**Петрик Ігор Андрійович. Процеси відновлення зварюванням та паянням лопаток газотурбінних двигунів з важкозварюваних сплавів на основі нікелю та титану. : Дис... канд. наук: 05.03.06 – 2007**

|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | Петрик І.А. ПРОЦЕСИ ВІДНОВЛЕННЯ ЗВАРЮВАННЯМ ТА ПАЯННЯМ ЛОПАТОК ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ З ВАЖКОЗВАРЮВАНИХ СПЛАВІВ НА ОСНОВІ НІКЕЛЮ І ТИТАНУ. – Рукопис.  Дисертація на здобуття вченого ступеню кандидата технічних наук за спеціальнiстю 05.03.06 – «Зварювання та споріднені процеси і технології». Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ, – 2007.  Дисертація присвячена розробці промислових технологічних процесів відновлення високо навантажених лопаток з двофазних титанових і жароміцних нікелевих сплавів газоповітряного тракту газотурбінних авіадвигунів з метою продовження ресурсу їхньої роботи. В дисертації розглянуті основні причини виходу з ладу деталей ГВТ ГТД. Показано, що при роботі двигуна на лопатки діють динамічні силові і температурні навантаження та корозійне середовище газового потоку. Розподіл термосилових навантажень нерівномірний по тілу лопатки і має градієнтний характер. Проведена класифікація виникаючих експлуатаційних пошкоджень лопаток: за видами зношування, за конструктивними ознаками, за зонами виникнення, за причинами виходу з ладу, – з метою визначення їх ремонтопридатності та умов ремонту.  Представлено основні методологічні аспекти роботи. Обґрунтовано методи й устаткування: дослідження хімічного, спектрального і рентгеноструктурного аналізів; металографічні дослідження; стандартні механічні дослiдження; визначення мікротвердості, дослiдження на короткочасну та тривалу міцність при температурах експлуатації, втомну міцність (-1). Для ефективної технологічної оцінки зварюваності металу лопаток після їхньої експлуатації разом з методом динамічного деформування Trans-Varestraіnt Test використовували методику технологічної «лопаткової кільцевої» проби, що розроблена в чинній роботі.  Досліджено вплив режимів ЕПЗ, АДЗ, складу присадного матеріалу, режимів термічної обробки на структуру, механічні властивості, величину втомної міцності (-1)зварних з'єднань та зварюваність титанового сплаву ВТ3-1 та жароміцного сплаву ЖС6У-ВИ, що є типовими для виготовлення лопаток авіадвигунів. Показано, що стандартні прийоми і параметри ЕПЗ і АДЗ, знижують експлуатаційні властивості з'єднань по критеріях міцності, а для ЖС6У-ВИ – й по критерію стійкості проти тріщиноутворення. Визначені величини погонної енергії, при яких забезпечується оптимальні властивості зварних з’єднань.  Проведені дослідження розподілу полів напружень в обсязі лопатки вентилятора ГТД Д-36 зі сплаву ВТ3-1. На основі порівняння робочих напружень з міцністю ремонтних зварних з’єднань розроблена методика визначення зон можливого ремонту зварюванням і запропонована градієнтно-міцнiстна модель вибору параметрів технологій, матеріалів i методів обробки зварних з’єднань. Визначаючим в призначенні технологій ремонту визнано узагальнюючий критерій зварюваності конструкційних матеріалів. Отримані розрахункові зони ремонту для лопатки вентилятора зі сплаву ВТ3-1 показали можливість їхнього розширення у порівнянні з припустимими зонами ремонту, установленими відповідно до діючої нормативної документації.  Представлено результати дослідження впливу технологічних режимів обробки для лопаток зі сплаву ЖС6У-ВИ на стійкість проти утворення тріщин.  У випадку, коли ремонт лопаток методами зварювання не ефективний, досліджена можливість ремонту з застосуванням паяння. Визначено дефекти експлуатації за типом і місцем розташування, що можуть бути виправлені методом пайки. Досліджено можливість застосування стандартизованих в авіаційній промисловості припоїв, визначені принципи одержання капілярних зазорів, необхідних для одержання щільних і міцних ремонтних паяних з’єднань.  Розроблені рекомендації і підходи реалізовані також для ремонту дефектів лиття при виготовленні нових соплових лопаток. Розроблено нормативну документацію, інструкції, групові техпроцеси на ремонт, погоджені з конструкторами - розробниками двигуна.  Забезпечено методологічну і технологічну можливостi для створення процесів ремонту навантажених лопаток ГПТ у виробничих умовах. | |
