

ВІДГУК
офіційного опонента на дисертаційну роботу Селіверстова Олександра
Георгійовича
«Підвищення властивостей зварних з'єднань роторних деталей ГТД з
титанового сплаву VT8»
на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю
05.02.01 – матеріалознавство

Актуальність обраної теми дисертаційної роботи Дисертаційну роботу присвячено одній з важливих і актуальних проблем сучасного авіадвигунобудування – підвищенню експлуатаційних характеристик авіаційних газотурбінних двигунів та забезпеченню потрібних цінкових параметрів виробів роторної частини компресора. Деякі деталі, наприклад, барабани компресора, мають зварну конструкцію. Титанові сплави, з яких їх виготовляють, є обмежено зварюваними. Ось чому важливим завданням є забезпечення необхідного рівня механічних властивостей зварних з'єднань авіаційних деталей зі складнолегованих двофазних титанових сплавів в різному структурному стані.

Перспективним напрямком рішення проблеми є отримання структури в зоні зварного шва та зоні термічного впливу з мінімальною різницею по відношенню до основного металу. Для цього необхідно зменшити термін перебування металу шва при температурі вище температури поліморфного перетворення, що можливо реалізувати за рахунок використання зварювання тертям.

Незважаючи на значні успіхи фундаментальних наук в поясненні механізму процесів, що протікають, накопиченні знання ще не досягли того рівня, щоб реально забезпечити виробництво необхідним інструментарієм прогнозування, а отже управління. У зв'язку з цим особливу роль в рішенні цих завдань грають методи математичного моделювання, що базуються на півемпіричних підходах. У роботі розроблені моделі, що базуються на методі кінцевих елементів та використання спеціальних програмних продуктів для забезпечення роботоздатності авіаційних деталей.

Тому комплексні дослідження пов'язані з відпрацюванням технології різних видів зварювання, з урахуванням закономірностей впливу структурного стану сплавів на їх механічні та службові властивості є важливим і актуальним завданням сучасного авіадвигунобудування.

Робота виконана у Запорізькому національному технічному університеті і має тісний зв'язок з темами „Дослідження і розробка методики ремонту деталей ГТД із складнолегованих титанових сплавів із застосуванням наноструктурованих присадних матеріалів” (№ держреєстрації 0109U008904), „Розробка методів ремонту зварюванням роторних моно деталей ГТД із

жаромічних титанових сплавів та визначення напружено-деформованого стану зон ремонту” (№ держреєстрації 0114U002450), „Дослідження зварних з’єднань сплавів ВТ3-1, ВТ8, ВТ9, ВТ6, виконаних зварюванням тертям”, „Визначення зон ремонту деталей ГТД із жаромічних титанових сплавів при використанні різних методів зварювання”.

Наукова новизна одержаних результатів Заслугою дисертанта і новим внеском у вирішенні поставлених задач є комплексний підхід та вдале поєднання теоретичних та експериментальних досліджень, що дозволяють забезпечити необхідний рівень механічних властивостей зварних з’єднань авіаційних деталей з складнолегованих двофазних титанових сплавів в різному структурному стані.

У роботі вперше науково обґрунтовано закономірності формування структури при зварюванні тертям в зварних швах сплаву ВТ8 з різними вихідними типами структур та закономірності розподілення легуючих елементів в зварному шві сплаву ВТ8 при зварюванні тертям, що забезпечило високий рівень механічних властивостей зварного з’єднання.

Отримали розвиток закономірності впливу вихідних типів структури на механічні властивості зварних з’єднань складнолегованого двофазного титанового сплаву ВТ8 із застосуванням різних видів зварювання та закономірності впливу вихідних типів структури сплаву ВТ8 на формування структури зварного шва для зварювання плавленням.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі, їх достовірність і новизна

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і отриманих результатів базується на використанні фундаментальних положень теорії матеріалознавства, металознавства. Підтверджується застосуванням сучасного обладнання, відомих програм та атестованих методик вимірювань та на узгодженості отриманих результатів із загальновідомими уявленнями про зварювання складнолегованих двофазних титанових сплавів. Точність представлених в роботі результатів є достатньою для їх подальшого застосування.

Практичне значення результатів дисертаційної роботи. Беззаперечно цінною з практичної точки зору є розроблена дисертантом технологія відновлення барабана та моноколеса компресора методами зварювання, що дозволило підвищити працездатність даних деталей. Також розроблено методику побудови модельних зразків для розрахункових моделей барабану зі сплаву ВТ-8 з урахуванням розмірів та механічних властивостей зварних з’єднань, виконаних різними методами

Результати роботи впроваджені у виробництво АТ „Мотор Січ”.

