

УДК 620.179.16

КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ З'ЄДНАНЬ, ВИКОНАНИХ ЗВАРЮВАННЯМ ТИСКОМ З ВИКОРИСТАННЯМ НАНОМАТЕРІАЛІВ



С. І. Кучук-Яценко

С. І. Кучук-Яценко, доктор технічних наук, академік НАН України, заступник директора,
І. В. Зяخور, кандидат технічних наук, заступник завідувача відділу,
М. С. Завертаний, аспірант,
Інститут електросварювання ім. Є.О. Патона НАНУ, м. Київ

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СОЕДИНЕНИЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ СВАРКОЙ ДАВЛЕНИЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОМАТЕРИАЛОВ

С. И. Кучук-Яценко, доктор технических наук, академик НАН Украины, заместитель директора,
И. В. Зяخور, кандидат технических наук, заместитель заведующего отделом,
М. С. Завертанный, аспирант,
Институт электросварки им. Е. О. Патона НАНУ, г. Киев

QUALITY CONTROL OF PRESSURE WELDING JOINTS WELDED USING NANOSTRUCTURE MATERIALS

S. I. Kuchuk-Yatsenko, Academician of NAS of Ukraine, Deputy Director,
I. V. Ziakhor, Candidate of Technical Sciences, Deputy Head of the Department,
M. S. Zavertanniy, post-graduate student,
E.O. Paton Electric Welding Institute, Kyiv



І. В. Зяخور

Проблема забезпечення якості є актуальною під час виготовлення зварних компонентів газотурбінних двигунів. Упровадження сучасних технологій зварювання тиском, у тому числі з використанням наноструктурних матеріалів, потребує розроблення ефективної методології та надійних технологій контролю якості. Комплексне застосування методів неруйнівного контролю зварного з'єднання та комп'ютеризованого операційного контролю параметрів зварювання дозволяє гарантовано забезпечити відповідність якості зварних виробів вимогам чинних стандартів.

Ключові слова: *якість зварювання, контроль якості, неруйнівні методи контролю, зварні компоненти, контактне стикове зварювання, зварювання тертям, прошарок з наноматеріалів.*

Проблема обеспечения качества актуальна при изготовлении сварных компонентов газотурбинных двигателей. Внедрение современных технологий сварки давлением, в том числе с использованием прослоек из наноструктурных материалов, предопределяет необходимость разработки эффективной методологии и надежных технологий контроля качества. Комплексное применение методов неразрушающего контроля сварных соединений и компьютеризированного операционного контроля параметров сварки позволяет гарантированно обеспечить соответствие качества сварных изделий требованиям действующих стандартов.

Ключевые слова: *качество сварки, контроль качества, методы неразрушающего контроля, сварные компоненты, контактная стыковая сварка, сварка трением, прослойка из наноматериалов.*

There is an urgent necessity of quality assurance in production of welded components of gas turbine engines. Implementation of modern pressure welding technologies, including applying interlayer of nanostructure materials, determines the necessity of development of efficient methodology and reliable technologies of quality control. Combined application of non-destructive test methods and computerized online monitoring of welding parameters allows guaranteed correspondence of welded product quality to the requirements of standards in force.

Keywords: *quality of welding, quality control, nondestructive inspection methods, resistance butt welding, friction welding, interlayer of nanomaterials.*



М. С. Завертаний



Актуальною проблемою вітчизняного авіаційного двигунобудування є розроблення та упровадження ефективних технологій виготовлення зварних компонентів роторної частини газотурбінних двигунів (ГТД), зокрема, барабанів та моноколів із титанових і нікелевих сплавів [1]. Перспективним для вирішення цієї проблеми є застосування способів зварювання тиском — зварювання тертям [2] і контактного стикового зварювання [3]. Для активації процесу отримання з'єднань використовують перехідний елемент із наноструктурних матеріалів у вигляді компактних прошарків або нанощаруватих фольг (НФ), які виготовляють методом пошарового електронно-променевого випаровування та осадження [4].

Упровадження у виробництво зварних вузлів ГТД (рис. 1) пов'язане з необхідністю розроблення ефективних методів контролю якості. Контроль якості з'єднань, виконаних способом зварювання тиском з використанням наноматеріалів, є складною технічною проблемою. Специфічна структура дефектів у вигляді тонких плівкових включень істотно ускладнює їх виявлення засобами неруйнівного контролю (НК).

