

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ“

На правах рукопису

Р И Ж О В
Роман Миколайович

УДК 621.791.753.9

**ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ДІЙ ДЛЯ
СТАБІЛІЗАЦІЇ ЯКОСТІ ШВІВ ПРИ РУЧНОМУ
TIG-ЗВАРЮВАННІ ЖАРОМІЦНИХ СТАЛЕЙ**

05.03.06 —

**технологія та обладнання для зварювання
і споріднених процесів**

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

Київ 1996



00740377 (S)

Робота виконана в Національному технічному університеті України "Київський політехнічний інститут".

Науковий керівник: доктор технічних наук,
професор Черниш В.П.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук
Ліподаєв В.Н.

кандидат технічних наук
Карпенко А.С.

Провідна установа: Київське авіаційне підприємство "Авіам".

Захист відбудеться "22" квітня 1996 р. о 15⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 01.02.10 по присудженню вченого ступеня доктора технічних наук в Національному технічному університеті України "Київський політехнічний інститут", корпус 23, -аудиторія 323.

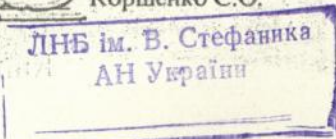
З дисертацією можна ознайомитись в науково-технічній бібліотеці інституту.

Відгук на автореферат (1 примірник, затверджений печаткою) прохання направляти за адресою: 252056, Київ-56, проспект Перемоги, 37, КПІ - 213.

Автореферат розіслано "22" березня 1996 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради

Коршенко С.О.



ЛННБ ім. В. Стефаніка
АН України

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. При виготовленні вузлів та конструкцій із жароміцних сталей головною метою лобих змін базових способів та технологій зварювання є, перш за все, запобігання утворенню в швах тріщин. У випадку застосування ручного ТІГ-зварювання розв'язок цієї задачі ускладнюється порушеннями встановлених параметрів режиму типовими збуреннями (за довжиною дуги, швидкістю зварювання, положенням електрода відносно лінії та площини з'єднання).

Найбільш розповсюдженими на цей час заходами боротьби з гарячими тріщинами є металургійні, такі як використання модифікаторів, створення двофазної структури. Однак при їх використанні можуть погіршуватись інші показники якості, наприклад загальна корозія. Підвищення якості з'єднань можливо застосуванням способів зварювання з зовнішнім фізичним впливом на метал зварювальної ванни. Зварювання з електромагнітними діями (ЕМД) в порівнянні з іншими способами (низькочастотна механічна вібрація, ультразвукова обробка розплава, імпульсна подача присаджувального дроту) має відомі переваги, в тому числі з позиції техніки адійснення. Максимальний ефект від застосування ЕМД можливо одержати в випадку вибору оптимальних для даних умов зварювання параметрів його керуючої дії. При ручному ТІГ-зварюванні, враховуючи труднощі в підтриманні на необхідному рівні їх величин, ця задача є особливо актуальною.

Роботи виконувались з урахуванням завдань держбюджетних науково-дослідних робіт за планом Міністерства України N2519 "Розробка технології та зварювального обладнання для ручного ТІГ-зварювання спеціальних сталей та сплавів" та ДКНТ України N74-93 "Модульні системи автоматичного керування якістю зварних з'єднань шляхом застосування ЕМД при дуговому зварюванні".

Метою роботи є забезпечення заданих показників якості швів при ручному ТІГ-зварюванні з ЕМД в умовах типових збурень шляхом оптимізації параметрів керуючої електромагнітної дії за показниками технологічної міцності.

Для досягнення цієї мети в роботі вирішувались такі задачі:

1. Визначення залежностей параметрів технологічної міцності від керуючої ЕМД в умовах дії збурень за швидкістю зварювання та довжиною дуги;

2. Розробка математичної моделі впливу ЕМД на показники технологічної міцності для оптимізації призначення параметрів керуючої дії;

3. Створення малогабаритних пальників для ручного TIG-зварювання з ЕМД;

4. Розробка системи керування ЕМД як складової аварійного обладнання.

Методи досліджень. В роботі використовували стандартні методи визначення показників технологічної міцності. Застосування розробленої на базі сучасних засобів обчислювальної техніки автоматизованої системи збору та первинної обробки експериментальних даних дозволило підвищити точність контролю і усунути суб'єктивність при їх обробці. Побудова математичних моделей здійснювалась за методом ідентифікації систем.

Наукова новина. Встановлено, що при зварюванні з ЕМД жароміцного сплаву ЕП718 опір утворенню гарячих тріщин підвищується в 3,96 рази в результаті скорочення температурного інтервалу крихкості в 1,6 рази та збільшення мінімальної пластичності в 2 рази внаслідок позитивних змін в схемі кристалізації швів.

Встановлено, що при ручному TIG-зварюванні з ЕМД нестабільність показників якості з'єднання є результатом, перш за все, дії збурень за швидкістю зварювання $V_{зв}$ та відстанню Z між торцем магнітопровода та виробом. Так збільшення $V_{зв}$ на 19% та зміни $Z \pm 16,6\%$ спричиняють зменшення опору швів утворенню гарячих тріщин відносно максимально досягнутого завдяки ЕМД рівня відповідно на 10,3% та 7,3%.

Математична модель, що пов'язує величину індукції В керуючого магнітного поля (КМП) з струмом через катушку електромагніта, діаметром сопла спеціалізованого аварійного пальника та відстанню між торцем магнітопровода та виробом, яка дозволяє аналітично визначати вплив цих параметрів на величину керуючої ЕМД.