Очікуваний економічний ефект від впровадження становить 223656,56 грн.

Поставлену дисертантом мету роботи, а саме: забезпечення необхідного рівня механічних властивостей зварних з'єднань авіаційних деталей з складнолегованих двофазних титанових сплавів в різному структурному стані, слід визнати виконаною.

Загальна характеристика змісту роботи Структура дисертації повною мірою відповідає цілям і поставленим завданням та відображає логіку дослідницького пошуку.

У *вступі* обґрунтовано актуальність проблеми подовження ресурсу роботи ГТД безпосередньо з можливістю ремонту основних вузлів і деталей, сформульовано мету та задачі роботи, об'єкт і предмет дослідження висвітлено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, а також особистий внесок здобувача в розробку актуальної задачі, наведені дані про апробацію результатів та повноту викладання в публікаціях, структура і об'єм дисертації.

У *першому розділі* дисертантом проведено аналіз літературних джерел, які стосуються основних властивостей і вимог до роторних деталей компресора. На основі такого аналізу показано, що рівень потрібних властивостей деталей знаходиться в залежності від структури матеріалу.

Проведено аналіз методів зварювання та їх вплив на матеріал деталей. Розглянуто можливості покращення структури та підвищення рівня механічних властивостей зварних з'єднань.

Огляд сучасних публікацій дозволив встановити, що найбільш поширені дані стосуються зварювання тертям однофазних титанових сплавів і двофазних типу ВТ6. Однак, роторні деталі компресора виготовляють зі складнолегованих двофазних титанових сплавів типу ВТ8, ВТ3-1, ВТ9 і інформація про можливість зварювання тертям і рівень міцності зварних з'єднань таких сплавів майже відсутня.

Дисертантом проведено аналіз літературних джерел, які стосуються основних властивостей і вимог до роторних деталей компресора. На основі такого аналізу показано, що рівень потрібних властивостей деталей знаходиться в залежності від структури матеріалу.

На базі виконаного аналізу сформульована мета роботи – забезпечення необхідного рівня механічних властивостей зварних з'єднань авіаційних деталей з складнолегованих двофазних титанових сплавів в різному структурному стані. Для досягнення мети визначені задачі досліджень.

У *другому розділі* охарактеризовано досліджувані матеріали, методики та інструментарій, які були використані при виконанні роботи. Описані методики досліджень, що використані при проведенні дисертаційної роботи, відповідають сучасним вимогам та забезпечують високий рівень отриманих результатів.

У *третьому розділі* наведено дослідження впливу різних методів

зварювання на структуру та властивості зварних з'єднань при статичних та циклічних навантаженнях та виконано дослідження рівня механічних властивостей, які обмежують застосування різних методів зварювання для деталей газотурбінних двигунів.

Встановлено, що вплив термічного циклу зварювання плавленням призводить до значних змін структури у зварному шві і зоні термічного впливу з утворенням у шві столбчатої грубозернистої структури з розміром первинних зерен в - фази 70-350 мкм з пластинчатою внутрізерною структурою. Незалежно від типу вихідної структури основного металу – рівноважної, бімодальної та їх комбінацій в зварних швах були отримані ідентичні типи структур. В зварних швах, виконаних методом зварювання тертям, при різних комбінаціях вихідних структур, формується рівноважний тип структури, з розміром структурних складових у зварному шві до 10 разів менше, ніж при зварюванні плавленням.

З використанням сучасних методів дослідження виконано аналіз хімічного складу б- та в- фаз та структурних складових в- фази при зварюванні тертям. Крім того, виконано дослідження рентгеноструктурні, просвічуюча та рентгеноспектральна мікроскопія, що дало можливість зрозуміти особливості структурних перетворень при зварюванні тертям.

Досліджено вплив методів зварювання і вихідного типу структури на розмір зони термічного впливу та встановлено, що мінімальну зону має шов при зварюванні тертям (2мм).

Деталі авіаційних двигунів працюють в умовах динамічних, циклічних навантажень, тому у роботі виконано дослідження межі витривалості і встановлено, що найбільше її значення мають зразки, які зварені методом тертя. Крім того, проведено дослідження жароміцності, яка в усіх зварних з'єднаннях знаходиться на рівні основного металу (775МПа), що відповідає технічним умовам.

У *четвертому розділі* побудовано твердотільну модель барабана компресору. Проведено аналіз напружено-деформованого стану деталі на робочих режимах для різних методів зварювання. Побудовано поля розподілу еквівалентних напружень. Наведено методику визначення зон розміщення зварних швів при виготовленні та ремонті деталей. Побудовано поля розподілу коефіцієнтів запасу міцності. По результатах розрахунків встановлено, що при зварюванні методом тертя, який забезпечує мінімальні зміни структури, міцності зварного з'єднання на рівні вихідного металу та менших розмірів зони термічного впливу у порівнянні з електроннопроміневим зварюванням, забезпечує збільшення коефіцієнту запасу міцності на 10%.

