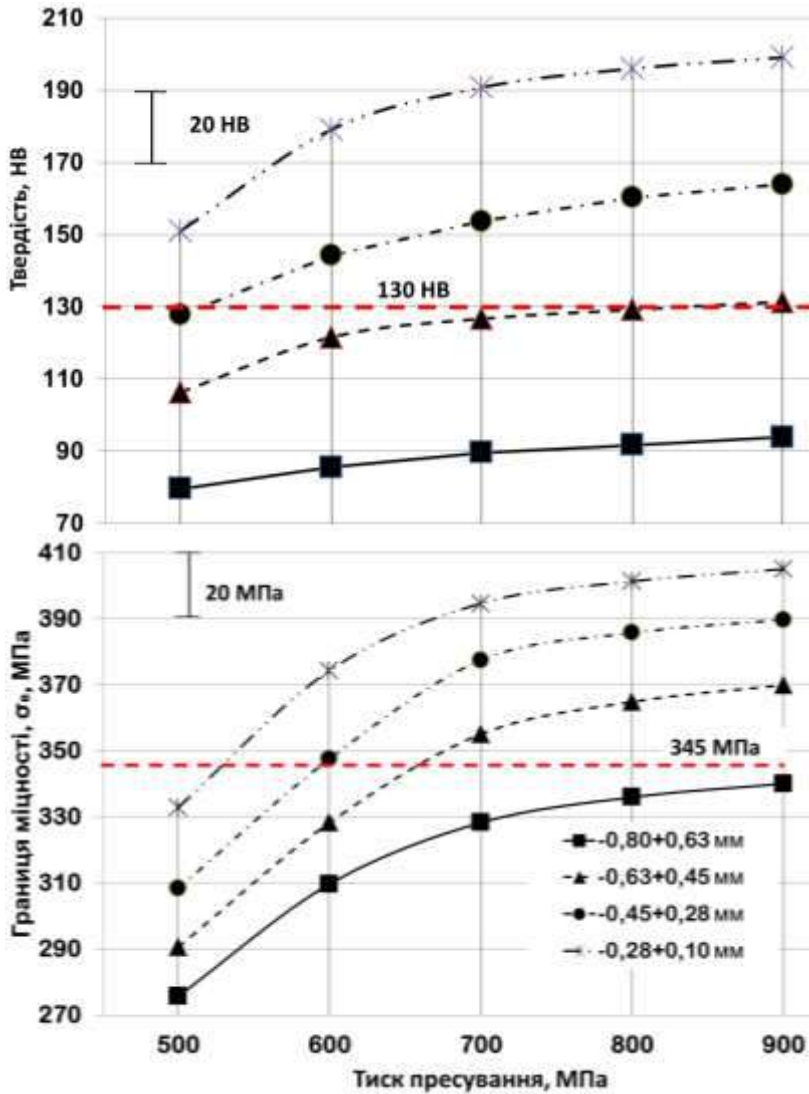
Встановлено, що хімічний склад зразків із спеченого титану був аналогічний хімічному складу технічного титану ВТ1-0. Пори в спечених пресовках мали різноманітну конфігурацію, їх частка і середні розміри зменшувались відповідно з 33 % до 3,8 % та з 120 мкм до 21 мкм відповідно зі зменшенням фракції порошку й зі збільшенням тиску пресування (див. рис. 2).

Отримані результати показують, що зі збільшенням розміру частинок порошку для спечених зразків об'ємна частка пор при однаковому тиску пресування підвищувалась. Найбільша пористість відповідала фракційному складу з найбільшим розміром порошку ($-0,80+0,63$ мм) і найменшому тиску пресування заготовки (500 МПа). Збільшення тиску пресування з 500 МПа до 900 МПа призводило до зниження об'ємної пористості заготовок. Зі зменшенням фракції порошку при тиску 500 МПа зниження об'ємної пористості заготовок становило в середньому 5 % незалежно від розміру порошків, при тиску 600 МПа – в середньому 3 %, при тиску 700...900 МПа для фракцій порошку менше 0,63 мм - не більше 2 % (див. рис. 2). Зниження об'ємної частки пор і їх розмірів зі зменшенням крупності порошку можна пояснити тим, що дрібніший порошок при пресуванні укладається більш компактно, тому утворюються більш дрібні пори, які легше заліковуються в процесі спікання.

В цілому, зменшення розміру частинок порошків в досліджуваних межах призводило до підвищення твердості до двох разів, границі міцності і відносного подовження на 15...20 % при тисках пресування – 700...900 МПа (рис. 3) за рахунок збільшення питомої поверхні порошків і, відповідно, довжини границь зерен у металі зразку.

