

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАНУ
Товариство зварників України
Науково-дослідний інститут спеціального обладнання в провінції Чжецзян
Міжнародна Асоціація «Зварювання»

Міжнародна конференція

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ З'ЄДНАННЯ МАТЕРІАЛІВ

Збірка тез пленарних та стендових доповідей
Програма конференції

31 травня – 2 червня 2021
Київ, ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України



Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАНУ
Товариство зварників України
Науково-дослідний інститут спеціального обладнання в провінції Чжецзян
Міжнародна Асоціація «Зварювання»

Міжнародна конференція

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ З'ЄДНАННЯ МАТЕРІАЛІВ

Збірка тез пленарних та стендових доповідей

Програма конференції

31 травня – 2 червня 2021

Київ, ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України



Сучасні технології з'єднання матеріалів: Тези допов. міжнар. конф. під ред. Л.М. Лобанова / Київ: Міжнародна Асоціація «Зварювання», 2021. — 56 с.

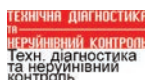
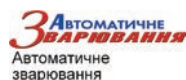
В збірці представлено 52 тези доповідей міжнародної конференції «Сучасні технології з'єднання матеріалів», в яких відображені останні досягнення та практичні результати в галузі зварювання та споріднених технологій, отримані фахівцями з України, Польщі, Словаччини та Китаю.

Організатори конференції висловлюють подяку наступним організаціям та компаніям:

- Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України
- Науково-дослідний інститут спеціального обладнання в провінції Чжецзян, Китай
- ТОВ «Патон Інтернешнл»
- ДП «Міжнародний центр електронно-променених технологій ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України»
- ПрАТ «Плазматек»
- ТОВ «ТМ.ВЕЛТЕК»
- ТОВ «Інтерхім-БТВ»
- ТОВ «Вітаполіс»

за надану допомогу в проведенні конференції.

Інформаційна підтримка конференції



Видавничий проект *О.Т. Зельніченко*

Комп'ютерна верстка *Т.Ю. Снегірєва*

Свідоцтво серія ДК, № 3497 від 4 червня 2009 р.

Тези публікуються в авторській редакції.

© Міжнародна Асоціація «Зварювання», 2021

© Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона, 2021

ЗМІСТ

ПРОГРАМА КОНФЕРЕНЦІЇ	9
ПЛЕНАРНІ ДОПОВІДІ	17
<i>Лобанов Л.М.</i> Стан та напрямки розвитку зварювального виробництва	17
<i>Адджамський С.В., Кононенко Г.А., Подольський Р.В.</i> Підвищення продуктивності СЛП-процесу шляхом регулювання діаметра фокусної плями променя лазерного пучка	18
<i>Ахонін С.В., Білоус В.Ю., Селін Р.В., Петриченко І.К., Радченко Л.М.</i> Аргонодугове зварювання високоміцного економно-легованого псевдо- β -титанового сплаву Ti-2,8Al-5,1Mo-4,9Fe	18
<i>Бондаренко Ю.К., Потап'євський А.Г., Артюх К.О.</i> Дослідження проблеми управління якістю при розвитку системи обстеження зварних конструкцій з легких сплавів	18
<i>Гречанюк І.М., Гречанюк М.І., Гречанюк В.Г.</i> Сплави Ni(Co)CrAlYSi для захисних покриттів	19
<i>Дмитрик В.В., Касьяненко І.В., Латинін Ю.М.</i> Структурний стан і пошкоджуваність металу зварних з'єднань паропроводів	20
<i>Завдовсєв А.В., Позняков В.Д., Денисенко А.М., Гайворонський О.О., Vaudin T.</i> Визначення оптимальних параметрів зварювання пульсуючою дугою для отримання заданої глибини проплавлення при зварюванні високолегованим зварювальним матеріалом	20
<i>Квасницький В.В., Матвієнко М.В., Квасницька Ю.Г., Бутурля Є.А.</i> Планування експерименту при розробці припоїв для паяння жароміцних нікелевих сплавів суднових газових турбін	21
<i>Ковальчук Д.В.</i> Технологія металевого 3D друку xBeam 3D Metal Printing на шляху до промислового впровадження	21
<i>Коржик В.М.</i> Розвиток та нові можливості плазмово-дугових технологій в з'єднанні та обробці матеріалів	22
<i>Коржик В.М., Гринюк А.А., Хаскін В.Ю., Ілляшенко Є.В., Клочков І.М., Ганущак О.В., Ю Сюефен, Хуан Люї.</i> Підвищення ефективності роботизованого виготовлення сталевих фермових зварних конструкцій	25
<i>Коржик В.М., Квасницький В.В., Алешин А.А., Короб М.Ф.</i> Розвиток передових зварювальних технологій в спільній лабораторії зварювання і споріднених процесів	25
<i>Костін В.А., Жуков В.В., Берднікова О.М., Головка В.В., Кушнар'єва О.С.</i> Вплив модифікування металу зварних швів високоміцних низьколегованих сталей на їх структуру та властивості	26
<i>Кусков Ю.М., Шевченко В.Ю., Коржик В.М.</i> Модернізація печей для електрошлакового переплаву в установки для ЕШН прокатних валків в струмоподвідному кристалізаторі	26
<i>Кучук-Яценко С.І., Руденко П.М., Дідковський О.В., Антіпін Є.В.</i> Операційний контроль процесу контактного стикового зварювання залізничних рейок методом пульсуючого оплавлення	27
<i>Лобанов Л.М., Сизоненко О.М., Головка В.В., Ташев П., Ліп'ян Є.В., Присташ М.С., Торпаков А.С., Пащин М.О., Міходуй О.Л., Щарецький В.О.</i> Розрядно-імпульсна обробка модифікатора системи Al-Ti-C	27
<i>Мазур О.А., Маковецька О.К., Петрук В.С., Пустовойт С.В.</i> Ринок зварювальних матеріалів в світі та в Україні	28
<i>Максимов С.Ю., Берднікова О.М., Прилипко О.О., Алексеєнко Т.О., Половецький Є.В., Радзієвська А.А.</i> Визначення ефективності зовнішнього електромагнітного впливу на структуроутворення та поведінку дислокацій в металі зварних з'єднань, виконаних під водою	28
<i>Микитчик А.В., Яковчук К.Ю., Рудой Ю.Є., Копчевський П.М.</i> Структура та властивості конденсаційних наноструктурних покриттів на основі карбіду бора	29
<i>Нестеренков В.М., Скрябінський В.В., Русиник М.О.</i> Вплив термічних циклів електронно-променевого зварювання алюмінієвого сплаву 1570 на механічні властивості зварних з'єднань	29