Математична модель, що пов'язує параметри керуючої ЕМД та швидкість аварювання з показниками технологічної міцності, яка дозволяє визначати оптимальний діапазон часу реверсування t_p та індукції КМП В. Для умов ручного TIG-зварювання сплаву ЕП718 вони складають: $t_p = (0,03...0,05)с$, $B = (13...8)мТ$.

На захист вносяться такі основні положення:

1. Висновок про доцільність при призначенні режиму ЕМД застосування узагальненого показника його керуючої дії $A = B \cdot t_p$, який не залежить від способу створення ЕМД і визначає внесок КМП в забезпечення заданої кількості руху рідкого металу аварійної ванни при його електромагнітному переміщенні;

2. Залежності показників технологічної міцності сплава ЕП718 від величини показника А керуючої ЕМД при зварюванні на стабілізованому режимі;

3. Необхідність пропорційного збільшення величини показника А керуючої ЕМД відповідно до зростання швидкості зварювання;

4. Висновок про доцільність використання більших в межах заданого діапазона значень показника А інтервалів реверсування t_p КМП з метою зменшення впливу нестационарних збурень на показники технологічної міцності;

5. Математична модель впливу параметрів керуючої ЕМД на показники технологічної міцності при зварюванні в умовах типових збурень.

Практичною цінністю роботи є:

- система керування ЕМД, виконана як самостійна плата, що розміщена в касеті блоків керування джерелом живлення ВСУ-315, що дозволяє зберегти типову компоновку обладнання зварювального поста та спростити електричні схеми САК ЕМД;

- пальники для ручного ТІГ-зварювання з ЕМД, які забезпечують однорідність індукції КМП у діапазоні її значень, що використовують при цьому способі зварювання, задовільний огляд місця зварювання, мають підвищену ремонтоздатність і маневреність;

- прилад, що дозволяє контролювати величину показника А керуючої ЕМД як при синусоїдальних так і несинусоїдальних магнітних полях;

- технологічні рекомендації, що дозволяють підвищити показники якості зварних швів при ручному ТІГ-зварюванні жароміцних сталей.

Апробація роботи. Основні матеріали і результати дисертаційної роботи доповідалися на науковому семінарі кафедри ЕЗУ КПІ та міжнародній науково-технічній конференції "Металлургия сварки и сварочные материалы" м. Санкт-Петербург, 1993.

Публікації. За матеріалами та результатами дисертації опубліковано 4 роботи.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків по розділах, загальних висновків, переліка використаної літератури. Текстова частина містить 76 сторінок машинописного тексту, 51 рисунок та 2 таблиці.

У вступі обгрунтована актуальність розвитку ручного ТІГ-зварювання шляхом застосування зовнішніх ЕМД.

В першому розділі зроблено системний аналіз типових для ручного ТІГ-зварювання дефектів і шляхів їх запобігання,

ефективності використання ЕМД для впливу на показники якості зварних з'єднань.

В другому розділі подано матеріали по методикам досліджень, структурі та апаратним засобам експериментальної установки, визначено узагальнений показник А керуючої ЕМД і описано прилад для контролю його величини.

В третьому розділі подано результати експериментальних досліджень впливу параметрів ЕМД, в тому числі при типових абуреннях за швидкістю зварювання та довжиною дуги, на показники технологічної міцності сплава ЕП718, які узагальнені в вигляді математичної моделі. Описано визначення оптимального діапазона параметрів КМП.

В четвертому розділі викладені результати розробок блоків керування ЕМД, спеціалізованих пальників для ручного ТIG-зварювання з ЕМД та подано технологічні рекомендації для практичної реалізації цього способу зварювання.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

В промисловості є багато галузей, в яких специфіка експлуатації виробів вимагає використання жароміцних сталей та сплавів зі значною кількістю з'єднань, що виконуються ручним ТIG-зварюванням. Забезпечення заданої якості та експлуатаційної надійності таких зварних з'єднань утруднюється підвищенням рівнем збурюючих дій як об'єктивного, так і суб'єктивного характеру. Це може приводити до появи як дефектів формування, так і металургійних дефектів. Найбільш розповсюдженими на цей час заходами боротьби з дефектами швів є металургійні, такі як використання модифікаторів, створення двохфазної структури. Однак при їх використанні можуть погіршуватись інші показники якості, наприклад загальна корозія. Зменшення кількості дефектів також можливо шляхом жорсткого регламентування параметрів режиму зварювання. Але при ручному ТIG-зварюванні ці заходи здійснити складно. Підвищення якості з'єднань можливо застосуванням способів зварювання з зовнішнім фізичним впливом на метал зварювальної ванни. Враховуючи специфіку ручного ТIG-зварювання достатньо результативним і відносно простим з позиції техніки здійснення є використання ЕМД. Особливістю застосування ЕМД при цьому способі зварювання є те, що завдяки збурюючим діям існують труднощі в підтримці параметрів КМП на необхідному рівні. За цих обставин необхідна оптимізація режиму ЕМД, яку для умов зварювання жароміцних сталей та сплавів здійснювали відносно опорю швів утворенню гарячих тріщин,

який є визначаючим показником якості для данного класу матеріалів.

Дослідження здійснювали за методикою, в якій опірність зварних швів утворенню гарячих тріщин оцінюють за таким об'єктивним показником технологічної міцності як різниця граничного темпу деформації і темпу вільної температурної деформації ($\alpha_r - \alpha_b$), для яких відомі залежності:

$$\alpha_r = \frac{\Pi_{\min}}{\Delta T_k} \quad (1)$$

$$\alpha_b = \frac{\Delta l_b}{\Delta T_k} \quad (2)$$

де: ΔT_k - протяжність температурного інтервалу крижкості; Π_{\min} - мінімальна пластичність; Δl_b - величина вільної температурної деформації.