Порівняльний аналіз (табл. 1) показує, що дослідні спечені зразки мають рівень основних механічних властивостей, близький до рівня властивостей литого і деформованого титану марки ВТ1-0 (див. рис. 3). Однак, показники пластичності (відносне подовження та звуження) спеченої заготовки нижче, ніж у заготовок, отриманих за традиційними технологіями, тому, що пори є концентраторами напружень і можуть бути ініціаторами зародження тріщин. Тому дослідні спечені сплави титана доцільно застосовувати в якості конструкційного матеріалу для умов незначних навантажень.

Аналіз характеру руйнування при статичних навантаженнях показав, що вплив пор на руйнування неоднозначний. Так, в зразках, в яких середній розмір пор становив 27,5 мкм, тріщини ініціювалися з пор в 10...15 % випадків, в зразках з порами 40 мкм – в 37...42 % випадків, в зразках з порами понад 67,5 мкм – в 76...85 % випадків.



┘ - похибка вимірювання;

----- - нижня границя механічних властивостей технічного титану, що отриманий за традиційними технологіями

Рисунок 3 - Залежність механічних властивостей спечених зразків від фракцій порошку і тиску пресування

Основними факторами негативного впливу пор на механічні властивості є: зниження площі поперечного перерізу та дія пор як концентраторів напружень (центрів зародження тріщин). Останній механізм багато в чому залежить від розміру, геометрії пор, їх частки і рівномірності розподілу.

Таблиця 1 - Основні механічні властивості заготовок із технічного титану марки ВТ1-0, що отриманий за різними технологіями

Технологія виготовлення	Стан зразку	σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	KCU, Дж/см ²	НВ
Обробка тиском	гарячекатаний відпалений, ГОСТ 26492-85	≥ 345	–	≥ 15	≥ 40	≥ 70	–
Лиття	литий	≥ 343	≥ 294	≥ 10	≥ 20	≥ 49	≥ 131
Порошкова металургія	спечений	345...400	306...344	7...8	14...19	88...108	131...199

У четвертому розділі наведено результати досліджень впливу різних способів зварювання спеченого титану марки ВТ1-0 на структуру, механічні властивості та корозійну стійкість їх зварних з'єднань. Зварювання проводили трьома способами.

При зварюванні оплавленням ширина зварного шва знаходилась в межах 0,3...2,5 мм, зони термомеханічного впливу – 12...15 мм. При цьому в структурі зони термомеханічного впливу були наявні первинні зерна β -фази розмірами до 200 мкм. Така структура характерна для зварних з'єднань литих титанових сплавів. Мікроструктура зони термомеханічного впливу зварного з'єднання мала тонкопластинчасту будову, складалася з паралельних пластин α -фази. Аналогічною, але більш грубопластинчастою будовою характеризувався шов. У металі шва об'ємна частка пор дорівнювала 0,5...1,0 %, а їх розмір не перевищував 2 мкм. В зоні термомеханічного впливу пори мали поодинокий характер, розміри - до 10 мкм і розташовувалися переважно на межах пластин α -фази (рис. 4 а), об'ємна частка пор складала 1...4 %.

При конвекційному зварюванні тертям встановлено, що ширина зварного шва знаходилась в межах 0,08...1,25 мм, зони термомеханічного впливу – 2,0...2,5 мм. У металі шва об'ємна частка пор складала 0,5...1,0 %, а їх розмір не перевищував 3 мкм. Мікроструктура шва складалася з фрагментів зерен α -фази, розмірами до 5 мкм, з нечітко вираженими межами розділу, які утворилися внаслідок інтенсивної деформації металу. Зона термомеханічного впливу являла собою тонкопластинчасту структуру і складалася з радіально орієнтованих пластин α -фази шириною до 3 мкм і довжиною до 150 мкм, по

межах яких розташовувалися пори розмірами 2×15 мкм. Об'ємна частка пор складала 1...4 % (рис. 4 б).



структура зони термомеханічного впливу



структура зварного шва

— 20 мкм

а

б

в

а - контактне стикове зварювання оплавленням; б - конвекційне зварювання тертям; в - зварювання тертям перемішуванням

Рисунок 4 - Структура зварних зразків із спеченого титану марки BT1-0

При зварюванні тертям перемішуванням ширина зварного шву становила близько 20 мм, зони термомеханічного впливу – 2,5...4,1 мм. Поверхня шва нерівна з найбільшою висотою нерівностей профілю до 500 мкм, які виникли через вплив зварювального інструменту. У верхній частині шва були наявні поодинокі тріщини довжиною до 900 мкм, спрямовані нормально до поверхні зварених заготовок, голчасті пластини α -фази, орієнтовані в напрямку обертання інструменту шириною до 3 мкм і довжиною до 10 мкм, по межах яких розташовувалися видовжені пори розмірами до 3×10 мкм. Зона термомеханічного впливу мала тонкопластинчасту структуру і складалася з радіально орієнтованих пластин α -фази шириною до 3 мкм і довжиною до 50 мкм, по межах яких розташовувалися пори округлої і серповидної форми розміром до 20 мкм (рис. 4 в), об'ємна частка пор дорівнювала 1...5 %.