<i>Ниркова Л.І., Рибаків А.О., Гончаренко Л.В.</i> Причини руйнування кільцевих зварних з'єднань магістральних газонафтопроводів	30
<i>Проценко Н.О.</i> Міжнародні та європейські норми та стандарти їх впровадження для українських компаній-виробників зварювальних матеріалів та зварних конструкцій	31
<i>Sahul Mir., Sahul Mar., Šaplovič L., Marónek M., Klochkov I., Motrunich S.</i> Analysis of the Properties of Electron Beam Welded Joints of Aluminium Lithium Alloy Latest Generation	31
<i>Сенченков І.К., Рябцев І.О., Червінко О.П., Бабінець А.А.</i> Розрахунок залишкового напружено-деформованого стану наплавлених сталевих тонколистових пластин	31
<i>Троїцький В.О., Литвиненко В.А.</i> Рівні якості зварних з'єднань та допустимі дефекти у зварних швах	32
<i>Турик Є.</i> Ремонтне зварювання деталей інжектора, що виконані з танталу	32
<i>Штофель О.О., Головка В.В., Чижська Т.Г.</i> Застосування фрактального та металографічного аналізів для оцінки якості металу зварних швів	32
СТЕНДОВІ ДОПОВІДІ	33
<i>Антіпін Є.В., Кавуніченко О.В., Дідковський О.В., Левчук А.М.</i> Математичне моделювання процесу нагріву металу при контактному стиковому зварюванні безперервним оплавленням	33
<i>Антіпін Є.В., Руденко П.М., Дідковський О.В.</i> Контроль і регулювання електричних параметрів контактної стикового зварювання оплавленням (КЗСО) в системі управління процесом	34
<i>Бондаренко Ю.К., Ковальчук О.В.</i> Сучасні законодавчі та нормативні вимоги до зварювальної продукції	35
<i>Гайворонський О.А., Берднікова О.М., Позняков В.Д., Алексеєнко Т.О., Денисенко А.М.</i> Особливості формування структурно-фазового складу та дислокаційна структура спеціальної сталі при дуговому зварюванні	35
<i>Голякевич А.А.</i> Стратегія импортозамещения порошковых проволок для сварки и наплавки на рынке Украины	36
<i>Жудра О.П., Ворончук О.П., Петров О.В., Кочура В.О., Федосенко В.В.</i> Біметалеві зносостійкі наплавлені листові конструкційні елементи	36
<i>Загорніков В.І., Нестеренков В.М., Орса Ю.В., Русиник М.О., Кравчук Л.А.</i> Дослідження технологічних і металургійних способів зниження пористості електронно-променеви зварних з'єднань на мідних частинах фурм	38
<i>Книш В.В., Рябцев І.О., Соловей С.О., Бабінець А.А., Кот В.Г.</i> Опір втомі та циклічна тріщино-стійкість сталі 40Х після зносостійкого наплавлення при виготовленні та ремонті	38
<i>Лабур Т.М., Яворська М.Р., Коваль В.А.</i> Технологічне забезпечення надійності зварних з'єднань алюмінієвих сплавів АМг5 та Д16, отриманих плавким електродом	39
<i>Ланкін Ю.М., Соловійов В.Г., Тюкалов В.Г., Романова І.Ю.</i> Математичне моделювання процесу двохелектродного електрошлакового зварювання з біфілярною схемою підключення джерела живлення	40
<i>Лобанов Л.М., Пащин М.О., Міходуй О.Л., Гончаров П.В., Сидоренко Ю.М., Устименко П.Р.</i> Моделювання напружено-деформованих станів сплаву АМГ6 внаслідок ударної дії електрода-індентора при електродинамічній обробці	41
<i>Мазур О.А., Маковецька О.К., Петрук В.С., Пустовойт С.В.</i> Економіко-статистичний аналіз світового та українського ринків зварювальних технологій	42
<i>Максимова С.В., Зволінський І.В., Іванченко Є.В.</i> Оптимізація складу сплаву системи Cu–Mn–Ni–Si для плазмового паяння сталі 08кп	42
<i>Муска Ю., Руник П., Орлов Л.Н., Голякевич А.А.</i> Опыт применения упрочняющей износостойкой наплавки рабочих органов сельхозтехники, эксплуатируемой в условиях грунтов Словакии	42
<i>Ниркова Л.І., Прокопчук С., Осадчук С.О., Гончаренко Л.В.</i> Корозія під напруженням високочастотних зварних з'єднань сталі 17Г1С за різних умов	43

<i>Осадчук С.О., Ниркова Л.І., Соловей С.О., Книш В.В.</i> Підходи до дослідження довговічності матеріалів в умовах помірною клімату	44
<i>Осокин В.А., Курапов Ю.А., Борецкий В.В., Стельмах Я.А., Литвин С.Е.</i> Получение наночастиц Fe, Cu, Ag в матрице NaCl на вращающейся подложке методом EB-PVD	45
<i>Пантелеймонов Є.О., Дацюк І.І.</i> Індукційна термічна обробка зварних стиків залізничних рейок	46
<i>Перемітько В.В., Носов Д.Г., Коломоєць І.В.</i> Дугове наплавлення з орієнтуванням зон різного складу та властивостей	46
<i>Сорока Б.С., Згурський В.О., Воробйов М.В., Савицький М.М., Прокоф'єв О.С., Губатюк Р.С., Римар С.В., Бойко Ф.С., Машинська Н.М.</i> Моделювання теплових процесів при утилізації тепла та розробка конструкції рекуператора та технологічного процесу його виготовлення	47
<i>Стельмах Я.А., Яковчук К.Ю., Дацюк В.М., Юкальчук А.А., Лецев Д.С.</i> Нанесення дискретних і суцільних покриттів на порошки та гранули методом EB-PVD	48
<i>Троїцький В.О., Карманов М.М., Михайлов С.Р.</i> Цифрові системи рентгенотелевізійного контролю	49
<i>Троїцький В.О., Карманов М.М., Михайлов С.Р., Глуховський В.Ю., Литвиненко В.А.</i> Неруйнівний контроль у зварювальному виробництві	50
<i>Тюрін Ю.М., Колісніченко О.В., Коржик В.М., Гос І.Д., Ганущак О.В., Дзін Ян, Чжун Фенпін.</i> Імпульсно-плазмові модифікування поверхні сталевих штампів гарячої витяжки виробів із титанового сплаву	51
<i>Шелягін В.Д., Бернацький А.В., Сіора О.В., Бондарєва В.І., Бродніковський М.П.</i> Структура зварних з'єднань багатокомпонентного високоентропійного сплаву системи Nb–Cr–Ti–Al–Zr, одержаних лазерним зварюванням	51
<i>Ющенко К.А., Яровицин О.В., Фомакін О.О., Хрущов Г.Д., Токмаков М.Н.</i> Досвід створення установки для мікроплазмового порошкового наплавлення на основі програмованого логічного контролера	52
<i>Євдокимов А.В.</i> Використання біметалевих листів SWIP® для захисту вентиляторної техніки. Шляхи вдосконалення технології	53
Іменний покажчик	55

Вельмишановні колеги!



З великим задоволенням вітаю всіх учасників і гостей Міжнародної конференції та виставки, присвячених сучасним технологіям з'єднання матеріалів.

Зварювання, як і раніше, залишається провідною технологією в багатьох галузях виробництва. Тому коло проблем, що винесені для обговорення в ході роботи конференції, інформація про результати та досягнення в області зварювального виробництва, а також знайомство зі зразками зварювальних матеріалів і устаткування, що представлені на виставці, сприятимуть зміцненню наукових та ділових контактів, подальшому розвитку науково-дослідних і прикладних робіт.

Традиційна плідна співпраця науки та виробництва, постійне наукове супроводження з боку Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України і активна позиція виробників зварювальних матеріалів та устаткування дозволяють забезпечити їх високу якість, широкий попит як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках. Як приклад слід зазначити, що фахівці України допомогли створити ряд виробництв зварювальних матеріалів в багатьох країнах на пострадянському просторі.

Великий інтерес, на мій погляд, представляють доповіді, що присвячені плазмово-дуговим і гібридним процесам зварювання, різання, обробки матеріалів та нанесення покриттів; технологіям 3D-друку, роботизованого зварювання при виробництві зварних конструкцій, пайки та наплавлення; контролю контактної-стикового зварювання рейок; сучасному ринку зварювальних матеріалів тощо.

Від імені Програмного комітету конференції хочу висловити щирі вдячність усім організаціям, підприємствам, компаніям і окремим фахівцям, які своєю активною підтримкою забезпечили можливість її проведення.

Висловлюю впевненість в тому, що розгляд питань, які виносяться на конференцію, обмін інформацією про досягнення, встановлення нових наукових і ділових контактів будуть сприяти розвитку нових пріоритетних напрямків досліджень у галузі зварювання та споріднених технологій і дозволять внести свій вклад в пошук та підйом промислового виробництва в нашій країні.

Бажаю всім учасникам конференції успішної роботи, великих досягнень, благополуччя та міцного здоров'я.

*Директор ІЕЗ ім. Є.О. Патона,
академік І.В. Кривцун*

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized initial 'I' followed by several fluid, connected strokes.