Величину ΔT_k визначали шляхом фіксації температур на границях гарячої тріщини, яку моделювали шляхом імпульсного деформування зразків в напрямку, перпендикулярному напрямку аварювання. Величину Δl_b фіксували на відповідній осцилограмі в момент прикладення зовнішньої деформації. Для визначення Π_{\min} проводили випробування з поступовим зменшенням примусової деформації до значень Δl , які не призводять до утворення тріщин. При цьому вважали що:

$$\Pi_{\min} = \Delta l_r + \Delta l_b \quad (3)$$

При аварюванні ЕМД за способом КПШ магнітне поле є керуючою дією, параметрами якої є діюче значення індукції в одному імпульсі, протяжність інтервалу реверсування та амплітуда зміни індукції за період інтервалу реверсування. Кожний з цих трьох параметрів впливає на процеси, які відбуваються при застосуванні ЕМД. Тому, при призначенні режиму необхідно знати залежність керованої величини, якою може бути той чи інший показник якості зварного з'єднання, від кожного із цих параметрів. Іншим шляхом вирішення цієї задачі є визначення залежності керованої величини від узагальненого показника ЕМД з урахуванням її внеску в процеси масоперенесення.

Для того щоб рідкий метал зварювальної ванни здійснював примусові рухи вздовж фронтів плавлення та кристалізації, йому необхідно надати кількість руху:

$$\vec{P} \cdot t = m \cdot (\vec{V} - \vec{V}_0) \quad (4)$$

де: m - маса елементарного об'єму рідкого металу; $(\vec{V} - \vec{V}_0)$ - його швидкість з урахуванням початкових умов. Добуток сили \vec{F} , яка діє на елементарний об'єм рідкого металу, на час t , на протязі якого вона діє, відомий як імпульс сили.

В випадку зварювання з ЕМД сила \vec{F} дорівнює добутку густини зварювального струму \vec{j} на індукцію КМП \vec{B} , які є величинами векторними. Час, на протязі якого діє сила \vec{F} , дорівнює інтервалу реверсування t_r . З урахуванням цього, вираз (4) можна переписати:

$$\vec{j} \times (\vec{B} \cdot t_r) = m \cdot (\vec{V} - \vec{V}_0) \quad (5)$$

В лівій частині цього рівняння \vec{j} є параметром режиму зварювання, добуток $(\vec{B} \cdot t_r)$ є узагальненим показником керулової ЕМД. В подальшому його позначали літерою \vec{A} . Тобто:

$$\vec{j} \times \vec{A} = m \cdot (\vec{V} - \vec{V}_0) \quad (6)$$

З урахуванням можливості застосування при зварюванні з ЕМД різних законів зміни величини індукції за період інтервалу реверсування цей показник слід визначати як:

$$A = \int_0^{t_r} |B(t)| dt \quad (7)$$

Визначення показників технологічної міцності здійснювали при зварюванні на режимі, який відповідав умовам штатної технології: швидкість зварювання $V_{zw} = 6,3 \text{ м/г}$, зварювальний струм $I_{zw} = 70 \text{ А}$, напруга на дузі $U_{zw} = 10 \text{ В}$. Значення показника A змінювали в межах $(0..62) \cdot 10^{-3} \text{ Тс}$.

Виявлено, що при зварюванні без ЕМД $\Delta T_k = 270^\circ \text{ C}$, $\Delta l_n = 0,093 \text{ мм}$, $\Delta l_r = 0,035 \text{ мм}$, $P_{min} = 0,128 \text{ мм}$, $\alpha_r = 0,47 \cdot 10^{-3} (\text{мм}/^\circ \text{ C})$, $\alpha_n = 0,34 \cdot 10^{-3} (\text{мм}/^\circ \text{ C})$, $(\alpha_r - \alpha_n) = 0,13 \cdot 10^{-3} (\text{мм}/^\circ \text{ C})$.

При застосуванні ЕМД залежність $\Delta T_k(A)$ має вигляд кривої в мінімумом, який становить 190° C і досягається при $A = 27,54 \cdot 10^{-3} \text{ Тс}$ (рис.1). Зафіксовано незначне зменшення швидкості охолодження в ТИК $(\partial T / \partial t)$. В основному скорочення ТИК відбувається за рахунок зменшення часу знаходження матеріалу в цьому діапазоні температур. З застосуванням ЕМД Δl_n збільшується за експоненціальним законом в напрямку зростання величини показника A і при $A = 60 \cdot 10^{-3} \text{ Тс}$ дорівнює $0,165 \text{ мм}$. Це може пояснюватись

збільшенням об'єму металу, якій підлягає термічному розширенню завдяки відповідному збільшенню ширини шва. Залежність $\Delta l_r(A)$ має вигляд кривої з максимумом, який становить 0,1мм і досягається при $A=38 \cdot 10^{-5} \text{ Тс}$. Зміни деформаційної здатності зрааків можуть пояснюватись позитивним впливом ЕМД на схему кристалізації металу шва. Залежність $\Pi_{\text{min}}(A)$ є сумою залежностей $\Delta l_r(A)$ та $\Delta l_s(A)$. Свого найбільшого значення 0,26мм вона досягає при $A=40 \cdot 10^{-5} \text{ Тс}$.