Таким чином, аналіз результатів металографічних досліджень дозволив встановити, що в зоні термомеханічного впливу середній розмір

пор був менше у 2...4 рази, ніж в основному металі. У зварному шві залишкові пори мали у 50...60 разів менші розміри, ніж в основному металі, а їх об'ємна частка зменшилася в 5...8 разів. Це свідчить про часткове або повне «заліковування» пор під дією інтенсивної деформації і температури.

Мікрорентгеноспектральний якісний аналіз дозволив встановити, що характер розподілу основних домішкових елементів (азоту і кисню) для стикового зварювання оплавленням і конвекційного зварювання тертям був практично однаковим у зварному стикі і основному металі. За даними МРСА при зварюванні тертям перемішуванням вміст кисню та азоту в зварному шві і зонах термомеханічного впливу був в 1,2...1,3 рази вищим у порівнянні з попередніми видами зварювання і нерівномірним – з явними концентраційними сплесками, що свідчить про існування оксидів і нітридів.

Встановлено, що величини границі міцності зони шва при стиковому і конвекційному способах зварювання в середньому на 18 % і 25 % відповідно перевищували границю міцності вихідних спечених заготовок. Це можна пояснити формуванням в зоні стикі більш щільного металу, його дисперсною мікроструктурою. Значення границі міцності зварного шва, отриманого конвекційним зварюванням, було на 12 % вище в порівнянні зі стиковим зварюванням оплавленням (табл. 2), що обумовлено наявністю радіальної складової навантаження, котра дозволила підсилити подрібнення структурних складових. При зварюванні тертям перемішуванням міцність зварного з'єднання виявилася майже в 2 рази нижчою в порівнянні з міцністю двох попередніх способів зварювання внаслідок наявності тріщин та насичення зварного шва оксидами, які були втілені інструментом з поверхні зразка.

Таблиця 2 – Механічні властивості зварних зразків спеченого титану марки VT1-0

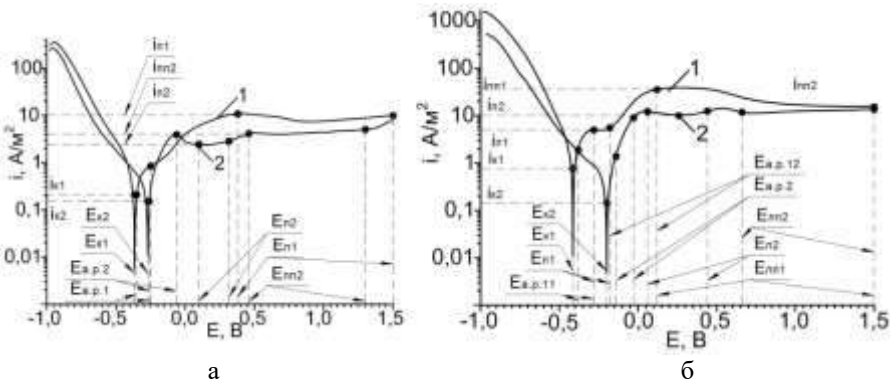
Спосіб зварювання	Механічні властивості			
	σ_b , МПа		δ , %	ψ , %
	основного металу	металу шва	основного металу*	
Контактне стикове оплавленням	367...380	409...437	6,4...7,1	15,2...16,5
Тертям конвекційне	365...380	432...460	6,4...7,1	15,4...16,3
Тертям перемішуванням	375...389	222...240	6,1...7,0	14,6...15,5

Примітка: * – пластичні властивості металу шва не визначаються

Результати досліджень показали, що найбільш сприятливий вплив на структуру, механічні властивості і розподіл домішкових елементів забезпечило конвекційне зварювання тертям. Тому подальші дослідження експлуатаційних характеристик і промислові випробування проводилися на

зразках, що були отримані з використанням цього способу зварювання.