| |  | | --- | | 1. Розроблені принципи класифікації видів зношування і пошкоджень лопаток газотурбінних двигунів по ряду критеріїв, серед яких найважливішим прийнята ремонтопридатність з використанням сучасних засобів зварювання з локальним концентрованим нагрівом і високотемпературного вакуумного паяння. Показано, що при огляді деталей, якi надходять на ремонт різних типів ГТД, бракується до 72% лопаток компресора і до 30% лопаток турбіни від загального числа забракованих при дефектації деталей. Визначення дефекту по класифікації запропоновано брати за основу ремонтного техпроцесу. 2. На прикладі авіадвигунів Д-36 и Д-18Т, для лопаток компресора і турбіни вивчено напружений стан в тілі лопатки в реальних умовах експлуатації. Показано, що через комплексне навантаження лопаток при роботі двигуна, вони можуть мати напруження від 0,2 до 0,9 0,2та температури на поверхні від 720 до 1050С в умовах дії корозійно-активного середовища. Установлено нерівномірність навантаження деталей і градієнтний характер розподілу напружень та температурних полів по тілу лопатки. Запропоновано розрахункові методи, що дозволяють одержати графічний розподіл полів напружень в лопатці при її експлуатації з ціллю вибору способу і матеріалів для відновлення дефектних деталей та забезпеченням розрахункових характеристик міцності в ремонтних зонах та конструктивної міцності виробу в цілому. 3. Доказано, що в основу розробки технології відновлення лопаток повинно бути покладено градієнтно-міцнiстний підхід до вибору технологій, матеріалів та методів обробки зварних з’єднань. Визначаючим в призначенні технологій ремонту є узагальнюючий критерій зварюваності конструкційних матеріалів. Він встановлюється:   – для робочих лопаток з високоміцних титанових сплавів типа ВТ3-1, ВТ8 по показнику втомлюваної міцності зварних з’єднань;  – для лопаток із жароміцних сплавів на нікелевій основі (ЖС6У-ВІ, ВЖЛ12Э-ВІ, ЖС3 та iн.) – по показнику чутливості до виникнення гарячих тріщин при аргонодуговому зварюванні і по показнику міцності (статичної або циклічної). Для процесів паяння – по показниках технологічності та міцності.  З урахуванням теплофізичних властивостей присадних матеріалів і критеріїв зварюваності, градієнтно-міцнiстний метод дозволяє обрати технології та здійснювати ремонт виробів з широкою номенклатурою конструкційних матеріалів.   1. Розроблено експрес-метод оцінки зварюваності складнолегованого металу лопатки після тривалої експлуатації під впливом високотемпературного газового середовища і силових навантажень. Використовується «кільцева лопаткова проба», що виконується безпосередньо на тілі реальної лопатки. Запропоновано комплексний критерій оцінки зварюваності , що враховує конструктивні особливості деталі та стан металу, рівень напруженого стану по місцях розташування і сумарній довжині тріщин, що виникають. Стандартний метод «Trans Varestraіnt Тest» і технологічна «кільцева лопаткова проба» мають добру кореляцію при оцінці схильності до гарячих тріщин сплавів на нікелевій основі с '-зміцненням. Для них характерним є провал пластичності в зоні температур 950...1160С. Установлено граничне значення погонної енергії, не більше 2,2 КДж/см, для аргонодугового зварювання неплавким електродом, при якому коефіцієнт тріщиноутворення складає:   – 1 – можливе зварювання тільки в зоні крайків лопаток, де термодеформаційні процеси мінімальні;  – 1 > > 0,1, – можливе зварювання без утворення тріщин по площині в місцях з пониженою жорсткістю виробу;  – при 0,1 – техпроцеси аргонодугового зварювання можна використовувати без прив’язки до місцезнаходження дефекту.   1. При ремонті паянням, розроблені принципи одержання щільних паяних з’єднань, міцність яких, при користуванні атестованими для авіації припоїв, спільномірна з міцністю зварних з’єднань. Це досягається при умові застосування матеріалів для армування (порошок, фольга, сітка) з нікелевих сплавів, котрі забезпечують капілярні зазори в місцях паяння. Кількість присадки складає 50...70% від кількості припою. Цим умовам відповідає:   – армування місць паяння порошком с розміром часток 200...300 мкм. При цьому зазор між частками порошку дорівнює 0,05...0,08 мм;  – ущільнення місць паяння фольгою або нікелевою сіткою в декілька шарів з розміром чарунки 0,1...0,15 мм.   1. Запропоновані і використані критерії оцінки ремонтопридатності лопаток газоповiтряного тракту газотурбінних двигунів на основі класифікації пошкоджень, перевірки на зварюваність і принципу градієнтної міцності зон ремонту. Головними показниками ремонтопридатності є відповідність металу і місць ремонту вимогам по критеріях міцності та зварюваності з урахуванням принципів градієнтно-міцнiстної моделі, а також економічні показники ремонту. 2. Для практичного застосування на основі виконаних досліджень для двигунів 4-го покоління – Д-18Т, Д-36, Д-436Т, АИ-25, ТВ3-117 та інших, стосовно до лопаток вентилятора, компресора і турбіни, розроблені технологічні процеси i регламентні документи на ремонт. Стендові випробування натурних двигунів підтвердили розрахункову працездатність відремонтованих лопаток. Принципи ремонту підходять як для лопаток, що були в експлуатації, так и при їх виготовленні (після литва, механічної обробки). Ці ж принципи можуть бути використані для нових двигунів, що розроблюються, в тому числі і 5-го покоління. Нормативна документація по ремонту узгоджена з розробниками виробів (авіадвигунів). Річний економічний ефект склав 180000 гривень на 2006 р. i має тенденцію до підвищення. | |