Вплив ЕМД на показники технологічної міцності сплава ЕП718

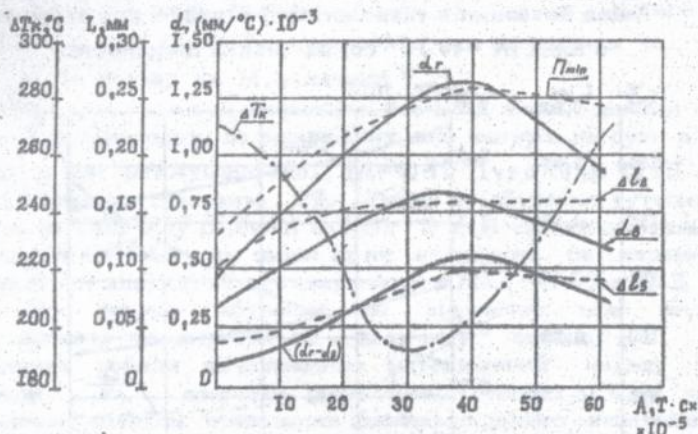
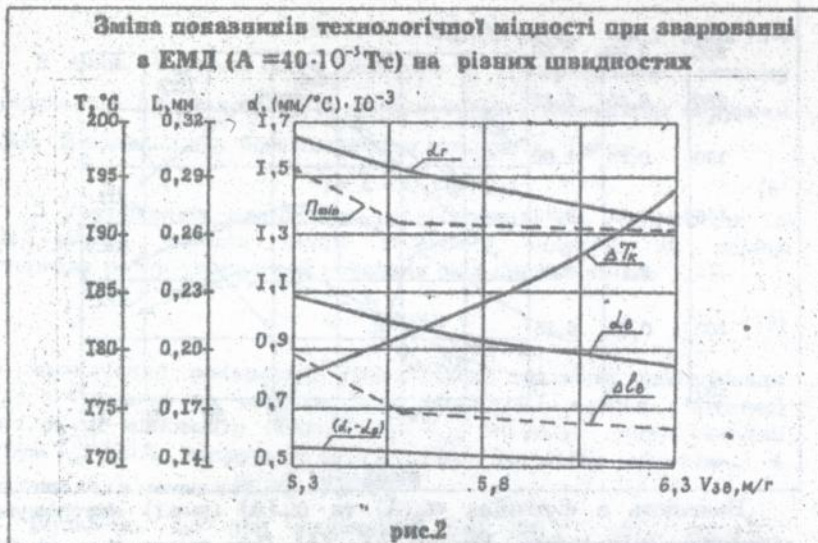


рис.1

Наявність в функціях $\alpha_B(A)$ та $\alpha_r(A)$ (рис.1) екстремума обумовлено поведінкою функції $\Delta T_k(A)$. При цьому α_B та α_r набувають найбільших значень $0,856 \cdot 10^{-3}$ та $1,348 \cdot 10^{-3} (\text{мм}/^\circ\text{C})$ відповідно при $A=35 \cdot 10^{-5}$ та $40 \cdot 10^{-5} \text{ Тс}$.

Ефективність застосування ЕМД при зварюванні сплава ЕП718 оцінювали аналізуючи поведінку функції $(\alpha_r - \alpha_B)(A)$ (рис.1). Позитивний вплив ЕМД починається в $A=5 \cdot 10^{-5} \text{ Тс}$. Оптимальним є режим, при якому A дорівнює $40 \cdot 10^{-5} \text{ Тс}$, а функція $(\alpha_r - \alpha_B)(A)$ досягає свого екстремального значення $0,515 \cdot 10^{-3} (\text{мм}/^\circ\text{C})$. В порівнянні з результатами, одержаними при зварюванні на штатному режимі, опір утворенню гарячих тріщин завдяки ЕМД збільшується в 3,96 рази.

В ході експериментів по дослідженню вплива змін швидкості зварювання на показники технологічної міцності встановлено, що при підвищенні $V_{зв}$ з 5,3 до 6,3 м/г відбувається збільшення ΔT_K : при зварюванні без ЕМД з 248 до 280 °С, а при застосуванні ЕМД ($A=40 \cdot 10^{-3}$ Тс) з 178 до 194 °С (рис.2). При такому підвищенні $V_{зв}$ для досягнення максимального ефекту від застосування ЕМД необхідно збільшувати оптимальне значення показника A з $30 \cdot 10^{-3}$ Тс до $33 \cdot 10^{-3}$ Тс. Це може пояснюватись тим, що підвищення швидкості зварювання приводить до збільшення довжини ванни. В свою чергу це збільшує протяжність



хвостової частини ванни, в якій електромагнітні сили незначні.

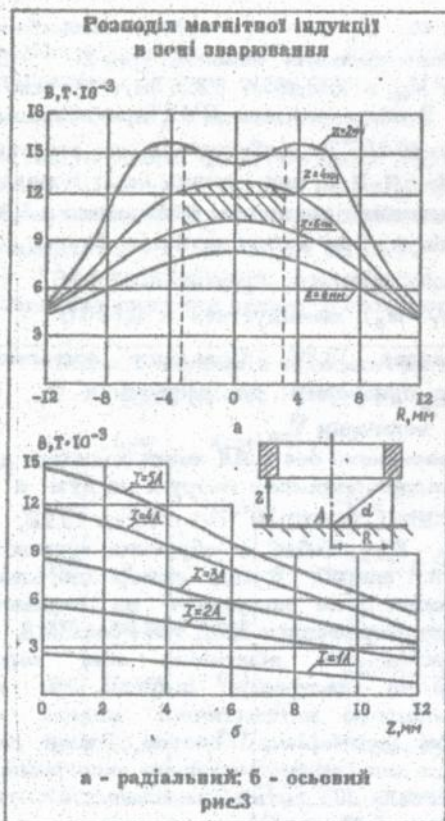
З зростанням $V_{зв}$ з 5,3 до 6,3 м/г зменшується тепловнесок в шов, що призводить до зменшення величини Δl_B : при зварюванні без ЕМД з 0,131 до 0,093 мм, що складає 29%, а з застосуванням ЕМД ($A=40 \cdot 10^{-3}$ Тс) з 0,194 до 0,161 мм (рис.2), що складає 17%. Тобто ЕМД зменшує вплив цієї збурюючої дії на величину Δl_B . Виявлено, що зміни $V_{зв}$ в цьому діапазоні суттєво не впливають на величину Δl_1 . Тому залежності $P_{шв}(A)$ при різних $V_{зв}$ відрізняються на величину Δl_3 .