Корозійні дослідження зварних з'єднань спеченого титану та їх взаємозв'язок з структурним станом матеріалу проводили з метою оцінки перспектив використання методу конвекційного зварювання тертям для виготовлення напівфабрикатів і виробів зі спеченого титану для експлуатації в агресивних середовищах. Вивчали вплив структури зварних з'єднань на кінетику анодного розчинення і кінетичні закономірності хімічного розчинення в агресивних середовищах типових для металургійної та хімічної галузей (20 % водному розчині HCl та 40 % водному розчині H₂SO₄) (рис. 5). В обох досліджуваних агресивних середовищах процеси пасивації та перепасивації зон шва та колошовної зони проходили за тими ж механізмами, що і в основному металі. Спостережуване ушляхетнення потенціалу корозії зони зварного стику (- 0,270 В проти - 0,365 В і - 0,196 В проти - 0,416 В), а також нижчі густини струму корозії і струмів анодного розчинення (0,162 А/м² проти 0,207 А/м² і 0,77 А/м² проти 0,151 А/м²), очевидно, були пов'язані з формуванням більш однорідної структури, суттєвим підвищенням густини компактованого матеріалу (зменшенням розмірів та частки пор) та відсутністю сегрегації домішок, що спостерігали металографічно.



а – 20 % HCl; б – 40 % H₂SO₄;

1 – основний метал; 2 – шов та колошовна зона

$E_{a.p.}$, E_k , E_p , E_{pp} - потенціал анодного розчинення, корозії, пасивації та перепасивації відповідно, В;

i_k , i_p , i_{pp} - густина струму корозії, пасивації та перепасивації відповідно, А/м².

Рисунок 5 - Поляризаційні криві спеченого титану марки BT1-0

Результати визначення опору корозії ваговим методом (табл. 3) зварного з'єднання спеченого титану показали кореляцію з електрохімічними

дослідженнями. Швидкість корозії у 20 % водному розчині HCl зон шва та колошовної зони у 1,5 рази менша, ніж основного металу. У 40 % водному розчині H_2SO_4 швидкості корозії як основного металу, так і шву та колошовної зони сумірні, проте з тенденцією до зменшення швидкості корозії останніх.

Швидкість корозії зразка зони основного металу у 12,6 рази нижча у 40 % водному розчині H_2SO_4 , ніж у 20 % водному розчині HCl , що пов'язано з більшою агресивністю останнього середовища. Для зразка зони шву та термомеханічного впливу цей показник нижчий і становить 8,6 разів.

Таблиця 3 - Корозійні характеристики спеченого титану марки ВТ1-0 у водних розчинах кислот

Середовище	$K_{\text{кор}}, \text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$	
	основний метал	шов та колошовна зона
20 % розчин HCl	12,138	7,952
40 % розчин H_2SO_4	0,967	0,921

Таким чином показано, що стійкість до корозії металу зон шву та колошовної зони вища порівняно з основним металом, це дозволяє використання методу конвекційного зварювання тертям для спечених титанових сплавів, для в хімічноактивних середовищ.

У п'ятому розділі наведено результати промислової апробації розробленої технології одержання виробів з титану. Виробництво порошкових заготовок для виготовлення запорних кранів, невеликих деталей і довгомірних заготовок є економічно доцільним у зв'язку з дефіцитом та високою вартістю матеріалів з титану і його сплавів, а також з більш високою вартістю виробництва цих виробів методами лиття та механічної обробки з деформованих напівфабрикатів.

На ТОВ «Авіа-Січ» була здійснена заміна литих і кованих запорних кранів, що застосовуються для роботи в агресивних середовищах, на спечені з порошків титану ПТ (ТУ 14-10-026-98), фракцією $-0,45+0,28$ мм. За новою технологічною схемою методом ПМ отримували трубчасті заготовки А, Б і В для запорного пристрою (рис. 6). Частина А приєднувалася до частини Б методом конвекційного зварювання тертям на наступних режимах: час зварювання 5 с; тиск при нагріванні і осадженні 20 МПа, частота обертання $23,83 \text{ с}^{-1}$. Аналогічним чином проводилося складання дискових кранів (див. рис. 6б).

Аналіз виробництва кранів методами лиття і механічної обробки показали їх високу матеріаломісткість і низький КВМ, відповідно 0,63 і 0,42 в порівнянні з 0,84 за запропонованою технологічною схемою. Згідно з висновком комісії, яка розглядала результати промислових випробувань на

ТОВ «Авіа-Січ», заготовки мали задовільну оброблюваність різанням на токарних і фрезерних верстатах, випробування при тиску 2,4 МПа показали повну герметичність кранів.