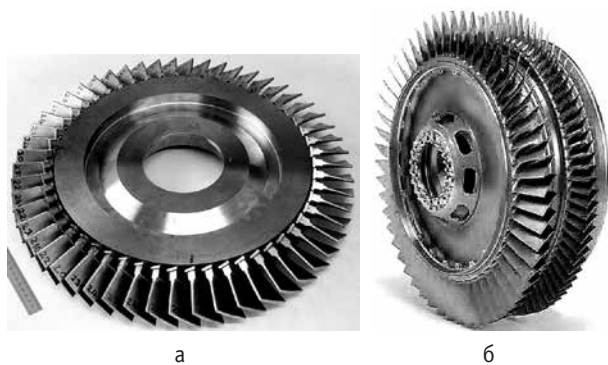


Рис. 1. Компоненти авіаційних ГТД з титанових сплавів, виготовлені з використанням ЗТ: зварний блиск (а), інтегрований ротор компресора (з'єднання двох блисків)

Мета статті — на основі аналізу технічних можливостей сучасних методів НК розробити методологію ефективного контролю якості виробів відповідального призначення, виконаних способами зварювання тиском через прошарок з наноструктурних матеріалів.

За використання методів радіаційного контролю (РК) вдається надійно виявити дефекти з'єднань, товщина яких не менша 0,1 мм [5]. Капілярні методи забезпечують виявлення поверхневих дефектів шириною до 1 мкм і застосовуються як допоміжний метод

контролю якості виробів відповідального призначення. За ультразвукового контролю (УЗК) результати контролю та імовірність виявлення дефектів залежать від багатьох факторів, зокрема від структури металу з'єднання, геометрії шва [5].

За характеристиками віддзеркалення дефекти з'єднань за зварювання тиском можна умовно розділити на два види: перший — несущільності (непровари), яким властиве рівною мірою дзеркальне й зворотне відбиття; другий — тонкі плівки оксидів або включень матеріалу НФ, які характеризуються дзеркальним і значно меншою мірою зворотним відбиттям [6].

Під час УЗК виявлення та ідентифікація дефектів першого типу звичайно не зумовлює ускладнень. У випадку виявлення дефектів у вигляді тонких плівок, необхідно враховувати перешкоди, обумовлені луно-сигналами від структури зварного шва, бо амплітуди структурних шумів практично збігаються із сигналами від дефектів. Оскільки дефекти типу тонких плівок характеризуються, переважно, дзеркальним відбиттям, для їхнього виявлення рекомендується луно-дзеркальний метод УЗК із з'єднанням двох акустичних перетворювачів у «тандем» і, який полягає в контролі шва двома перетворювачами, розташованими з однієї сторони шва один за іншим.

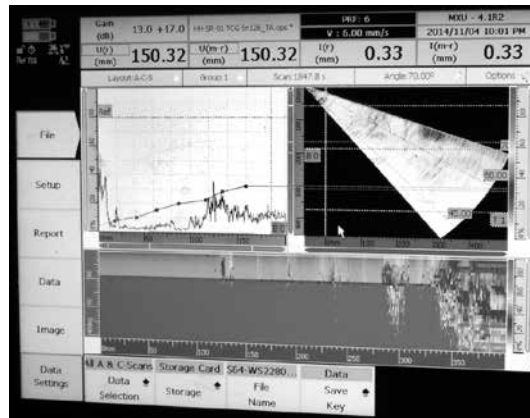
За УЗК обраної ділянки зварного шва виникає завдання виділення луно-сигналу від дефекту з-поміж структурних шумів. Для цього визначають середнє значення амплітуд луно-сигналів в обраній ділянці шва і середнє квадратичне відхилення. На підставі цих даних і величин припустимих помилок визначають адаптивні пороги й порівнюють із ними амплітуди луно-сигналів. Адаптивний поріг доцільно обчислювати після статистичного оброблення залежностей амплітуд луно-сигналів від відстані уздовж зварного з'єднання. Дослідженнями встановлено, що за використання сучасних комп'ютеризованих систем УЗК на фазових ґратках (рис. 2) вірогідність виявлення дефектів другого типу у з'єднаннях, виконаних способами зварювання тиском, становить близько 95%.

За НК з'єднань, виконаних з використанням перехідних елементів у вигляді НФ та компактних прошарків, технологія контролю повинна забезпечити також виявлення недосконалостей структури металу, пов'язаних з наявністю в стикі плівкових включень товщиною менше 100 мкм. Такі включення можуть з'являтися внаслідок невідповідності хімічного складу НФ заданому та порушення технології зварювання.