У *п'ятому розділі* наведено результати апробації методики по вибору методу зварювання на натурних деталях в умовах АТ „Мотор Січ” на прикладі моноколеса компресора. Згідно з якими запропоновано виконувати відновлення методом видалення дефектної частки та приварювання вставки.

Повнота публікації результатів роботи Поставлену дисертантом мету роботи, а саме: забезпечення необхідного рівня механічних властивостей зварних з'єднань авіаційних деталей з складнолегованих двофазних титанових сплавів в різному структурному стані, слід визнати виконаною.

Розглянута дисертаційна робота виконана автором особисто і широко апробована на конференціях.

Результати роботи достатньо повно висвітлені у 9 наукових працях, з яких 2 статті в виданнях з індексом цитування, 3-у фахових наукових журналах, 1 – у збірнику наукових праць, та 3 – в матеріалах вітчизняних та міжнародних конференцій.

Автореферат повністю відображає основний зміст дисертації.

Виклад матеріалу у дисертаційній роботі послідовний, логічний, зрозумілий і легкий для сприйняття, структурування тексту та виділення певних розділів обґрунтоване, оформлення відповідає існуючим стандартам, зроблені необхідні посилання на цитовані джерела. Тема та зміст дисертації повністю відповідають паспорту спеціальності 05.02.01 – матеріалознавство.

Разом з тим, слід зробити ряд зауважень, щодо представленої роботи.
Зокрема:

1. У роботі виконано комплексне дослідження оцінки структури і властивостей зварних з'єднань різними видами зварювання, однак, що до зварюванні тертям, на мій погляд, недостатньо переконливо представлено та пояснено термодформаційні параметри процесу, та структурні зміни в специфічних умовах зварювання тертям, які призводять до формування однорідної рівномірної структури.

2. У роботі вказано, що зварювання тертям відбувається при температурі початку α - β перетворення, нижче його кінця. При цьому йде перерозподіл легуючих елементів та зникає їх концентраційна неоднорідність. В той час між рівноважними зернами β та α фаз дифузія елементів практично відсутня. З наведеного в роботі і авторефераті матеріалу не зовсім зрозуміло за якими процесами йде перерозподіл легуючих елементів, а він значний (по Al в - 2рази, по Mo в -7 разів)? Чому відсутня дифузія меж зернами? На якій стадії формується β' - фаза?

3. Деякі висновки по главам сформульовані як констатація фактів без пояснення (глава3).

4. З наведених у роботі фотографій тонкої структури, зроблених з використанням електронного мікроскопу не переконливо показано особливості тонкої структури при зварюванні тертям.

Занадто докладно і з повтором описуються режими зварювання та

обладнання, що використовується (с. 14, 25, 33, 37 и др.).

6. У назві роботи присутнє скорочення ГДТ, що небажано для назви роботи. Робота переповнена умовними позначеннями, що ускладнює сприйняття і аналіз матеріалу при відсутності їх супутніх трактувань.

7. У роботі не завжди вдало представлено фотографії мікроструктури та їх масштаб (рис.3.9, 3.16, 3.23).

Висловлені зауваження по роботі не знижують важливості отриманих у ній наукових та практичних результатів.

Загальний висновок про відповідність дисертаційної роботи встановленим вимогам

Дисертаційна робота Селіверстова Олександра Георгійовича на тему: „Підвищення властивостей зварних з'єднань роторних деталей ГТД з титанового сплаву VT8“. Є завершеною працею, в якій отримано нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності вирішують науково-технічну задачу підвищення експлуатаційних характеристик авіаційних газотурбінних двигунів за рахунок отримання структури в зоні зварного шва та зоні термічного впливу з мінімальною різницею по відношенню до основного металу при зварюванні складнолегованого двофазного сплаву титану VT8.

За своєю актуальністю, якісним рівнем і глибиною проведених експериментальних досліджень дисертаційна робота Селіверстова О.Г. відповідає вимогам п. 9, 12 "Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника" що до кандидатських дисертацій зі спеціальності 05.02.01-матеріалознавство, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – матеріалознавство.

Офіційний опонент –
професор кафедри матеріалознавства та
обробка матеріалів"
Придніпровської державної академії будівництва
та архітектури
д.т.н., професор

В.С.Вахрушева

Підпис Вахрушевої В.С. засвідчую
Вчений секретар Придніпровської
державної академії будівництва та
архітектури



В.Д.Щеглова

Вх №25 від 21.09.2016р.