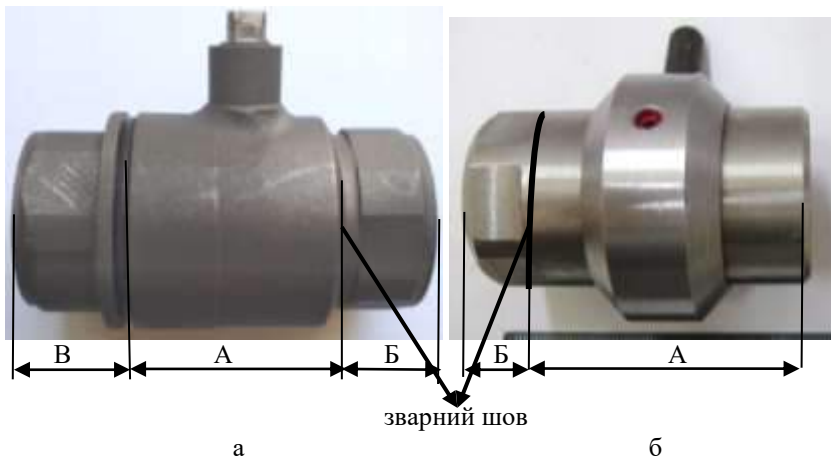


Рисунок 6 - Загальний вигляд кульового (а) і дискового (б) кранів

В ході проведення дослідно-промислових випробувань на ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат» на газоочисних спорудах цеху №7 в агресивному середовищі встановлено, що кран працював в штатному режимі протягом 1008 годин. Зварний корпус мав прояви корозії на рівні сплаву ВТ1-0.

Для Запорізького державного підприємства «Кремнійполімер» розроблена технологія виготовлення втулок мулових насосів марки 28/2 методом порошкової металургії, що забезпечило збільшення КВМ до 0,92.

Розроблена технологічна схема застосовувалася для виробництва циліндричних заготовок. Довгомірні напівфабрикати, які отримані методами ПМ та зварювання рекомендовані для заміни імпорتنих пруткових напівфабрикатів при виготовленні деталей невеликих розмірів. Випробування в ДП «ДНДП Інститут титану» показали, що корозійна стійкість матеріалу, який отримано за розробленою технологічною схемою, майже не поступається раніше застосованому деформованому сплаву ВТ1-0. Рекомендовано використання та впровадження розробленої технологічної схеми для виготовлення деталей і довгомірних напівфабрикатів.

ВИСНОВКИ

У дисертації представлені результати теоретичних і експериментальних досліджень, які спрямовані на вирішення актуального науково-прикладного матеріалознавчого завдання – підвищення механічних і службових властивостей зварних з'єднань спеченого титану для виробів складної конфігурації, що отримані за комплексною технологією та призначені для експлуатації в агресивних середовищах. Результати досліджень показали технічну та економічну доцільність виготовлення простих за конфігурацією виробів методом порошкової металургії з подальшим їх зварюванням для отримання запорних кранів, деталей насосів та ін.

1. Досліджено вплив фракційного складу порошків і тиску пресування на структуру, механічні властивості і характер руйнування спеченого титану. Методами кількісної оптичної та електронної мікроскопії встановлено, що при збільшенні тиску пресування з 500 МПа до 900 МПа і зменшенні розміру частинок порошку марок ПТ з 0,8 мм до 0,1 мм в спечених заготовках знижується об'ємна частка пор з 33,0 % до 3,8 % і їх середній розмір зі 120 мкм до 21 мкм, твердість і границя міцності підвищуються в 2 рази, відносно подовження на 15...20 %. Встановлено, що при фракції порошку менше 0,55 мм і тиску пресування 700...900 МПа, пористість спечених заготовок не перевищує 7 %, розмір пор 62 мкм, границя міцності перевищує 345 МПа і твердість HB > 130.

2. Досліджено вплив на структуру і механічні властивості зварних з'єднань спеченого титану трьох видів зварювання: стикового оплавленням, конвекційним тертям і тертям перемішуванням. Встановлено, що найменші розміри зони зварного з'єднання спостерігались при конвекційному зварюванні тертям: ширина шва в 2 рази менше, ніж при стиковому оплавленні і в 20 разів менше, ніж при терті перемішуванням; ширина зони термомеханічного впливу – менше в 4...7 і 2 рази відповідно, що можна пояснити особливостями технологічних процесів. При конвекційному зварюванні тертям і стиковому оплавленні розмір залишкових пор в зварних швах не перевищував 3 мкм, в зонах термомеханічного впливу – 5 мкм, внаслідок «заліковування» пор; розподіл домішкових елементів був рівномірним в об'ємі зварних з'єднань, а вміст знаходився на рівні: $O_2 \leq 0,18 \%$, $N_2 \leq 0,035 \%$.

3. Найбільш сприятливий вплив на механічні властивості мало конвекційне зварювання тертям. Цей вид зварювання забезпечував зменшення розміру та частки пор, подрібнення структурних складових і підвищення границі міцності шву до 30 % в порівнянні з вихідним матеріалом і до 12 % в порівнянні із стиковим зварюванням оплавленням, що

обумовлено наявністю радіальної складової навантаження, котра підсилювала процес формуванням дрібнозеренної та однорідної структури. Зварювання тертям перемішуванням не забезпечувало необхідний рівень механічних властивостей внаслідок наявності тріщин та насичення зварного шва оксидами, які були втілені інструментом з поверхні зразка.