МІЖНАРОДНА КОНФЕРЕНЦІЯ
«СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ З'ЄДНАННЯ МАТЕРІАЛІВ»
м. Київ, Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України
31 травня – 2 червня 2021
(вул. Казимира Малевича, 11, IV корпус ІЕЗ)

ПРОГРАМА РОБОТИ

31 травня 2021, понеділок

14:00 – 17:00 Реєстрація учасників конференції
17:00 – 20:00 Дружня вечеря-зустріч

1 червня 2021, вівторок

09:00 – 12:00 Реєстрація учасників конференції
10:00 – 10:20 Відкриття конференції,
 Вступна доповідь (академік НАНУ Л.М. Лобанов)
10:20 – 11:40 Пленарні доповіді
11:40 – 12:00 Кава-брейк
12:00 – 13:20 Пленарні доповіді
13:20 – 13:40 Кава-брейк
13:40 – 15:00 Пленарні доповіді
15:00 – 15:20 Кава-брейк
15:20 – 18:00 Пленарні доповіді

10:00 – 14:00 Сесія стендових доповідей

2 червня 2021, серeda

10:00 – 11:20 Пленарні доповіді
11:20 – 11:40 Кава-брейк
11:40 – 13:00 Пленарні доповіді
13:00 – 16:00 Відвідування:
 • заводу компанії «Патон Інтернешнл», м. Київ;
 • компанії «Фроніус Україна», м. Бровари;
 • компанії «Вітаполіс», м. Боярка
(відправлення автобусів від корпусу № 4 в 13:00)

1 червня, вівторок

ПЛЕНАРНІ ДОПОВІДІ

Модератори: С.Ю. Максимов, В.Д. Позняков

Стан та напрямки розвитку зварювального виробництва

Л.М. Лобанов

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Розвиток та нові можливості плазмово-дугових технологій в з'єднанні та обробці матеріалів

В.М. Коржик

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Вплив термічних циклів електронно-променевого зварювання алюмінієвого сплаву 1570 на механічні властивості зварних з'єднань

В.М. Нестеренков, В.В. Скрябінський, М.О. Русиник

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Analysis of the Properties of Electron Beam Welded Joints of Aluminium Lithium Alloy Latest Generation

Miroslav Sahul¹, Martin Sahul², Ľubomír Čaplovič², Milan Marônek¹, Illia Klochkov³, Sviatoslav Motrunich³

¹*Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Materials Science and Technology in Trnava, Department of Welding and Joining of Materials, Trnava, Slovakia*

²*Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Materials Science and Technology in Trnava, Institute of Materials Science, Trnava, Slovakia*

³*E.O. Paton Electric Welding Institute of the NASU, Kyiv, Ukraine*

Підвищення продуктивності СЛП-процесу шляхом регулювання діаметра фокусної плями променя лазерного пучка

С.В. Аджамський¹, Г.А. Кононенко¹, Р.В. Подольський²

¹*ТОВ «Адитивні лазерні технології України», Дніпро*

²*Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України, Київ*

Міжнародні та європейські норми та стандарти їх впровадження для українських компаній-виробників зварювальних матеріалів та зварних конструкцій

Н.О. Проценко

ТОВ МНТЦ «ПАТОНСЕРТ», Київ, Україна

Структурний стан і пошкоджуваність металу зварних з'єднань паропроводів

В.В. Дмитрик, І.В. Касьяненко, Ю.М. Латинін

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна

Планування експерименту при розробці припоїв для паяння жароміцних нікелевих сплавів судових газових турбін

В.В. Квасницький¹, М.В. Матвієнко², Ю.Г. Квасницька³, Є.А. Бутурля⁴

¹*НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

²*Херсонська філія Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, Україна*

³*Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ*

⁴*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв, Україна*

Сплави Ni(Co)CrAlYSi для захисних покриттівІ.М. Гречанюк¹, М.І. Гречанюк², В.Г. Гречанюк³¹ТОВ «Елтехмаш», Вінниця, Україна²Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, Київ³Київський національний університет будівництва та архітектури, Україна**Технологія металевого 3D друку xBeam 3D Metal Printing на шляху до промислового впровадження**Д.В. Ковальчук

ПрАТ «НВО Червона Хвиля», Київ, Україна

Ремонтне зварювання деталей інжектора, що виконані з танталуЄ. Турик

Дослідницька мережа Лукасевич – Інститут Зварювання, Глівіце, Польща

Рівні якості зварних з'єднань та допустимі дефекти у зварних швахВ.О. Троїцький, В.А. Литвиненко

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Причини руйнування кільцевих зварних з'єднань магістральних газонафтопроводівЛ.І. Ниркова, А.О. Рибаків, Л.В. Гончаренко

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Структура та властивості конденсаційних наноструктурних покриттів на основі карбиду бораА.В. Микитчик¹, К.Ю. Яковчук¹, Ю.Є. Рудой¹, П.М. Копчевський²¹ДП «Міжнародний центр електронно-променевої технології

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України», Київ

²Інститут проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України, Київ, Україна**Ринок зварювальних матеріалів в світі та в Україні**

О.А. Мазур, О.К. Маковецька, В.С. Петрук, С.В. Пустовойт

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Підвищення ефективності роботизованого виготовлення сталевих фермових зварних конструкційВ.М. Коржик¹, А.А. Гринюк¹, В.Ю. Хаскін¹, Є.В. Ілляшенко¹, І.М. Клочков¹, О.В. Ганущак¹, Ю Сюефен², Хуан Люї²¹Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ²Науково-дослідний Інститут спеціального обладнання в провінції Чжецзян, КНР**Вплив модифікування металу зварних швів високоміцних низьколегованих сталей на їх структуру та властивості**В.А. Костін, В.В. Жуков, О.М. Берднікова, В.В. Головка, О.С. Кушнарєва

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Визначення оптимальних параметрів зварювання пульсуючою дугою для отримання заданої глибини проплавлення при зварюванні високолегованим зварювальним матеріаломА.В. Завдовєєв¹, В.Д. Позняков¹, А.М. Денисенко¹, О.О. Гайворонський¹, Т. Baudin²¹Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ²Université Paris-Saclay, CNRS, Institut de chimie moléculaire et des matériaux d'Orsay

2 червня 2021, середа

Модератор: В.В. Головка

Розрахунок залишкового напружено-деформованого стану наплавлених сталевих тонколистових пластин

І.К. Сенченков¹, І.О. Рябцев², О.П. Червінко¹, А.А. Бабінець²

¹Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України, Київ

²Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Аргонодугове зварювання високоміцного економно-легованого псевдо-β-титанового сплаву Ti–2,8Al–5,1Mo–4,9Fe

С.В. Ахонін, В.Ю. Білоус, Р.В. Селін, І.К. Петриченко, Л.М. Радченко

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Розрядно-імпульсна обробка модифікатора системи Al–Ti–C

Л.М. Лобанов¹, О.М. Сизоненко², В.В. Головка¹, П. Ташев³, Є.В. Липян², М.С. Присташ²,

А.С. Торпаков², М.О. Пашин¹, О.Л. Міходуй¹, В.О. Щарецький²

¹Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

²Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України, Миколаїв

³Інститут металознавства, обладнання і технологій ім. акад. Залевскі та Центр гідродинаміки Болгарської академії наук

Розвиток передових зварювальних технологій в спільній лабораторії зварювання і споріднених процесів

В.М. Коржик¹, В.В. Квасницький², А.А. Алешин³, М.Ф. Короб⁴

¹Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

²НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ

³Зовнішньо-економічне представництво Китайсько-українського інституту зварювання ім. Є.О. Патона, Київ

⁴ТОВ «Науково-виробничий Центр «ПЛАЗЕР», Київ

Операційний контроль процесу контактного стикового зварювання залізничних рейок методом пульсуючого оплавлення

С.І. Кучук-Яценко, П.М. Руденко, О.В. Дідковський, Є.В. Антіпін

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Застосування фрактального та металографічного аналізів для оцінки якості металу зварних швів

О.О. Штофель¹, В.В. Головка¹, Т.Г. Чижська²

¹Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

²НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Модернізація печей для електрошлакового переплаву в установці для ЕШН прокатних валків в струмоподвідному кристалізаторі

Ю.М. Кусков, В.Ю. Шевченко, В.М. Коржик

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Визначення ефективності зовнішнього електромагнітного впливу на структуроутворення та поведінку дислокацій в металі зварних з'єднань, виконаних під водою

С.Ю. Максимов, О.М. Берднікова, О.О. Прилипко, Т.О. Алексеєнко, Є.В. Половецький,

А.А. Радзієвська

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Дослідження проблеми управління якістю при розвитку системи обстеження зварних конструкцій з легких сплавів

Ю.К. Бондаренко, А.Г. Потап'євський, К.О. Артюх
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Стендові доповіді

Математичне моделювання процесу нагріву металу при контактному стиковому зварюванні безперервним оплавленням

Є.В. Антіпін, О.В. Кавуніченко, О.В. Дідковський, А.М. Левчук
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Контроль і регулювання електричних параметрів контактного стикового зварювання оплавленням (КЗСО) в системі управління процесом

Є.В. Антіпін, П.М. Руденко, О.В. Дідковський
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Сучасні законодавчі та нормативні вимоги до зварювальної продукції