За відпрацювання технології виготовлення моноколів авіаційного ГТД конструкції АТ «Мотор Січ» виконували контактне стикове зварювання (КСЗ) модельних зразків жароміцних нікелевих сплавів ХН73МБТЮ і ВЖЛ12У з використанням НФ системи Ni/Cr товщиною 100 мкм. Вивчали формування з'єднань, отриманих за наявності відхилень від оптимального режиму КСЗ. У ході дослідження мікроструктури



а



б

Рис. 2. Загальний вигляд (а) та інтерфейс (б) сучасної системи для УЗК з фазовими ґратками (Ultrasonic phased array system)

таких з'єднань методами оптичної та електронної мікроскопії встановлено наявність хімічної неоднорідності у вигляді залишків НФ у вигляді суцільного прошарку товщиною 4...20 мкм і ланцюжків мікропор розміром 1...5 мкм (рис. 3). Такі дефекти суттєво впливають на механічні властивості з'єднань, але методами УЗК і РК не були виявлені. У той же час всі відхилення від оптимального режиму КСЗ реєструвались системою операційного контролю зварювальної установки та у змінному рапорті мали відмітку «брак».

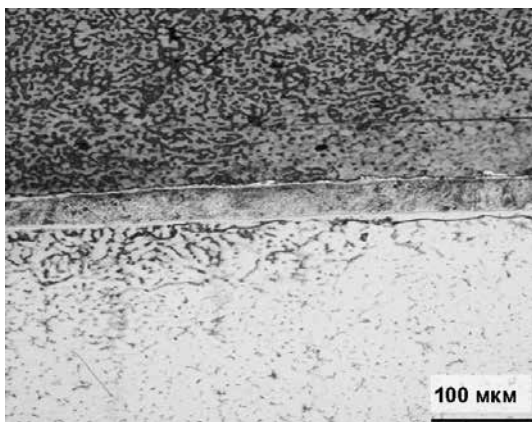
Численні дослідження та багаторічний практичний досвід свідчать, що за варіювання значень основних параметрів режиму у встановленому технологією зварювання діапазоні досягається відповідність технічним умовам механічних властивостей з'єднань і повторюваність показників якості зварних виробів. Будь-які відхилення параметрів режиму зварювання за межі заданого діапазону реєструються системою операційного контролю. Результати контролю в друкованій формі використовуються як додаток-документ до паспорта кожного виробу (рис. 4). Тому для відповідальних зварних вузлів, зокрема компонентів авіаційних ГТД, актуальним є комплексне викорис-

тання методів НК і операційного контролю параметрів режиму зварювання.

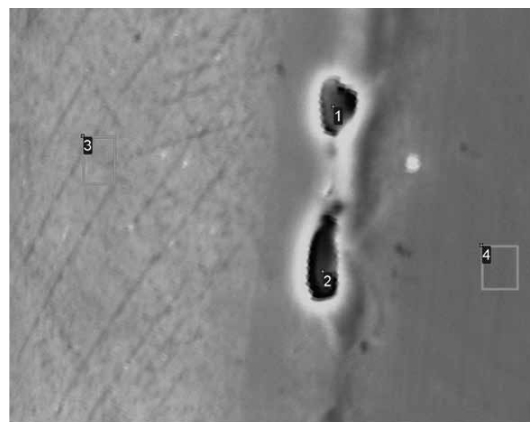
Системи операційного контролю встановлено на установках для зварювання тертям провідних виробників авіаційних газотурбінних двигунів (Rolls Royce, MTU Aero Engines, Pratt & Whitney). Всі установки для зварювання тертям і контактеного зварювання, розроблені в Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона, обладнані комп'ютеризованими системами контролю якості та протягом багатьох років успішно застосовуються у процесі виготовлення виробів відповідального призначення у різних галузях промисловості.

Таким чином, для контролю якості зварних вузлів авіаційних ГТД, виконаних способами зварювання тиском з використанням наноструктурних зварювальних матеріалів, комплексне застосування систем НК зварного виробу та операційного контролю параметрів зварювання дозволяє гарантовано забезпечувати відповідність якості зварних з'єднань вимогам чинних стандартів або галузевих технічних умов.