4. Проведено дослідження впливу структури зварних з'єднань спеченого титану, що отримані конвекційним зварюванням тертям, на електрохімічну і загальну корозійну стійкість. Гравіметричним методом і електрохімічними дослідженнями встановлено, що корозійна стійкість металу зон шва і термомеханічного впливу зварного з'єднання вище в порівнянні з основним металом. Потенціал корозії зварного шву та колошовної зони в порівнянні з потенціалом корозії основного металу ушляхетнюється (- 0,270 В проти - 0,365 В і - 0,196 В проти - 0,416 В), а щільність струму корозії знижується (0,162 А/м² проти 0,207 А/м² і 0,77 А/м² проти 0,151 А/м²) відповідно в 20 % HCl і 40 % H₂SO₄. Дані зміни мають місце завдяки формуванню однорідної структури і суттєвого підвищення густини зварного шву та колошовної зони.

5. В результаті теоретичних і експериментальних досліджень отримані нові результати про вплив фракційного складу порошків, тиску пресування і способів зварювання на формування структури, характер руйнування, механічні і службові властивості спеченого конструкційного титану та його зварних з'єднань. Встановлені оптимальні режими, що гарантують формування структури, яка забезпечує максимальні рівні механічних і службових властивостей спеченого конструкційного титану та його зварних з'єднань. Доведена можливість застосування зварних з'єднань спеченого титану в агресивних середовищах взамін сплавів титану типу VT1-0, що отримані за традиційними технологіями лиття та деформування.

6. Розроблена нова ресурсозберігаюча технологічна схема отримання виробів складної конфігурації з порошку титану, яка базується на застосуванні методів порошкової металургії і подальшого зварювання. Розроблена схема, в порівнянні з технологією лиття, має більш високий KBM, виключає процеси вакуумних переплавлень титану, забезпечує стабільний склад і механічні властивості матеріалу і доцільна для використання при отриманні виробів для агресивних середовищ.

7. За розробленою технологічною схемою методом порошкової металургії і конвекційного зварювання тертям на промислових підприємствах виготовлено деталі запорної арматури, насосів і пруткові заготовки діаметром до 38 мм й довжиною 700 мм. Промислова апробація виробів на ТОВ «Авіа-Січ», ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат», ДП «Кремній-полімер», ДП «ДНДП Інститут титану» показала високу технічну і економічну ефективність розробленої технології, що підтверджено

відповідними актами. Сумарний очікуваний річний економічний ефект від використання запропонованих розробок складає 217000 грн.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Капустян А. Е. Получение длинномерных полуфабрикатов из спеченных титановых сплавов сваркой трением. *Автоматическая сварка*. 2015. № 3—4. С. 55—59. [НБД РИНЦ, Google Scholar].
2. Капустян О. Є., Овчинников О. В., Янко Т. Б. Спечені титанові сплави для ядерної енергетики. *Питання атомної науки і техніки*. Серія «Вакуум, чисті матеріали, надпровідники». 2018. № 1 (113). С. 134—141. [НБД Scopus, Web of Science].
3. Овчинников А. В., Капустян А. Е., Давыдов С. И., Павлов В. В. Ресурсосберегающая технология получения длинномерных полуфабрикатов из титановых сплавов методом порошковой металлургии. *Технологические системы*. 2013. № 4 (65). С. 29—33. [НБД Open Academic Journals Index, Index Copernicus, Scientific Indexing Services, International Institute of Organized Research (I2OR), CiteFactor, Eurasian Scientific Journal Index, General Impact Factor, Directory of Indexing and Impact Factor, International Innovative Journal Impact Factor, ResearchBib, eLIBRARY].
4. Капустян А. Е., Овчинников А. В., Павлов В. В., Шульга К. С. Интегрированная технология получения полуфабрикатов из титановых сплавов на основе методов порошковой металлургии и сварки. *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*. 2014. № 2. С. 93—95. [НБД Ulrich's Periodical Directory, ВІНІТІ].
5. Капустян А. Е., Овчинников А. В., Вакуленко И. А. Получение сварных изделий из спеченных титановых сплавов. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. 2014. № 3 (51). С. 84—91. [НБД Index Copernicus, Google Scholar, Global Impact Factor, InfoBase Index].
6. Капустян А. Е., Овчинников А. В., Коваленко Т. А., Шевченко А. В. Получение полуфабрикатов титановых сплавов для авиационно-космической техники. *Авиационно-космическая техника и технология*. 2016. № 7 (134). С. 107—116. [НБД eLIBRARY; Index Copernicus; CiteFactor; AcademicKeys; Infobase Index; WordCat; Google Scholar].
7. Скребцов А. А., Овчинников А. В., Капустян А. Е. Исследование механических свойств сварных соединений спеченных титановых сплавов. *Вісник СевНТУ*. Серія: Механіка, енергетика, екологія: збірник наук. праць. Севастополь: СевНТУ, 2012. Випуск 132. С. 14—17. [НБД РИНЦ, eLIBRARY, Ulrich's Periodicals Directory, ВІНІТІ РАН].