Виявлено, що величини α_r , α_b та $(\alpha_r - \alpha_b)$ зі збільшенням $V_{об}$ зменшуються за експоненціальним законом (рис.2). При зварюванні без ЕМД зміни $V_{об}$ в діапазоні 5,3...6,3м/г суттєво не впливають на їх значення. З застосуванням ЕМД при збільшенні показника A від $5 \cdot 10^{-3}$ до $40 \cdot 10^{-3}$ Тс відбувається як зростання функцій $\alpha_r(A)$, $\alpha_b(A)$, $(\alpha_r - \alpha_b)(A)$, так і вплив на їх поведінку змін $V_{об}$. При цьому зі збільшенням швидкості зварювання з 5,3 до 6,3 м/г значення показника A , при якому функція $(\alpha_r - \alpha_b)(A)$ набуває свого екстремального значення, зростає з $37,5 \cdot 10^{-3}$ до $40 \cdot 10^{-3}$ Тс. При цьому $(\alpha_r - \alpha_b)$ зменшується з $0,58 \cdot 10^{-3}$ до $0,52 \cdot 10^{-3}$ (мм/С), що складає 10,3%. Подальше збільшення показника A до $62 \cdot 10^{-3}$ Тс призводить до зменшення α_r , α_b , $(\alpha_r - \alpha_b)$ та впливу на їх величини $V_{об}$.

Встановлено, що при зварюванні без ЕМД зміни довжини дуги з 1 до 2мм призводять до відповідних змін напруги на дузі з 9,8 до 10В, а при застосуванні ЕМД ($A=40 \cdot 10^{-3}$ Тс) з 10 до 10,2В, що в обох випадках становить 2%. Тобто це збурення суттєво не впливає на величину погонної енергії. В ході експериментальних досліджень в'ясовано, що зміни I_d не впливають на параметри технологічної швидкості як при зварюванні з ЕМД так і без ЕМД.

Оцінку впливу збурення за відстанню між торцем магнітопровода та виробом на величину індукції в зоні зварювання робили за допомогою математичної моделі, яку будували за способом ідентифікації систем. Вхідні данні отримували шляхом проведення ідентифікаційного експерименту. Катушка електромагніта містила 208 витків, намотаних в чотири шари мідним дротом діаметром 0,35 мм. Струм змінювали в межах 1...5 А. Індукцію вимірювали тесламетром Ф4356.

Встановлено, що в умовах експериментів (відстань між торцем магнітопровода та виробом $Z=6 \pm 1$ мм, ширина зварювальної ванни 5мм) величина індукції КМП в межах контура ванни змінюється не більше ніж на 0,25 мТ, тобто на 2,5%, відносно значення на поздовжній осі при різних значеннях Z (рис.3а). Тому для побудови математичної моделі користувались експериментальними даними, які фіксували на поздовжній осі пальника. Встановлено, що ступінь зменшення індукції при збільшенні Z прямопропорційний збільшенню струма через електромагніт (рис.3б). Математичну залежність індукції в точці A , яка знаходиться на поздовжній осі пальника в площині дзеркала ванни, від струму через електромагніт $I_{ем}$ та відстані Z до торця магнітопровода (рис.3б) шукали шляхом апроксимації за методом найменших квадратів експериментальних даних функцією виду:



$$B(Z, I_{em}) = K_0 \cdot \cos \alpha \quad (8)$$

При цьому:

$$\cos \alpha = \frac{K_1}{\sqrt{K_1^2 + Z^2}}$$

де α - кут, під яким із точки А в площині дзеркала ванни видно середній діаметр R магнітопровода (рис.3б).

Встановлено, що коефіцієнт K_1 не залежить від I_{em} і при зміні Z в межах 0...12мм складає 5,1826. При цьому коефіцієнт K_0 лінійно залежить від струму через електромагніт:

$$K_0 = 2,937 \cdot I_{em}$$

З урахуванням того, що при проведенні експериментів використовували сопло з середнім діаметром $R = 6,5$ мм залежність (8) можна подати в вигляді:

$$B(Z, I_{em}) = 2,35 \cdot I_{em} \cdot 10^{-3} \cdot \frac{R}{\sqrt{\left(\frac{R}{1,25}\right)^2 + Z^2}} \quad (9)$$

Коефіцієнти 2,35 та 1,25 залежать від конструкції магнітопровода та моткових параметрів катушки електромагніта. Коефіцієнт 10^{-3} введено для того, щоб розраховувати індукцію в Теслах. Визначення математичних залежностей $\Delta T_K(A)$, $\Delta V_B(A)$ та $\Delta J_2(A)$ здійснювали шляхом апроксимації методом найменших квадратів кривих, наведених на рис.1 та рис.2. Коефіцієнти в формулах вважали залежними як від вихідних умов, таких як теплофізичні властивості матеріалу, геометричні розміри з'єднання та величина зварювального струму, так і від швидкості зварювання.

