



Співпраця з Іскростаном — ПОТУЖНИЙ ПОШТОВХ ДЛЯ НОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Як відомо, литі нікелеві жароміцні сплави, що використовуються для виготовлення деталей авіаційних і наземних газотурбінних двигунів, мають проблеми зі зварюваністю. Вони проявляють схильність до утворення тріщин у процесі як зварювання плавленням, так і подальшої термічної обробки зварних з'єднань.



Автор статті

Яровицин Олександр,
кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України

Більше 50 років вітчизняні та закордонні дослідники та технологи зварювання працюють над вирішенням цієї проблеми. Проте на сьогоднішній день вона ще далека від повного розв'язку. Найбільш ефективна технологія — обмеження тепловкладень від зварювального джерела нагріву у виріб. Але попередній практичний досвід показав, що жодна зі значної кількості раніше розроблених технологічних рекомендацій не дає повної гарантії щодо відсутності тріщин у відповідних зварних з'єднаннях. Тому на сьогоднішній день технологічний процес зварювання деталей з нікелевих жароміцних сплавів включає ряд спеціальних способів зварювання плавленням, які, на жаль, не є універсальними для вирішення всіх виробничих завдань і є комплексним поєднанням як мінімум декількох відомих технологічних рекомендацій.

У 90-х роках 20 ст. за пропозицією співробітника ІЕЗ ім. Є. О. Патона д-ра техн. наук В.С. Савченка при зварюванні нікелевих жароміцних сплавів започатковано застосування плазмового джерела нагріву прямої полярності та дисперсної присадки у вигляді порошку, що дозволило формувати метал зварного шву або наплавлений метал з матеріалів, близьких за хімічним складом до матеріалу зварюваної деталі. Як розвиток зазначеного підходу на початку 2000-х років під керівництвом академіка НАН України К. А. Юценка була створена технологія мікроплазмового порошкового наплавлення (рис. 1), що дозволяє формувати зварні з'єднання при силі струму

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ПРОЦЕСУ МІКРОПЛАЗМОВОГО ПОРОШКОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ ДЕТАЛЕЙ АВІАЦІЙНИХ ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ З ВАЖКОЗВАРЮВАНИХ НІКЕЛЕВИХ ЖАРОМІЦНИХ СПЛАВІВ

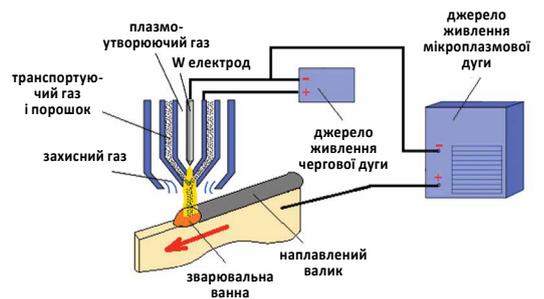


Рисунок 1. Процес мікроплазмового порошкового наплавлення жароміцних нікелевих сплавів

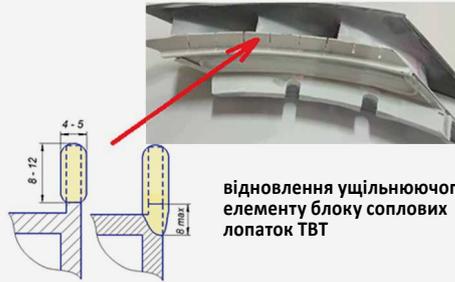
до 35 А. На відміну від аргонодугового процесу ця технологія дозволяє виконувати бездефектні зварні з'єднання на нікелевих жароміцних сплавах типу ЖС6 і ЖС32 й успішно застосовується на таких українських авіаційних підприємствах, як ДП «Запорізьке машинобудівне конструкторське бюро «Прогрес» ім. академіка О.Г. Івченка» (з 2005 р.), АТ «Мотор Січ» (з 2008 р.) і ДП «Луцький ремонтний завод «Мотор» (з 2015 р.) для відновлення кромки робочих і соплових лопаток авіаційних двигунів. Тривалий досвід практичного використання мікроплазмового порошкового наплавлення показав, що воно може успішно конкурувати з лазерно-порошковим наплавленням, передусім — через значно меншу вартість спеціалізованого обладнання.