8. Скребцов А. А., Овчинников А. В., Капустян А. Е., Быков И. О., Селиверстов А. Г. Исследование структуры сварных соединений спеченных титановых сплавов. *Строительство, материаловедение, машиностроение*: сб. науч. трудов. Дн-вск: ПГАСА, 2012. Вып. 64, С. 403–408.

9. Скребцов А. А., Овчинников А. В., Шевченко В. Г., Капустян А. Е., Джуган А. А. Влияние содержания гидрированного титана в смеси порошков на механические свойства спеченного сплава ВТ1-0. *Строительство, материаловедение, машиностроение*: сб. науч. трудов. Дн-вск: ПГАСА, 2014. Вып. 73, ч. 4. С. 89–94.

10. Капустян А. Е., Овчинников А. В., Павлов В. В., Шульга К. С., Шевченко В. Г. Влияние режимов прессования и спекания на пористость спеченных титановых изделий. *Обработка материалов давлением*: сб. науч. трудов. Краматорск: ДГМА, 2015. № 2 (41). С. 221–225.

11. Гідрид титану губчастого, легований киснем / С. Б. Бєліков, С. І. Давидов, О. М. Івасишин, О. В. Овчинников, В. Г. Шевченко, О. В. Осипенко, О. Є. Капустян, І. О. Биков, Д. Г. Саввакін: пат. 74771 Україна, МПК (2012.01) C01B 6/00. заявл. 23.04.2012; опубл. 12.11.2012, Бюл. №21. 4 с.

12. Капустян А. Е., Овчинников А. В., Осипенко А. В. Ресурсосберегающая технология получения полуфабрикатов из титановых сплавов серии low-cost. *Прогрессивные технологии жизненного цикла авиационных двигателей и энергетических установок*: Тезисы докладов X Международной научно-технической конференции (Запорожье, 23–28 сентября 2013). Запорожье: АО «Мотор Сич», 2013. С. 10–12.

13. Капустян А. Е., Овчинников А. В., Коваленко Т. А., Шевченко А. В. Получение полуфабрикатов титановых сплавов для авиационно-космической техники. *XX Міжнародний конгрес двигунобудівників*: Тези доповідей. (Харків, 5–10 вересня, 2016). Харків: Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», 2016. С. 83.

14. Капустян О. Є., Акритова Т. О., Савонов Ю. М. Отримання довгомірних пруткових заготовок з титану методами порошкової металургії. *Титан-2016: виробництво та використання в авіабудуванні*: Збірник тез доповідей IV Міжнар. наук.-практ. конф. (Запоріжжя, 3–4 листопада 2016). Запоріжжя: АТ «Мотор Січ», 2016. С. 34–35.

15. Суцїнський О. Д., Овчинников О. В.; Капустян О. Є., Янко Т. Б., Акритова Т. О. Спечені титанові сплави для ядерної енергетики. *Высокочистые материалы: получение применение, свойства*: Матеріали доповідей 4-ї Міжнародної конференції (Харків, 12–15 вересня 2017). Харків: ННЦ ХФТИ, 2017. С. 87.

16. Акритова Т. О., Овчинников О. В., Капустян О. Є. О необхідності

дослідження корозійної тривкості зварних швів спеченого титану. *Людина і Космос: Тези доп. XX Міжнар. молодіжної наук.-практ. конф.* (Дніпро, 11-13 квітня 2018). Дніпро, 2018. С. 235.

17. Капустян О.Є., Ніколаєв В.М., Овчинников О.В. Розширення сфери застосування титанових сплавів. *Титан 2018: виробництво та використання в Україні: Збірник доп. міжнар. конф.* / Під ред. проф. С.В. Ахоніна. (Київ, 11-13 червень 2018). К.: ТОВ «ДИА», 2018. С. 71-73.

АНОТАЦІЯ

Капустян О.Є. Підвищення механічних і службових властивостей зварних з'єднань спеченого конструкційного титану. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – Матеріалознавство. – Запорізький національний технічний університет МОН України, Запоріжжя, 2018.