Експериментальні данні відносно протяжності ТІК при зварюванні з ЕМД на різних швидкостях апроксимували кривою, яка описується формулою виду:

$$\Delta T_x(A) = a_0 - a_1 \cdot \text{EXP}(-a_2 \cdot (A - a_3)^2) \quad (10)$$

Встановлено, що коефіцієнт a_2 при змінах швидкості зварювання не змінює свого значення $2 \cdot 10^7$ і є масштабуючим. Інші коефіцієнти задовільно описуються емпіричними формулами:

$$a_0 = 116,43 + 63,94 \cdot (V_{\text{св}})^{0,5} \quad (11)$$

$$a_1 = 104 \cdot \text{EXP}(-1,25 \cdot 10^{-9} \cdot V_{\text{св}}^{10}) \quad (12)$$

$$a_2 = 2,2 \cdot 10^{-4} \cdot \text{EXP}(6,3 \cdot 10^{-2} \cdot V_{\text{св}}) \quad (13)$$

Із формули (10) видно, що для досягнення мінімального ΔT_x необхідно щоб показник ступеню експоненти дорівнював нулю. Це можливо тільки в випадку $A = a_3$. Тобто, при відомій швидкості зварювання $V_{\text{св}}$ за формулою (10) можна розрахувати оптимальне значення показника A , при якому величина ТІК буде мінімальною.

Експериментальні данні впливу ЕМД на величину ΔI_a при зварюванні на різних швидкостях апроксимували кривою, яка описується формулою виду:

$$\Delta I_a(A) = b_0 \cdot \text{EXP}((b_1 \cdot A + b_2)^{-0,5}) \quad (14)$$

Виявлено, що коефіцієнт b_1 є масштабуючим і складає 10^2 . Інші коефіцієнти задовільно описуються формулами:

$$b_0 = 0,375 \cdot \text{EXP}(-0,11 \cdot V_{\text{св}}) \quad (15)$$

$$b_2 = 14,83 \cdot \text{EXP}(-0,327 \cdot V_{\text{св}}) \quad (16)$$

З урахуванням цього залежність (14) приймає вигляд:

$$\Delta I_a = 0,375 \cdot \text{EXP}(-0,11 \cdot V_{\text{св}}) \cdot \frac{1}{(A + 14,83 \cdot \text{EXP}(-0,327 \cdot V_{\text{св}}))^{0,5}} \quad (17)$$

Із неї видно, що підвищення швидкості зменшує, а застосування ЕМД децю збільшує величину вільної температурної деформації. При цьому на зміни ΔI_a в більшій мірі впливає швидкість зварювання.

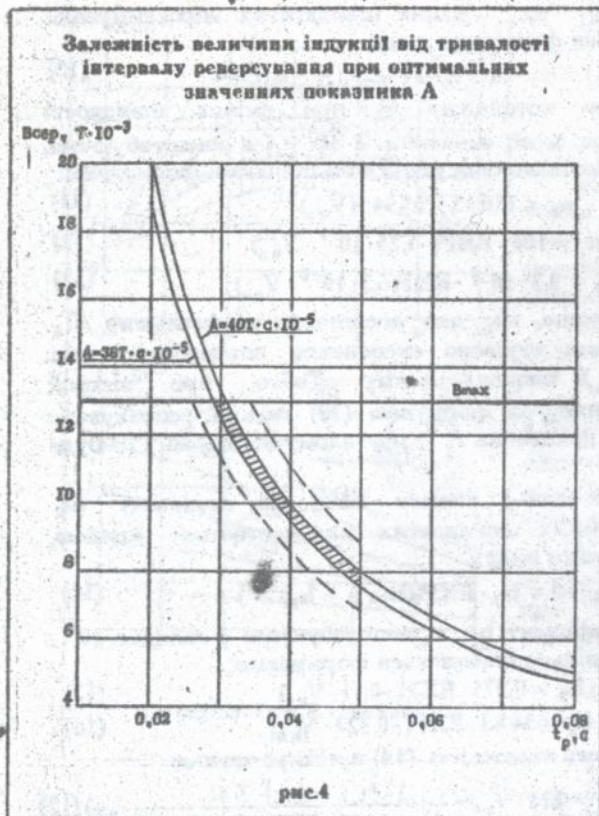
Апроксимацію експериментальних даних впливу ЕМД на величину ΔI_a здійснювали кривою, яка описується формулою вида:

$$\Delta I_a = c_0 \cdot A^3 \cdot \text{EXP}(-c_1 \cdot A) + c_2 \quad (18)$$

З урахуванням того, що при проведенні експерименту не зафіксовано змін величини ΔI_a при змінах швидкості зварювання в межах 5,3...6,9 м/г, остаточною формулою не містить цього параметру.

$$\Delta I_p = 0,034 + 1,31 \cdot A^3 \cdot \text{EXP}(-6630 \cdot A)$$

(19)



Після визначення ΔT_k , ΔI_p та ΔI_s величини Π_{\min} , α_B та α_T розраховували за формулами (1), (2) та (3).

Виявлено, що для діапазона $V_{\text{ср}} = (5,3 \dots 6,3) \text{ м/г}$, при якому можливо задовільне формування шву, функція $(\alpha_T - \alpha_B)(A)$ має екстремуми при $A = (38 \dots 40) \cdot 10^3 \text{ T} \cdot \text{с}$. Виходячи з того, що:

$$A = V_{\text{ср}} \cdot t_p$$

розраховували величини середньої індукції $V_{\text{ср}}$ при різному часі інтервалу реверсування t_p (без-

перервні криві на рис.4). Виходячи із необхідності мінімізації масогабаритних показників спеціалізованих пальників максимально можлива величина індукції КМП в зоні зварювання $V_{\text{max}} = 13 \text{ мТ}$ (горизонтальна лінія на рис.4). Враховуючи те, що t_p задають дискретно з кроком $0,01 \text{ с}$, його тривалість повинна бути не меншою за $0,03 \text{ с}$. Відомо, що кристалізація гетерогенних сплавів має преривчастий характер і що t_p не повинен бути більшим ніж час прискороного росту кристалітів, який для даного класу матеріалів складає $0,03 \dots 0,05 \text{ с}$.