Методологія комплексного контролю якості відповідає вимогам стандарту ISO 9001 [7], який перед-

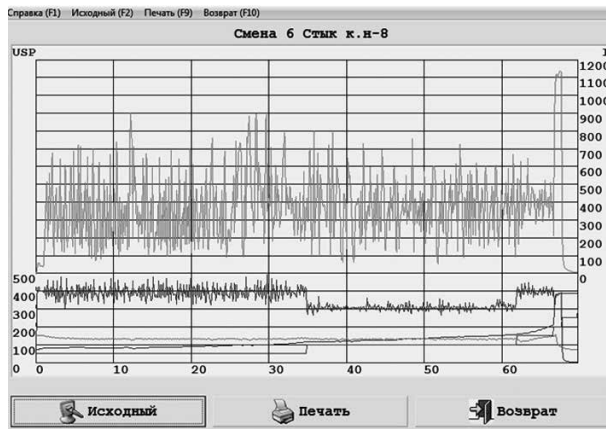


а

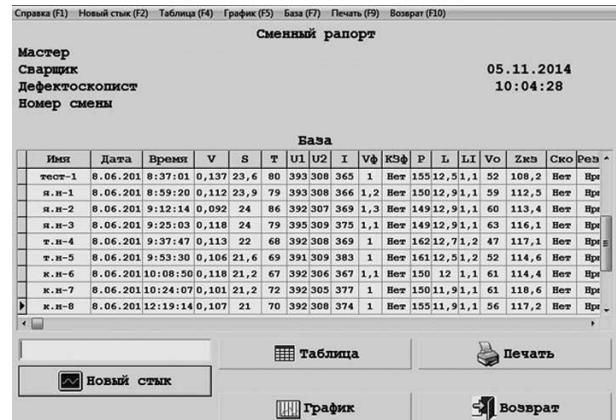


б

Рис. 3. Мікроструктура з'єднань сплавів ХН73МБТЮ і ВЖЛ12У, виконаних з відхиленнями режиму КСЗ від оптимального: оптична металографія (а), скануюча електронна мікроскопія (б)



а



б

Рис. 4. Результаты операционного контроля процесса КСЗ: запись зміни у часі значення технологічних параметрів (а), змінний рапорт (б)

бачає, що до всіх процесів може бути застосований цикл «Plan — Do — Check — Act» (PDCA), тобто «планування — розробка процесів, необхідних для досягнення результатів відповідно до вимог споживачів — здійснення і впровадження цих процесів — перевірка, яка передбачає постійний контроль порівняно з вимогами на продукцію й повідомлення щодо результатів».

ВИСНОВКИ

1. Під час контролю якості зварних вузлів відповідального призначення, виконаних способами зва-

рування тиском з використанням наноструктурних проміжних прошарків, комплексне застосування систем неруйнівного контролю зварного виробу та операційного контролю параметрів зварювання дозволяє гарантовано забезпечувати відповідність якості зварних з'єднань вимогам чинних стандартів або галузевих технічних умов.

2. Методологія комплексного контролю якості відповідає вимогам стандарту ISO 9001 і застосовується провідними світовими виробниками авіаційних газотурбінних двигунів.

ЛИТЕРАТУРА

1. Solid state joining of metals by linear friction welding: a literature review (З'єднання у твердій фазі металів лінійним зварюванням тертям) / I. Bhamji, M. Preuss, P. L. Threadgill, A. C. Addison. — Materials Science & Technology. — 2010. — Vol. 27. — № 1. — 2011. — P. 2—12.
2. ISO 15620 : 2000. Welding — Friction welding of metallic materials (Зварювання — Зварювання тертям металевих матеріалів). — BSI, 2000. — 40 p.
3. ISO 15614-13 : 2012. Specification and qualification of welding procedures for metallic materials — Welding procedure test — Upset (resistance butt) and flash welding (Специфікація та сертифікація процедури зварювання металевих матеріалів. Випробування процедури зварювання. Пресове (контактне стикове) та оплавлення зварювання). — BSI, 2012. — 24 p.
4. Особенности контактной сварки алюминидов титана с использованием нанослойных алюминиево-титановых фольг / Кучук-Яценко В. С., Швец В. И., Сахацкий А. Г., Наконечный А. А. // Автоматическая сварка. — 2009. — № 3. — С. 19—22.
5. Ключев В. В. Неразрушающий контроль и диагностика. Справочник. — М.: Машиностроение. — 2003. — 656 с.
6. Особенности обнаружения дефектов при ультразвуковом контроле соединений труб, выполненных контактной стыковой сваркой оплавлением / Кучук-Яценко С. И., Казымов Б. И., Радько В. П., Зяхор И. В., Никольников А. В. // Автоматическая сварка. — 2007. — № 1. — С. 39—43.
7. ISO 9001 : 2008. Quality management systems. Requirements. (Системи керування якістю. Вимоги). — BSI, 2008 — 40 p. ■