На сучасному етапі, у зв'язку з новими вимогами авіаремонтного виробництва щодо розширення застосування процесу мікроплазмового порошкового наплавлення при відновленні експлуатаційних пошкоджень деталей авіаційних газотурбінних двигунів і збільшення обсягу наплавлення від 0,5–2,0 см³ до 10–20 см³, у 19-му відділі ІЕЗ ім. Є. О. Патона значна увага приділяється механічним випробуванням зварних з'єднань при температурах до 1100 °С. При розробці технології серійного ремонту відповідні експериментальні дані необхідні для раціонального вибору присадного матеріалу під конкретні температурно-силові умови експлуатації відновлюваної деталі, режиму термічної обробки відновленої деталі та прогнозування працездатності отриманого зварного з'єднання як у цілому, так і окремих його складових — напавленого металу, зони термічного впливу.

Обмежена зварюваність литих нікелевих жароміцних сплавів не дозволяє використовувати традиційні підходи до оцінки механічних властивостей зварних з'єднань або напавленого металу. Справа в тому, що це потребує значного обсягу матеріалу для виготовлення зразків, які використовуються в механічних випробуваннях. Передусім — через необхідність значного збільшення кількості тепловкладень у виріб порівняно з промисловими режимами, що з великою ймовірністю призведе до формування тріщин ще на стадії підготовки зварної заготовки. По-друге, — через значну кількість необхідних зразків для механічних випробувань і, відповідно, великих витрат високовартісних сучасних нікелевих жароміцних сплавів.

Тому в нашому відділі послідовно проводяться роботи з удосконалення методології механічних випробувань, направлені на зменшення габаритних розмірів типового зразка. Тривалий час як вимушене рішення використовувалося вварювання робочої частини зразка в захвати (рис. 2). Проте ця

**ПРИКЛАДИ ВИРІШЕННЯ ЗАВДАНЬ
ВІДНОВЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ДЕТАЛЕЙ АВІАЦІЙНИХ ГТД**



відновлення ущільнюючого елемента блоку соплових лопаток ТВТ



відновлення гребінця на бандажній полиці робочої лопатки ТВТ



відновлення пера стулки реактивного сопла

Рисунок 1. Процес мікроплазмового порошкового наплавлення жароміцних нікелевих сплавів (продолжение)



Рис. 2. Зовнішній вид зразків для механічних випробувань із ввареними захватами, що використовувалися раніше

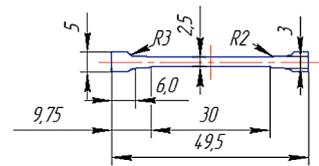
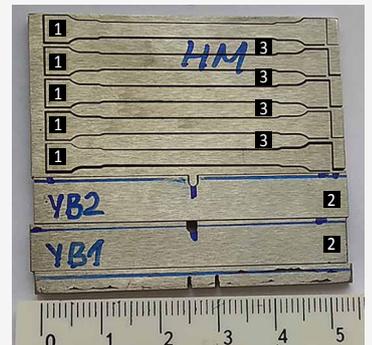


Рис. 3. Креслення мініатюрного зразка для випробувань на статичний розтяг



зварна заготовка (багатошарове наплавлення)



електроерозійна вирізка зразків для механічних випробувань

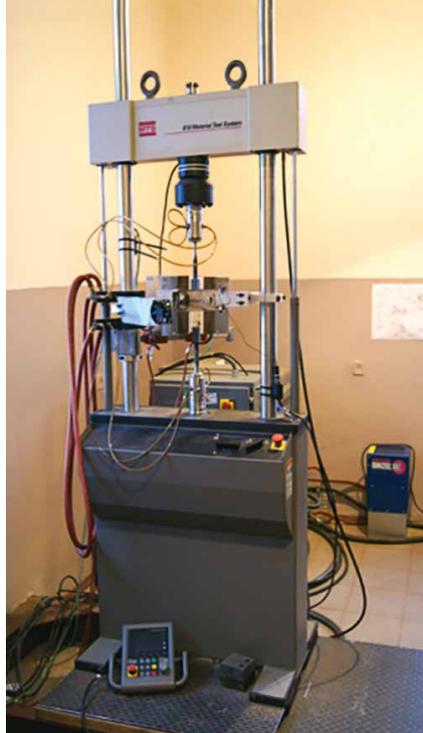
Рис. 4. Схема підготовки зразків для механічних випробувань з напавленого металу

методика мала ряд суттєвих недоліків: певні похибки в експериментальних даних, викликані негативним впливом термічних циклів зварювання на робочу частину зразка; схильність до викривлень робочої частини зразка відносно захватів унаслідок дії зварювальних деформацій; значна трудомісткість виготовлення окремих захватів і зразка в цілому; великі витрати жароміцного сплаву безпосередньо на захватну частину.