Ю.К. Бондаренко, О.В. Ковальчук
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Особливості формування структурно-фазового складу та дислокаційна структура спеціальної сталі при дуговому зварюванні

О.А. Гайворонський, О.М. Берднікова, В.Д. Позняков, Т.О. Алексеєнко, А.М. Денисенко
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Стратегія імпортозаміщення порошкових проволочок для сварки и наплавки на рынку України

А.А. Голякевич
ТОВ «ТМ.ВЕЛТЕК», Київ

Біметалеві зносостійкі наплавлені листові конструкційні елементи

О.П. Жудра, О.П. Ворончук, О.В. Петров, В.О. Кочура, В.В. Федосенко
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Дослідження технологічних і металургійних способів зниження пористості електронно-променеви зварних з'єднань на мідних частинах фурм

В.І. Загорніков, В.М. Нестеренков, Ю.В. Орса, М.О. Русиник, Л.А. Кравчук
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Опір втомі та циклічна тріщиностійкість сталі 40Х після зносостійкого наплавлення при виготовленні та ремонті

В.В. Книш, І.О. Рябцев, С.О. Соловей, А.А. Бабінець, В.Г. Кот
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Технологічне забезпечення надійності зварних з'єднань алюмінієвих сплавів АМг5 та Д16, отриманих плавким електродом

Т.М. Лабур, М.Р. Яворська, В.А. Коваль
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Математичне моделювання процесу двохелектродного електрошлакового зварювання з біфілярною схемою підключення джерела живлення

Ю.М. Ланкін, В.Г. Соловійов, В.Г. Тюкалов, І.Ю. Романова

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Моделювання напружено-деформованих станів сплаву АМГ6 внаслідок ударної дії електрода-індентора при електродинамічній обробці

Л.М. Лобанов¹, М.О. Пашин¹, О.Л. Міходуй¹, П.В. Гончаров¹, Ю.М. Сидоренко², П.Р. Устименко²

¹*Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ*

²*НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ*

Економіко-статистичний аналіз світового та українського ринків зварювальних технологій

О.А. Мазур, О.К. Маковецька, В.С. Петрук, С.В. Пустовойт

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Оптимізація складу сплаву системи Cu–Mn–Ni–Si для плазмового паяння сталі 08кп

С.В. Максимова, І.В. Зволінський, Є.В. Іванченко

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Опыт применения упрочняющей износостойкой наплавки рабочих органов сельхозтехники, эксплуатируемой в условиях грунтов Словакии

Ю. Муска¹, П. Руник¹, Л.Н. Орлов², А.А. Голякевич²

¹*Фірма Darup s.r.o., Словаччина*

²*ТОВ «ТМ.ВЕЛТЕК», Київ*

Корозія під напруженням високочастотних зварних з'єднань сталі 17Г1С за різних умов

Л.І. Ниркова, С. Прокопчук, С.О. Осадчук, Л.В. Гончаренко

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Підходи до дослідження довговічності матеріалів в умовах помірного клімату

С.О. Осадчук, Л.І. Ниркова, С.О. Соловей, В.В. Книш

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Получение наночастиц Fe, Cu, Ag в матрице NaCl на вращающейся подложке методом EB-PVD

Осокин В.А., Курапов Ю.А., Борецкий В.В., Стельмах Я.А., Литвин С.Е.

Інститут електросварки ім. Е.О. Патона НАН України, Київ

Індукційна термічна обробка зварних стиків залізничних рейок

Є.О. Пантелеймонов, І.І. Дацюк

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Дугове наплавлення з орієнтуванням зон різного складу та властивостей

В.В. Перемигько, Д.Г. Носов, І.В. Коломоєць

Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське, Україна

Моделювання теплових процесів при утилізації тепла та розробка конструкції рекуператора та технологічного процесу його виготовлення

Б.С. Сорока¹, В.О. Згурський¹, М.В. Воробійов¹, М.М. Савицький², О.С. Прокоф'єв², Р.С. Губатюк², С.В. Римар², Ф.С. Бойко², Н.М. Машинська²

¹*Інститут газу НАН України, Київ*

²*Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ*

Нанесення дискретних і суцільних покриттів на порошки та гранули методом EB-PVD

Я.А. Стельмах, К.Ю. Яковчук, В.М. Дацюк, А.А. Юкальчук, Д.С. Лещев

ДП «Міжнародний центр електронно-променевої технології

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Цифрові системи рентгенотелевізійного контролю

В.О. Троїцький, М.М. Карманов, С.Р. Михайлов

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Неруйнівний контроль у зварювальному виробництві

В.О. Троїцький, М.М. Карманов, С.Р. Михайлов, В.Ю. Глуховський, В.А. Литвиненко

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Імпульсно-плазмове модифікування поверхні сталевих штампів гарячої витяжки виробів із титанового сплаву

Ю.М. Тюрін¹, О.В. Колісниченко¹, В.М. Коржик¹, І.Д. Гос¹, О.В. Ганущак¹, Дзін Ян², Чжун Фенпін²

¹*Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ*

²*Науково-дослідний Інститут спеціального обладнання в провінції Чжецзян, КНР*

Структура зварних з'єднань багатокомпонентного високоентропійного сплаву системи Nb–Cr–Ti–Al–Zr, одержаних лазерним зварюванням

В.Д. Шелягін¹, А.В. Бернацький¹, О.В. Сіора¹, В.І. Бондарева¹, М.П. Бродніковський²

¹*Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ*

²*Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, Київ*

Досвід створення установки для мікроплазмового порошкового наплавлення на основі програмованого логічного контролера

К.А. Ющенко¹, О.В. Яровицин¹, О.О. Фомакін¹, Г.Д. Хрушов¹, М.Н. Токмаков²

¹*Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ*

²*ТОВ «Патон Інтернешнл», Київ, Україна*

- Тривалість доповідей до 20 хв (15 хв на доповідь і 5 хв на обговорення).
- Презентація доповідей на мультимедійному проекторі.

ВИСТАВКА

«Зварювання та споріднені технології»

01 червня, 10:00 – 16:00 та 2 червня, 10:00 – 13:00,
демонстраційний зал ІЕЗ ім. Є.О. Патона, 1-й поверх 4-го корпусу.

Серед учасників виставки:

ТОВ «Патон Інтернешнл», ТОВ «ТМ.ВЕЛТЕК», ДКТБ ІЕЗ ім. Є.О. Патона, ТОВ «План-Т»,
ТОВ «Суми-Електрод», ПрАТ «Плазматек», КУІЗ ім. Є.О. Патона, ДП «МЦЕПТ ім. Є.О. Патона»,
ДП «НВЦ Титан ІЕЗ ім. Є.О. Патона», ТОВ «Червона хвиля», ТОВ «Елтехмаш»,
ТОВ «Ультракон Сервіс», Міжгалузевий учбово-агестаційний центр ІЕЗ ім. Є.О. Патона,
Товариство Зварників України, Українське товариство неруйнівного контролю
та технічної діагностики.

АДРЕСА ДЛЯ ЛИСТУВАННЯ

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України
вул. Казимира Малевича, 11,
м. Київ, 03150, Україна

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

к.ф.-м.н. Зельніченко Олександр Тимофійович

тел./факс: (38044) 200-82-77

E-mail: journal@paton.kiev.ua;

д.т.н. Ліподаєв Володимир Миколайович

тел.: (38044) 200-63-02

E-mail: vladlip41@gmail.com

к.т.н. Романова Ірина Юріївна

тел.: (38044) 205-22-26

E-mail: romanova@paton.kiev.ua;

www.pwi-scientists.com/ukr/modernweld2021

ПЛЕНАРНІ ДОПОВІДІ

СУЧАСНИЙ СТАН І НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

Академік НАН України **Л.М. Лобанов**

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Більше половини валового національного продукту промислово розвинених країн створюється за допомогою зварювання і споріднених технологій, до яких відносяться: наплавлення, паяння, різання, нанесення покриттів, склеювання та адитивні технології. Крім того, слід відзначити суміжні напрямки, як заготівка і складання, неруйнівний контроль та діагностика, техніка безпеки і екологія зазначених технологічних процесів.