Дисертація присвячена вирішенню важливої науково-практичної задачі – підвищенню механічних і службових властивостей зварних з'єднань спечених титанових виробів складної конфігурації, які працюють в агресивних середовищах. Отримано ряд залежностей, що описують вплив тиску пресування і фракції порошку на структуру і механічні властивості спеченого титану. Досліджено вплив структури зварних з'єднань порошкового титану, що отримані методами зварювання тиском, на склад, механічні та корозійні властивості. Розроблено та випробувано в промислових умовах комплексну ресурсозберігаючу технологічну схему «порошкова металургія - зварювання», застосування якої дозволяє отримати структуру, що забезпечує показники механічних і службових властивостей матеріалу, близькому до рівня литих сплавів аналогічного складу.

Ключові слова: порошкова металургія, титанові сплави, зварні з'єднання, структура, механічні властивості, корозійна стійкість.

АННОТАЦИЯ

Капустян А.Е. Повышение механических и служебных свойств сварных соединений спеченного конструкционного титана. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.01 – Материаловедение. – Запорожский национальный технический университет МОН Украины, Запорожье, 2018.

Диссертация посвящена решению важной научно-практической задачи - повышению механических и служебных свойств сварных соединений

спеченных титановых сплавов для изделий сложной конфигурации, работающих в агрессивных средах.

Получен ряд зависимостей, описывающих влияние давления при прессовании и фракции порошка на структуру и механические свойства спеченного титана. Установлено, что фракция порошка меньше 0,55 мм обеспечила пористость не более 7 % с размером пор до 62 мкм, твердость $HV > 130$ и предел прочности $\sigma_b \geq 345$ МПа. Исследовано влияние структуры сварных соединений порошкового титана, полученных методами сварки давлением, на состав, механические и коррозионные свойства. Разработана комплексная ресурсосберегающая технологическая схема «порошковая металлургия - сварка», применение которой позволяет получить структуру, обеспечивающую показатели механических и служебных свойств материала, близкие к уровню литых сплавов аналогичного состава.

Научная новизна полученных результатов:

- впервые установлены закономерности формирования структуры соединений спеченного титана, полученных методами сварки давлением: контактным стыковым оплавлением, конвекционным трением и трением перемешиванием;

- впервые установлено влияние структуры сварных соединений порошкового титана, полученных конвекционной сваркой трением, на сопротивление коррозионным процессам в водных растворах неорганических кислот;

- получили дальнейшее развитие представления о влиянии фракционного состава исходных порошков титана на формирование структуры, в том числе пористости, а также на уровень механических свойств спеченного титана;

- расширено представление о распределении газовых примесей азота и кислорода в сварном соединении спеченного титанового сплава при сварке контактной стыковой оплавлением и конвекционной трением в воздушной атмосфере и установлено, что при исследованиях на технологических режимах не происходит газонасыщения металла шва и околошовной зоны больше основного металла.

Изготовлены детали дисковых и шаровых кранов, насосов и полуфабрикаты по разработанной технологии. Натурные испытания показали эффективность разработанной технологической схемы, что подтверждено соответствующими актами:

- работоспособность дисковых и шаровых кранов DN15 и DN20, в эксплуатации на ООО «Авиа Сич» и ООО «Запорожский титано-магний комбинат» с ожидаемым годовым экономическим эффектом 217000 грн;

- для ГП «Кремнийполимер» изготовлена втулка методом порошковой металлургии и сварена с титановым кольцом вала илового насоса марки 28/2.

Новая технология рекомендована к внедрению;

- на ГП «ДНДП Институт титана» полуфабрикаты шаровых кранов из порошков титана испытаны в агрессивных средах. Технология рекомендована к внедрению. Разработаны рекомендации на внесение изменений в ТУ У 27.4-00201081-001-2003 «Элементы фильтрующие из титана»;

- результаты исследований используются в учебном процессе на кафедре оборудования и технологии сварочного производства ЗНТУ.

Ключевые слова: порошковая металлургия, титановые сплавы, сварные соединения, структура, механические свойства, коррозионная стойкость.

ABSTRACT

Kapustian O.Ye. Increase of mechanical and service properties of welded joints of sintered structural titanium. – Manuscript.

Thesis for the degree of candidate of technical sciences in specialty 05.02.01 – Material science. – Zaporizhya National Technical University, Zaporizhya, 2018.

The thesis is devoted to solving scientific and practical problems of improving the mechanical and service characteristics of sintered titanium alloyed weld joints for intricate products in aggressive environment. A number of dependencies were obtained. They describe the pressure impact while compression and powder fraction on the structure and mechanical properties of sintered titanium. The influence of powder titanium weld joints structure obtained by pressure welding on the composition, mechanical and corrosive properties was investigated. The complex resource-saving technology «powder metallurgy - welding» is developed enabling to get the structure that ensures mechanical and servicing characteristics of the material required for similar composition of cast alloys.

Keywords: powder metallurgy, titanium alloys, weld joints, mechanical properties, structure, corrosion resistance