Виходячи з цього оптимальний діапазон параметрів режиму ЕМД при зварюванні сплава ЕП718 обмежується значеннями $t_p = 0,03 \dots 0,05 \text{ с}$, при яких $V_{\text{ср}}$ змінюється в діапазоні $13 \dots 7,5 \text{ мТ}$ (заштрихована область на рис.4). Ефективність

застосування ЕМД залежить від точності підтримки в процесі зварювання параметрів його керуючої дії. З урахуванням того, що в процесі зварювання відстань між торцем магнітопровода та виробом Z може змінюватись в межах $\delta \pm 1$ мм, за формулою (9) розраховали зміни величини індукції в зоні зварювання (штрихові криві на рис.4). Для цих умов вони складають 10%. Шляхом розрахунку за формулами (1), (2), (3), (10)...(19) встановлено, що при таких змінах індукції КМП опір утворенню гарячих тріщин може знижуватись на 7,3% відносно максимально досягнутого рівня. Враховуючи те, що завдяки застосуванню ЕМД цей показник збільшується в 3,96 рази, таке погіршення можна вважати незначним.

Аналіз характеру кривих, поданих на рис.4 дозволяє зробити висновок, що в визначеній області оптимальних значень параметрів керуючої ЕМД типові збурення впливають на величину $V_{\text{ср}}$ тим менше, чим більше вибрана тривалість t_p . Тобто, для стабілізації якості швів при ручному ТІГ-зварюванні з ЕМД необхідно призначати режими, параметри яких знаходяться в оптимальній області і характеризуються збільшеними тривалостями інтервала реверсування і зменшеними величинами індукції магнітного поля.

Визначені оптимальні величини параметрів КМП були вихідними при розробці комплекту спеціалізованого обладнання для практичної реалізації ручного ТІГ-зварювання з ЕМД. Пости для цього способу зварювання часто оснащені джерелами живлення (ДЖ) ВСВУ-315, в касеті для блоків керування яких може бути розміщено розроблений блок програмного керування (ВПК) ЕМД Ф-01Р, виконаний в вигляді окремої плати, наприклад замість тригерного блока, який при цьому способі зварювання не використовують. Завдяки цьому забезпечується компактність комутації до пального зовнішніх пристроїв та зберігається типова компоновка обладнання зварювального поста. До тогож, використання апаратних засобів ДЖ дозволяє спростити електричні схеми ВПК ЕМД.

В розробленій гаммі пальників для ручного ТІГ-зварювання з ЕМД на номінальні зварювальні струми 90, 150 та 250А застосована двохелементна конструкція магнітопровода, що дозволяє використовувати змінні сопла різної конфігурації та довжини, а також забезпечує зручність у їх заміні. Моточні параметри обмоток електромагнітів забезпечують величину індукції КМП в зоні зварювання в межах до 15мТ. Система примусового водяного охолодження пальників гарантує такий тепловий режим сопла, при якому зберігаються ферромагнітні властивості матеріалу сопла при довготривалій роботі на максимальному зварювальному струмі.

В основу роботи розробленого приладу для вимірювання показника A покладен індукційний метод вимірювань з пасивним перетворенням. В якості первинного перетворювача застосовано багатовитковий контур діаметром 6 мм та висотою 0,6 мм, що дозволяє здійснювати вимірювання в площині дзеркала зварювальної ванни з урахуванням її геометричних розмірів та реального віддалення від торця електромагніта. Для забезпечення можливості роботи приладу в складі модернізованих варіантів ВПК ЕМД його виконано в вигляді автономної плати розмірами 100 × 160 мм.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Особливістю ручного ТІГ-зварювання є залежність умов формування швів і показників якості з'єднань від типових збурень, таких як зміни швидкості зварювання та довжини дуги.

2. Якість швів жароміцних сталей значною мірою визначається опірністю утворенню гарячих тріщин, яка в свою чергу залежить від умов формування та кристалізації швів. Одним зі шляхів впливу на умови формування та кристалізації швів, а відповідно, і на досягнення заданого рівня якості є застосування ЕМД.

3. Як узагальнений показник керуючої електромагнітної дії доцільно використовувати параметр $A = B \cdot t_p$ (де B - індукція КМП, t_p - інтервал реверсування), яким визначається вклад ЕМД в створення необхідної кількості руху розплава зварювальної ванни, в процесі масо-теплоперенесення та кристалізації шва.

4. Об'єктивність та надійність контролю показників технологічної міцності досягається використанням розробленої автоматизованої системи збору експериментальних даних та усуненням методичних помилок шляхом стаціонарного розміщення термопар з зворотнього боку шва і розрахунком темпа вільної температурної деформації не як відношення швидкості свободної температурної деформації до швидкості охолодження в ТІК, а як відношення їх абсолютних величин на момент деформування.

5. Використання ЕМД при зварюванні на стабілізованих режимах жароміцного сплава ЕП718 підвищує мінімальну пластичність Π_{\min} в 2 рази, зменшує температурний інтервал крижкості ΔT_K в 1,6 рази, що обумовлює підвищення критерія опору утворенню гарячих тріщин $(\alpha_T - \alpha_B)$ в 3,08 рази.