Базовим технологічним процесом з'єднання матеріалів залишається зварювання, яке в багатьох випадках не має альтернативних рішень для різних галузей промислового виробництва — машинобудування, суднобудування, енергетики, промислового і цивільного будівництва, газо- і нафтовидобувного виробництва та інших. Зварюванню піддаються практично будь-які метали і неметали в різних умовах — на землі, у морських глибинах і у космосі. Основою зварювального виробництва залишається зварювання плавленням. Лідируюче положення на ринку зварювального обладнання і матеріалів займають апаратура і витратні матеріали для дугового зварювання. Характерною тенденцією світових ринків зварювальної техніки є безперервне збільшення частки обладнання і матеріалів для механізованих і автоматизованих способів зварювання.

В доповіді будуть представлені перспективи розвитку сучасних способів зварювання конструкційних матеріалів. Особливо буде відзначено, що прогрес технологій зварювання пов'язаний з загальними тенденціями, що відбуваються в індустріальному світі, а саме з «Четвертою промисловою революцією («Industry 4.0»)), яка відбувається у теперішній час.

ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СЛП-ПРОЦЕСУ ШЛЯХОМ РЕГУЛЮВАННЯ ДІАМЕТРА ФОКУСНОЇ ПЛЯМИ ПРОМЕНЮ ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА

С.В. Аджамський¹, Г.А. Кононенко¹, Р.В. Подольський²

¹ТОВ «Адитивні лазерні технології України», Дніпро

²Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України, Київ

Селективне лазерне плавлення (СЛП) — один з сучасних методів адитивного виробництва, який дозволяє створювати з металевого порошку деталі високої щільності з унікальною геометрією. Для підвищення продуктивності СЛП-процесу бажаним є збільшення ширини ванни розплаву, оскільки це дозволить збільшити відстань між проходами лазера і за менший проміжок часу буде побудовано більший об'єм. Однак формування зовнішньої поверхні крупними треками призведе до підвищення її шорсткості, що може суттєво знизити загальну надійність виробу. Для підвищення якості поверхні необхідно зменшувати розміри ванн розплаву, наприклад, зменшення діаметра фокусної плями лазера. Було досліджено зразки, виготовлені при різних діаметрах фокусної плями з застосуванням однакової потужності лазера. За результатами аналізу технологічних параметрів процесу встановлено, що для підвищення продуктивності СЛП-процесу друк основного тіла виробу може виконуватись при збільшеному діаметрі фокусної плями променю лазерного пучка, а для забезпечення високої якості поверхні друк контурної частини (оболонки) повинен проводитись більш локалізованою фокусною плямою. Відповідно до перерозподілу енергії по перерізу променю відбувається зміна конфігурації ванни розплаву, а відповідно і треку. Встановлено, що для того, щоб уникнути формування глибокого переплавлення через високу концентрацію енергії в центрі променю необхідно знижувати потужність лазера.

АРГОНОДУГОВЕ ЗВАРЮВАННЯ ВИСОКОМІЦНОГО ЕКОНОМНО-ЛЕГОВАНОГО ПСЕВДО-β-ТИТАНОВОГО СПЛАВУ Ti–2,8Al–5,1Mo–4,9Fe

С.В. Ахонін, В.Ю. Білоус, Р.В. Селін, І.К. Петриченко, Л.М. Радченко

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Конструкційні економнолеговані титанові сплави розробляють з метою зниження собівартості готових виробів. Оцінювалась можливість застосування аргонодугового зварювання вольфрамовим електродом (АДЗ) для економнолегованого псевдо-β-титанового сплаву Ti–2,8Al–5,1Mo–4,9Fe. Оцінювався вплив різних видів аргонодугового зварювання на формування зварних швів та механічні властивості з'єднань сплаву Ti–2,8Al–5,1Mo–4,9Fe. Досліджувався вплив АДЗ наскрізним проплавленням, АДЗ по слою флюсу, АДЗ з подачею присадного нелегованого титанового зварювального дроту ВТ1-00св. Встановлено, що структура металу шва і ЗТВ з'єднань економнолегованого титанового сплаву Ti–2,8Al–5,1Mo–4,9Fe, виконаного АДЗ, складається в основному з β-фази, з виділеннями метастабільної α-фази. Зниження погонної енергії АДЗ для сплаву Ti–2,8Al–5,1Mo–4,9Fe позитивно впливає на міцність з'єднань. Так, серед зварних з'єднань, виконаних без зміни хімічного складу металу шва, з'єднання, виконані зварюванням по флюсу, мають найбільші міцність 972 МПа та найбільшу ударну в'язкість на рівні 5,7 Дж/см².

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОБЛЕМИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ПРИ РОЗВИТКУ СИСТЕМИ ОБСТЕЖЕННЯ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ З ЛЕГКИХ СПЛАВІВ

Ю.К. Бондаренко, А.Г. Потап'євський, К.О. Артюх

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Впровадження та сертифікація систем управління якістю відповідно до вимог національних або міжнародних стандартів у першу чергу дозволить підвищити конкурентоспроможність продукції вітчизняних виробників.

Типи даних, які підлягають аналізу й оцінці в рамках СМ (система менеджменту):

- відповідність продукції або послуги встановленим вимогам;
- задоволеність споживача;
- відповідність і результативність СМ;
- ступінь реалізації планів;
- показники результативності процесів;
- показники роботи зовнішніх постачальників;
- необхідність і можливість для поліпшення якості.

Підприємство виготовлення зварних конструкцій планує та впроваджує процеси моніторингу, вимірювання, аналізування, поліпшення щоб:

- продемонструвати відповідність виготовлення продукції та надання науково-технічної послуги, що надається вимогам до неї;
- забезпечити відповідність системи управління якістю;
- постійно поліпшувати результативність системи.

Процесимоніторингу:

А) Перевірку виконання планів виготовлення продукції та надання технічних робіт за державними замовленнями (проводяться керівництвом);

Б) Перевірку етапів виконання відділами технічних послуг за госпрозрахунковою тематикою. Аналіз керівництва проводиться для значних, державних або інших замовлень. Етапи виконання інших технічних робіт аналізуються керівником відділу;

В) Перевірку етапів підготовки підприємства до проходження, верифікацій, акредитацій;

Г) функціонування внутрішніх бізнес процесів (внутрішній аудит);

Д) ринкової стабільності підприємства (клієнтська база, кількість та обсяг замовлень);

Е) Вимірювання задоволеності замовника.

Відповідальність за забезпечення процесів моніторингу надання послуг покладено на керівництво підприємства.

СПЛАВИ Ni(Co)CrAlYSi ДЛЯ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ

І.М. Гречанюк¹, М.І. Гречанюк², В.Г. Гречанюк³

¹ТОВ «Елтехмаш», Вінниця, Україна

²Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, Київ

³Київський національний університет будівництва та архітектури, Україна

Показана характерна особливість структури сплавів на основі систем NiCrAlY та CoCrAlY, отриманих з використанням одностадійної технології електронно-променевої плавки, що полягає у відсутності в структурі сплаву дисперсних оксидних включень, які проявляються у складі аналогічних сплавів, одержаних за двостадійною технологією, яка включає попередню ж індукційну плавку. Наявність вказаних оксидних домішок різко знижує якість покриттів, сформованих з таких матеріалів, за рахунок мікрокрапельного переносу оксидної фази в шар покриття. Відмічено також зниження вмісту шкідливих домішок в сплавах, отриманих за одностадійною технологією до рівня, мас. %: Fe < 0,05; Cu < 0,05; C < 0,05; S < 0,02; P < 0,02; O < 0,08; N < 0,001; H < 0,0008.

За результатами дослідження особливостей структури та фазового складу жаростійких сплавів на основі систем NiCrAlY та CoCrAlY, отриманих електронно-променевою плавкою, встановлено, що переважною фазою у сплаві, мас. %: Ni – (20–24)Cr – (10–14)Al – (0,2–0,6)Y є фаза β-NiAl. У складі сплаву присутні також ланцюгові і глобулярні виділення, характерні для фази γ'-Ni₃Al і невелика кількість сполук змінного складу на основі фази α-Cr. У сплаві, мас. %: Co – (20–24)Cr – (10–14)Al – (0,2–0,6)Y основною фазою є інтерметалідна фаза b-CoAl, а також присутні фази γ-CoCr і α-Cr.