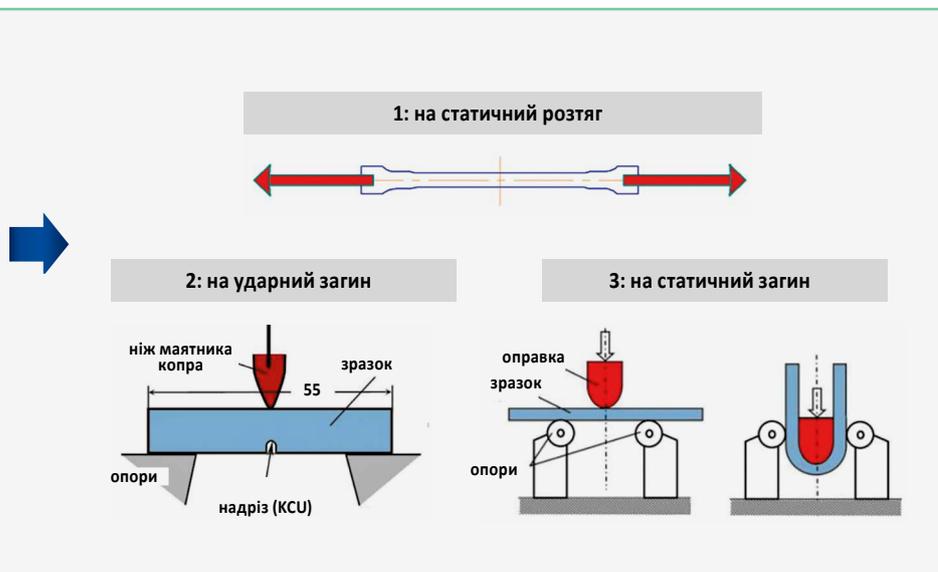
Перехід до мініатюрних зразків (рис. 3) дозволив уникнути зазначених вище методичних недоліків, але тривалий час для нашого відділу була актуальною проблема їх виготовлення в достатній кількості через складність механічної обробки нікелевих жароміцних сплавів традиційними методами.

Завдяки співробітництву з ТОВ «Іскростан» шляхом електроерозійної різки налагоджене серійне виготовлення плоских пропорційних зразків з габаритними розмірами 5..8,5 × 50..55 мм і перерізом їх робочої частини 6–12 мм². Ці зразки використовуються для оцінки механічних властивостей зварних з'єднань нікелевих жароміцних сплавів типу ЖС6 і ЖС32 при високих температурах: короточасних — при 20–1100 °С і тривалої міцності — при 900–1000 °С (рис. 4, рис. 5).

В умовах обмеженого фінансування вітчизняної науки завдяки використанню таких мініатюрних зразків стало принципово можливим як безпосереднє проведення системних науково-дослідних робіт, так і значне збільшення кількості проведених механічних випробувань порівняно з минулими роками. При цьому значно знизилася трудомісткість підготовки зварних заготовок і було досягнуто суттєву економію витрат високовартісного матеріалу з нікелевих жароміцних сплавів.



У 2021 р. у нашому відділі з метою подальшої інтенсифікації науково-дослідної роботи започатковано програму реалізації нового циклу технологічних заходів з прискорення підготовки зварних заготовок під виготовлення зразків для механічних випробувань. І цей напрямок досліджень неможливий без тісної співпраці з компанією «Іскростан».



Багатошарове наплавлення

Капілярний контроль після проміжної механічної обробки

Капілярний контроль після шліфування поверхонь заготовки

Електроерозійна вирізка зразків

Капілярний контроль після електроерозійної вирізки зразків

Капілярний контроль зразків після призначеної термічної обробки

Рис. 5. Основні етапи підготовки заготовок і зразків наплавленого металу нікелевих жароміцних сплавів типу ЖС6 і ЖС32 для випробувань на високотемпературну тривалу міцність