6. Збільшення швидкості зварювання на 10% відносно її базового значення спричиняє зменшення на 10,3% опору швів утворенню гарячих тріщин відносно максимально досягасмого завдяки ЕМД рівня. Для стабілізації цього показника якості величину показника A керуючої ЕМД необхідно збільшувати на 6,25%.

7. При зварюванні з ЕМД зміни довжини дуги, навіть в межах $\pm 60\%$, не впливають на стабільність горіння дуги, умови формування шву та кількісні значення показників технологічної міцності.

8. При зварюванні з ЕМД зміни відстані між торцем магнітопровода та виробом в межах 6 ± 1 мм спричинюють зміни індукції КМП в межах $\pm 10\%$, що зменшує на $7,8\%$ опір утворенню гарячих тріщин відносно максимально досягнутого завдяки ЕМД рівня.

9. Створення математичної моделі, яка пов'язує параметри керуючої ЕМД та швидкість зварювання з параметрами технологічної міцності дозволило оптимізувати вибір режиму ЕМД при ручному ТІГ-зварюванні жароміцних сталей.

10. З метою збереження типової компоновки обладнання аварійного поста розроблена система керування ЕМД як самостійна плата, розміщена в касеті блоків керування джерелом живлення ВСВУ-315. Таке рішення дозволяє спростити електричні схеми САК ЕМД шляхом використання апаратних засобів джерела живлення.

11. Пальники, розроблені для ручного ТІГ-зварювання з ЕМД забезпечують однорідність індукції КМП у заданому діапазоні, задовільний огляд місця зварювання, мають підвищену ремонтоздатність, маневреність та меншу на 40% масу відносно відповідних серійних пальників типу РГА.

12. Для контролю параметра А, як узагальненого показника керуючої ЕМД, при використанні як синусоїдальних, так і несинусоїдальних КМП розроблено прилад, який виконано як окремий модуль САК ЕМД.

Основний зміст дисертаційної роботи відображено у таких публікаціях:

1. Р.Н.Рижов, І.О.Скачков, В.П.Черниш "Определение характеристик технологической прочности сварных соединений жаропрочных сплавов ЭП718 и ВЖЛ14"/Автомат. сварка, 1995, N4.

2. В.П.Черниш, В.А.Пахаренко, Р.Н.Рижов "Торелки для ручной дуговой сварки неплавящимся электродом с электромагнитным воздействием на сварочную ванну"/ Автом. сварка, 1993, N11.

3. І.О.Скачков, Р.Н.Рижов, В.П.Черниш "Методика оценки свариваемости жаропрочных сплавов по характеристикам технологической прочности"/ Международная научно-техническая конференция "Металлургия сварки и сварочные материалы", тезисы докладов, Санкт-Петербург, 1993.

4. Р.Н.Рижов, І.О.Скачков, В.Д.Кузнецов "Исследование характеристик технологической прочности жаропрочных

сплавов"/ Международная научно-техническая конференция "Металлургия сварки и сварочные материалы", тезисы докладов, Санкт-Петербург, 1993.

Особистий внесок автора. В [1] та [3] удосконалено методику визначення показників технологічної міцності та розроблено апаратні засоби для її реалізації, [4] експериментальна оцінка опору швів із сплавів ЕП718 та ВЖЛ14 утворенню гарячих тріщин, [2] здійснення температурних випробувань та перевірка працездатності розроблених пальників.

А Н Н О Т А Ц И Я

Рыжов Р.Н. Применение электромагнитных воздействий для стабилизации качества швов при ручной ТИГ-сварке жаропрочных сталей, рукопись, диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.06 "Технология и машины для сварки и родственных процессов", Национальный технический университет "Киевский политехнический институт", Киев, 1996 г. Экспериментальное исследование и математическое моделирование влияния параметров сварочного режима и электромагнитных воздействий на сопротивляемость жаропрочного сплава образованию горячих трещин. Установлен обобщенный показатель управляющего электромагнитного воздействия. Осуществлена оптимизация параметров магнитного поля.

На основе научных исследований разработан комплект специализированной аппаратуры и технологические рекомендации для практического осуществления ручной ТИГ-сварки с электромагнитными воздействиями.

Ключевые слова: ручное ТИГ-зваривание, электромагнитні дії, технологічна міцність, гарячі тріщини.

А B S T R A C T

Ryzhov R.N. Electromagnetic action application for weld quality stabilization in manual TIG welding of high-temperature steels, manuskript, dissertation for a technical science candidate degree in the speciality 05.03.06 "Technology and equipment for welding and related processes", National Technical University "Kiev Polytechnic Institute", Kiev, 1996. Experimental research and mathematical modelling welding parameters and electromagnetic action effect on high-temperature alloy resistance to hot cracks development. General index of operating electromagnetic action is determined. Optimization of magnetic field parameters is done.

On the base of scientific research set of specialised equipment is designed and technological recommendation for performance of manual TIG welding with electromagnetic action are given.

ЛІБ ім. М. Старицького
АН Ужгород

Підл. до друку 6.03.96. Формат 60x84/16. Пап. офс. № 2. Дфс. друк.
Ум. друк. арк. 0,93. Ум. фарбо-відб. 1,16. Обл.-вид. арк. 0,96.
Тираж 100 прим. Зам. 6-106р.

ІЕС Ім. Е.О.Патона. 252650 Київ 5, МСП, вул. Горького, 69.
ВВП ІЕС Ім. Е.О.Патона. 252650 Київ 5, МСП, вул. Горького, 69.

444945

AB 34.313

AB 34.313