СТРУКТУРНИЙ СТАН І ПОШКОДЖУВАНІСТЬ МЕТАЛУ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ПАРОПРОВОДІВ

В.В. Дмитрик, І.В. Касьяненко, Ю.М. Латинін

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна

В процесі маневрової роботи енергоблоків ТЕС, метал паропроводів підлягає циклічно-змінним напруженням. Першочергово, внаслідок наявності структурної, хімічної і механічної неоднорідності, пошкоджуються зварні з'єднання. Пошкоджуваності сприяють відповідні структурно-фазові перетворення, що відбуваються в металі довготривало працюючих в умовах повзучості зварних з'єднань. В процесі довготривалого напруження зварних з'єднань в умовах повзучості їх вихідна структура, що відповідає нормативним вимогам, перетворюється у ферито-карбідну суміш. На границях зерен α -фази формуються сегрегаційні виділення, які складаються із згрупованих елементів хрому, молібдену і кремнію. Коагулюють карбіди I гр. (M_7C_3 і $M_{23}C_6$), здебільшого ті, що знаходяться на границях зерен. Проходять карбідні реакції $M_3C \rightarrow M_7C_3 \rightarrow M_{23}C_6$ і утворюються нові карбіди VC і Mo_2C . Наведені особливості структурно-фазового стану контролюються самодифузією легуючих елементів хрому, молібдену і ванадію, що приводить до зменшення міцності зерен α -фази, а також сприяє їх деформаційній здатності.

Встановили, що накопичення структурно-фазових змін в металі зварних з'єднань є найбільшим на ділянках неповної перекристалізації, перегріву і сплавлення ЗТВ. Таке накопичення змін зумовлює збільшення рівня деформації наведених ділянок в порівнянні з металом шва і основним металом, де накопичення структурно-фазових змін є відчутно меншим.

Беручи до уваги структурно-фазові зміни в металі зварних з'єднань, а також особливості його деформації запишемо

$$\bar{k} \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial t_{II}} \right) = \frac{m}{t_f},$$

де m — рівень пошкоджуваності площі ділянки ЗТВ, а також металу шва і основного металу порами повзучості і тріщинами втоми; t_f — час до настання критичного рівня пошкоджуваності металу зварних з'єднань, що складає 0,20–0,25.

Встановили, що при настанні наведеного рівня пошкоджуваності, такі зварні з'єднання протягом терміну 5–7 тис. годин потребують заміни.

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗВАРЮВАННЯ ПУЛЬСУЮЧОЮ ДУГОЮ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ЗАДАНОЇ ГЛИБИНИ ПРОПЛАВЛЕННЯ ПРИ ЗВАРЮВАННІ ВИСОКОЛЕГОВАНИМ ЗВАРЮВАЛЬНИМ МАТЕРІАЛОМ

А.В. Завдовсєв¹, В.Д. Позняков¹, А.М. Денисенко¹, О.О. Гайворонський¹, Т. Baudin²

¹Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

²Université Paris-Saclay, CNRS, Institut de chimie moléculaire et des matériaux d'Orsay

Імпульсно-дугове зварювання якісно відрізняється від традиційного зварювання в захисних газах. На сьогодні воно знаходить все більш широкого використання при виготовленні відповідальних зварних конструкцій. Це зумовлено розширенням можливості управління процесами плавлення і переносу електродного металу при імпульсно-дуговому зварюванні в різних просторових положеннях, поліпшенням формування швів та ін.

ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ ПРИ РОЗРОБЦІ ПРИПОЇВ ДЛЯ ПАЯННЯ ЖАРОМІЦНИХ НІКЕЛЕВИХ СПЛАВІВ СУДНОВИХ ГАЗОВИХ ТУРБІН

В.В. Квасницький¹, М.В. Матвієнко², Ю.Г. Квасницька³, Є.А. Бутурля⁴

¹НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

²Херсонська філія Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, Україна

³Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

⁴Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв, Україна

Планування експерименту є невід'ємною частиною наукового дослідження, особливо в питаннях розробки припою, коли виникає необхідність прогнозування результатів експериментальних досліджень залежно від різних факторів. При розробці припою SBM-4 виникла задача створення регресійної моделі, яка б описувала функцію відгуку (площа розтікання) залежно від двох факторів, якими виступали температура паяння та концентрація бору в припої. Рівняння регресії лінійної моделі не забезпечувало задовільну точність, тому необхідно було перейти до поліномів другого порядку для побудови кривої, що точно зможе описати та прогнозувати площу розтікання. При використанні поліномів другого порядку необхідно, щоб кожний з розглянутих факторів варіювався не менше, ніж на трьох рівнях, що значно збільшує кількість експериментальних досліджень при повному факторному експерименті. Знизити кількість досліджень можливо при використанні композиційного плану другого порядку, який був розроблений Боксом і Уілсоном. Для опису поверхні, що пропонує даний метод, необхідно провести повний факторний експеримент, який має два рівні варіювання із додаванням так званих зіркових точок та провести експеримент у центрі плану.

Використання даного методу дозволило створити адекватну регресійну модель, яка прогнозує площу розтікання припою SBM-4 при різних температурах паяння та за різної концентрації бору в припої. Отримана модель точно інтерполює функцію відгуку та була використана як один із способів визначення необхідної концентрації бору в розробленому припої та температури паяння суднових лопаток газових турбін із жароміцних нікелевих сплавів CM93-VI і CM96-VI.

ТЕХНОЛОГІЯ МЕТАЛЕВОГО 3D ДРУКУ xBeam 3D Metal Printing НА ШЛЯХУ ДО ПРОМИСЛОВОГО ВПРОВАДЖЕННЯ

Д.В. Ковальчук

ПраТ «НВО Червона Хвиля», Київ, Україна

Технологія металевого 3D друку xBeam 3D Metal Printing вже продемонструвала можливість отримання точних металевих виробів досить складної форми з високою продуктивністю.

Але промислове використання технології стає можливим тільки за умови її відповідності широкому комплексу вимог, таких як висока якість та відповідність властивостей стандартам, повторюваність виробничого результату, надійність роботи обладнання в тривалих процесах, конкурентна собівартість тощо.

В доповіді буде розглянутий прогрес в просуванні технології xBeam 3D Metal Printing до промислового впровадження. Зокрема будуть показані результати комплексних досліджень механічних властивостей на прикладі титанового сплаву Ti-6Al-4V, буде представлена перша промислова система 3D друку xBeamGrand, в тому числі впроваджена в ній методологія контролю якості виробів, буде продемонстрована оцінка економічної ефективності використання технології на прикладі реального титанового виробу.

Також будуть представлені нові технологічні можливості та розробки, здатні розширити межі можливого використання технології в різних галузях вітчизняної та закордонної промисловості.

РОЗВИТОК ТА НОВІ МОЖЛИВОСТІ ПЛАЗМОВО-ДУГОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ В З'ЄДНАННІ ТА ОБРОБЦІ МАТЕРІАЛІВ

В.М. Коржик

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

В доповіді коротко представлено узагальнення результатів наукової діяльності та практичної реалізації наукових розробок автора по напрямку плазмово-дугових і гібридних процесів зварювання, різання, обробки, отримання матеріалів та нанесення покриттів. Основою цих результатів були теоретичні та експериментальні дослідження фізичних явищ при взаємодії з матеріалами дугової плазми, і, з використанням інструментарію математичного моделювання, розробка нових технологій та обладнання для реалізації таких процесів:

- Зварювання, наплавлення, 3D-друк (з використанням: плазмової дуги, гібридних джерел енергії «плазмозна (стисла) дуга неплавкого електроду + дуга плавкого електроду», «плазмозна дуга + лазерне випромінювання»);
- Різання (плазмовою дугою прямої та оберненої полярності, паро-водяною дуговою плазмою, гібридним процесом «плазмозна дуга + лазерне випромінювання»);
- Обробка і отримання нових матеріалів (диспергація, сферодизація тугоплавких матеріалів і отримання нанопорошків, конверсія вуглемістких матеріалів плазмою дугового розряду);
- Інженерія поверхні (напилювання покриттів, в тому числі з аморфною та нанокристалічною структурою, модифікація поверхні плазмою дугового розряду).

Основна ідея, які об'єднує вказані наукові напрямки – побудова уніфікованого наукового підходу до створення генераторів низькотемпературної плазми дугового розряду, розроблення на його основі теоретичних засад і методів їх розрахунку для подальшого розвитку існуючих, розробки та практичної реалізації нових технологій і обладнання для зварювання, наплавлення, різання, отримання нових матеріалів, обробки поверхні і нанесення покриттів.

Науковими основами аналізу фізичних явищ у всіх досліджуваних процесах і створення відповідних технологій і обладнання є розробка та розвиток:

- уніфікованих математичних моделей процесів енерго-, масопереносу, що описують турбулентну течію дугової плазми при її взаємодії із дисперсними та компактними матеріалами;
- методів прогнозування температури, об'єму і форми диспергованого розплаву при нагріві компактного матеріалу дуговою плазмою та інтерпретації особливостей динамічної і теплової взаємодії розплавлених крапель з плазмовим потоком;
- математичних моделей процесів теплопереносу при формуванні покриттів, що враховують локальні й інтегральні ефекти взаємодії часток, розплавлених в потоці дугової плазми, в поєднанні із аналізом в єдиному температурно-часовому полі діаграм «температура–час–перетворення»;
- проблемно-орієнтованих апаратурно-програмних засобів комп'ютерного моделювання та експериментального аналізу мікрометалургійних процесів при взаємодії дисперсних і компактних матеріалів із потоком плазми дугового розряду та твердою поверхнею.

Перша група досліджуваних процесів включає зварювання і наплавлення із використанням плазмової дуги або її поєднання із електричною дугою або лазерним випромінюванням. Роботи включали подальший розвиток процесів зварювання плазмовою дугою, а також розробку гібридного процесу із об'єднаною плазмовою дугою плазми і дугою плавкого електроду.

Дані дослідження включали:

- Встановлення закономірностей зміни вольт-амперної характеристики плазмового розряду та динаміки плавлення електродного дроту;
- Аналіз базових закономірностей протікання фізико-металургійних процесів, прогнозування оптимальних параметрів зварювання.

Гібридний плазмово-дуговий процес забезпечує менший енерговклад для формування зварного з'єднання із сталей і алюмінієвих сплавів, а також більш оптимальні геометричні характеристики та структуру. Даний процес реалізовано в промислових умовах, розроблено зразок промислової установки для інтелектуального автоматичного та роботизованого гібридного зварювання, організовано його виробництво в Україні і

поставки на експорт. В Китаї дане обладнання використовується для виготовлення елементів довгомірних зварних суднокорпусних конструкцій із алюмінієвих сплавів та суднобудівельних сталей.

Ще один приклад розвитку досліджуваних процесів — плазово-дугове і гібридне (плазова дуга + лазерне випромінювання) зварювання алюмінієвих сплавів різнополярним асиметричним струмом із використанням критерію ефективної енергії плазової дуги та реалізацією ефекту руйнування тугоплавких поверхневих оксидних плівок в напівперіоді імпульсу струму зворотної полярності. Вказані результати були реалізовані в Україні і в інших країнах в широкій гамі практичних технологій для отримання зварних з'єднань із легких сплавів: елементів електричної апаратури, елементів конструкцій і приладів літальних апаратів, конструкцій кузовів електромобілів. З цією метою розроблено, організовано серійний випуск 3-х зразків інтелектуального промислового обладнання для автоматичного та роботизованого плазово-дугового та гібридного зварювання, здійснено їх поставки в КНР.

Також отримані результати подальшому розвитку процесів плазово-дугового наплавлення для адитивного вирощування (3D-друку) об'ємних виробів із сплавів, композиційних багатошарових і градієнтних матеріалів. Такий підхід дозволяє отримувати великогабаритні тривимірні вироби із конструкційних та легуваних сталей, алюмінієвих, сплавів, а також біметалеві матеріали (наприклад, сталь-мідь, нелегована конструкційна сталь — нержавіюча сталь, тощо). З допомогою плазово-порошкового адитивного наплавлення отримані об'ємні градієнтні матеріали, наприклад, із легуваного сплаву на основі заліза із різним вмістом зміцнюючої фази карбіду вольфраму. Розроблено обладнання (серійні 3D принтери) для адитивного плазово-дугового наплавлення тривимірних металевих виробів, в тому числі із розмірами до 1 метра. Зразки даного обладнання в даний час експлуатуються в Китаї.

Наступна група досліджуваних процесів включає різання металів плазовою дугою прямої та оберненої полярності.

При цьому варто відмітити новий підхід в розвитку процесів різання металів – використання плазової дуги оберненої полярності, обґрунтування достоїнств якого буде наведено далі.

Виявлено, що на оберненій полярності:

- розподіл теплового потоку близький до рівномірного розподілу по глибині порожнини різі, що сприяє поліпшенню геометрії різі і зменшенню ширини зони термічного впливу, щонайменше, в 2 рази;
- катодна пляма заглиблюється на відстань в три - п'ять разів більшу, ніж при прямій полярності, що забезпечує прорізання металів більшої товщини при меншій площі перетину порожнини різі.

Також виконано комплекс досліджень особливостей взаємодії плазми дугового розряду з матеріалами при різанні із використанням різних типів плазмоутворюючих газів. Розроблено процес плазово-дугового різання плазмоутворюючими сумішами на основі повітря із добавкою води або вуглеводневих газів. Показано, що добавка води в повітряну плазмоутворюючу суміш приводить до зниження насичення газами кромки різі, в першу чергу — азоту в 5 разів. Одночасно спостерігається зменшення розміру зони термічного впливу, підвищення якості поверхні різі. Такі особливості дозволили розробити та реалізувати технологію виготовлення зварних конструкцій безпосередньо після повітряно-плазового різання з добавкою води без механічною обробки кромки (поверхонь, які зварюються). Вперше по такій технології методами дугового та плазово-дугового зварювання отримані високоякісні зварні з'єднання із конструкційних сталей. Це дозволяє отримати значний ефект, наприклад, при виготовленні зварних суднокорпусних конструкцій, в тому числі в декілька разів зменшити витрати часу на виробництво і понизити його собівартість. Розроблено обладнання для повітряно-плазового різання сталей і кольорових металів підвищених товщин (до 100–150 мм).

Також нами розроблено і досліджено новий гібридний процес різання металів «плазова дуга + лазерне випромінювання». Для схеми коаксіального розташування лазерного випромінювання і дугової плазми прямої дії в гібридному ріжучому плазмотроні підтверджено реалізацію синергічного ефекту і досягнення більш, ніж двократного пониження погонної енергії, порівняно із сумою погонних енергій окремого плазового та лазерного процесів різання. Даний нових процес реалізовано в промисловому зразку серійного обладнання, в тому числі для експорту в КНР.

Наступна група процесів відноситься для плазово-дугової обробки та отримання матеріалів.

Досліджені закономірності процесів сферодизації крапель-дисперсних часток при плазово-дуговому розпиленні струмопровідних компактних та порошкових дротів, які лягли в основу розробки технології отримання порошків із підвищеним коефіцієнтом сферичності (більше 0,90–0,95). Це дозволило закласти основи нового напрямку — отримання сферичних порошків із тугоплавких складнолегованих сплавів та інтерме-

талідів плазмово-дуговою сферодизацією порошкових дротів. Досліджено і підтверджено ефект пониження розмірів сферодизованих часток за рахунок введення нанорозмірних добавок тугоплавких сполук в наповнювачі цих порошкових дротів. Такий ефект важливий для практичних технологій отримання сферичних порошоків, до яких ставляться жорсткі вимоги до форми і гранулометричного складу (3D – SLM).

Ряд процесів обробки і отримання матеріалів реалізується із допомогою плазмотронів із дотичною дугою потужністю вище 100–150 кВт. Однак при цьому існує проблема підвищення стійкості матеріалу катоду під дією підвищених струмових навантажень (більше 1000 А). Тому була вирішена задача розробки високовольтних дугових плазмотронів із робочою напругою до 900–1000 В, що дозволяє понизити струмове навантаження на матеріал катоду в декілька разів.

Вказані процеси реалізовані для отримання високоякісних сферичних порошоків із тугоплавких сполук та сплавів із підвищеною спорідненістю до кисню, а також для отримання нанопорошків менше 100 нм.

Наступна група процесів — плазмово-дугове напилювання покриттів та модифікація поверхні. Реалізована технологія надзвукового плазмового напилювання покриттів із порошоків сплавів, тугоплавких сполук, а також металокерамічних композицій із рекордно високою продуктивністю (до 50 кг/год і вище) при використанні в якості плазموутворюючого газу повітря із добавками вуглеводневих газів. Отримані покриття характеризуються підвищеним комплексом фізико-механічних характеристик, в тому числі підвищеною міцністю зчеплення з основою та щільністю (пористість менше 0,5–1,0 %).

Також досліджені та реалізовані процеси, що використовують високоентальпійну водяну пару в якості плазмоутворюючого газу для нанесення покриттів із тугоплавких матеріалів та модифікації поверхні. Один із прикладів реалізації такого процесу — пароводяне плазмово-дугове напилювання теплозахисного покриття із порошку $ZrO_2-7\% Y_2O_3$. В порівнянні із аналогічними покриттями, отриманими із використанням повітря, як плазмоутворюючого газу, досліджуваний процес забезпечує більш високі фізико-механічні характеристики та термостійкість.

На прикладі сталі Ст 65Г показано, що паро-плазмова обробка поверхні приводить до формування поверхневого мартенітного шару товщиною до 0,5 мм із підвищенням мікротвердості в 2,5 рази.

Також виконано значний обсяг досліджень закономірностей утворення аморфної і нанокристалічної структури при формуванні покриттів із металевих сплавів при плазмово-дуговому напилюванні порошоків, порошкових дротів та порошкових шнурів (прутків). Досліджені особливості формування фазового складу та сформульовані технологічні фактори отримання покриттів із аморфною або нанокристалічною структурою для широкої гами евтектичних сплавів систем легування на основі заліза, нікелю, кобальту. Розвинуті підходи до вибору складів різних типів матеріалів для плазмового-дугового напилювання та критерію оптимізації технологічних параметрів, що забезпечують отримання таких покриттів.

Для отримання плазмово-дугових покриттів із наноструктурними складовими реалізовано два підходи:

- формування наноструктурного покриття безпосередньо в процесів його нарощування із окремих розплавлених часток;
- введення добавок нанорозмірних добавок в матеріали для напилювання покриттів.

Ілюстрацією реалізації першого підходу є отримання покриття із металокерамічної композиції $Cr_3C_2-25\% NiCr$, в яких формування нанокристалічної структури підтверджується результатами транс-емісійної електронної мікроскопії та рентгеноструктурного аналізу. Другий підхід дозволяє здійснювати наномодифікацію покриттів, наприклад, підвищувати їх щільність, твердість, зносостійкість, тощо.

При виконанні досліджень по вказаним напрямкам ми ставили за мету доведення їх до практичної реалізації і впровадження в реальних виробництвах. Результатом наукових розробок є організація виробництва в Україні, як нових матеріалів, так і нового покоління плазмового-дугового обладнання для зварювання, різання, отримання нових матеріалів та нанесення покриттів, яке має конкурентні переваги перед провідними закордонними розробниками і компаніями. Це від нас потребувало, щоб створене обладнання відповідало таким основним вимогам:

- реалізувало нові технології більш широкі технологічні можливості, які не представлені іншими розробниками;
- відрізнялось високим рівнем інтелектуалізації обладнання, що включає використання інтелектуальних систем управління із самими передовими апаратно-програмними засобами (електронні пристрої налаштування, нове покоління процесорів, мережеве устаткування, самонавчальні нейронні мережі, інформаційна інфраструктура для роботизованих ліній, системи автоматичного моніторингу технологічних параметрів, тощо).

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИЗОВАНОГО ВИГОТОВЛЕННЯ СТАЛЕВИХ ФЕРМОВИХ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ

**В.М. Коржик¹, А.А. Гринюк¹, В.Ю. Хаскін¹, Є.В. Ілляшенко¹,
І.М. Клочков¹, О.В. Ганущак¹, Ю Сюефен², Хуан Люї²**

¹*Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ*

²*Науково-дослідний Інститут спеціального обладнання в провінції Чжецзян, КНР*

В роботі показано, що для підвищення продуктивності роботизованого виготовлення фрагментів сталевих фермових RHS (прямокутні порожнисті секції) конструкцій доцільно виготовляти заготовки прецизійним лазерним різанням із подальшою збіркою фрагментів точковими прихватками і шовним зварюванням дугою з плавким електродом із струмопровідним (гарячим) присаджувальним дротом. Лазерне різання із потужністю випромінювання ~1,0 кВт і піддувом стисненого повітря тиском 1,5 МПа дозволяє отримувати готові для подальшого зварювання елементи RHS конструкцій з точністю 0–0,1 мм. Встановлено, що у разі застосування зварювання дугою з плавким електродом із гарячим присаджувальним дротом швидкість підвищується в ~1,5 рази порівняно із звичайним зварюванням дугою з плавким електродом.

РОЗВИТОК ПЕРЕДОВИХ ЗВАРЮВАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В СПІЛЬНІЙ ЛАБОРАТОРІЇ ЗВАРЮВАННЯ І СПОРІДНЕНИХ ПРОЦЕСІВ

В.М. Коржик¹, В.В. Квасницький², А.А. Алешин³, М.Ф. Короб⁴

¹*Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ*

²*НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ*

³*Зовнішньо-економічне представництво*

Китайсько-українського інституту зварювання ім. Є.О. Патона, Київ

⁴*ТОВ «Науково-виробничий Центр «ПЛАЗЕР», Київ*

В 2017 році за ініціативою Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» та при підтримці академіка Б.Є. Патона із участю 5-ти організацій (Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона НАН України, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», ТОВ «Зовнішньо-економічне представництво Китайсько-українського інституту зварювання ім. Є.О. Патона», корпорація «Укрспецтехнології», ТОВ «Науково-виробничий Центр «ПЛАЗЕР») була створена спільна навчально-наукова лабораторія зварювання і споріднених процесів. Створення спільної лабораторії юри - дично оформлено відповідною угодою.

Мета створення лабораторії — побудова науково-технологічної експериментальної бази колективного користування із залученням самого передового обладнання для проведення науково-дослідних робіт в галузях плазмових та гібридних технологій зварювання та споріднених процесів, адитивних технологій, дифузійного зварювання та паяння.

В даний час структура спільної лабораторії включає дві експериментально-технологічні площадки: лабораторія «Зварювання, паяння у вакуумі та адитивних дугових технологій» та демонстраційно-технологічна дільниця «Плазмових, гібридних та адитивних технологій».

В лабораторії «Зварювання, паяння у вакуумі та адитивних дугових технологій» проводяться дослідження по розробці та подальшому розвитку таких процесів:

- зварювання плазмо-емісійним розрядом постійним струму прямої полярності порожнинним катодом у вакуумі;
- дифузійне зварювання у вакуумі;
- пайка у вакуумі;
- адитивне вирощування деталей за допомогою плавкого електроду.

Перелік деяких технологій, які досліджуються і розвиваються на демонстраційно-технологічній дільниці «Плазмових, гібридних та адитивних технологій» спрямована на розробку та розвиток таких технологій:

- роботизоване плазмове зварювання постійним струму прямої полярності;

роботизоване плазмове точкове зварювання постійним струмом прямої полярності;

- роботизоване плазмове зварювання різнополярним асиметричним струмом алюмінієвих та магнієвих сплавів;
 - роботизоване плазмове точкове зварювання різнополярним асиметричним струмом алюмінієвих та магнієвих сплавів;
 - роботизоване (автоматизоване) плазмо-порошкове наплавлення постійним струмом прямої полярності;
 - роботизоване (автоматизоване) плазмо-порошкове наплавлення різнополярним асиметричним струмом алюмінієвих та магнієвих сплавів;
 - роботизоване (автоматизоване) зварювання в режимі «м'яка плазма» постійним струмом прямої полярності;
 - роботизоване (автоматизоване) зварювання в режимі «м'яка плазма» різнополярним асиметричним струмом алюмінієвих та магнієвих сплавів;
 - роботизоване (автоматизоване) зварювання та наплавлення с допомогою процесу СМТ;
 - роботизоване (автоматизоване) аргонодугове зварювання постійним струмом прямої полярності та зварювання різнополярним асиметричним струмом алюмінієвих та магнієвих сплавів;
 - роботизоване (автоматизоване) лазерне різання і зварювання;
 - гібридні процеси зварювання (Плазма-МІГ, МАГ, Плазма-ТІГ, лазер-плазма. Лазер-МІГ, лазер-ТІГ);
 - гібридне лазерно-плазмове різання;
 - плазмове різання підвищених товщин на зворотній полярності;
 - плазмове різання із різними типами плазмотутворюючих газів і з добавкою води;
- виращування тривимірних виробів адитивним пошаровим плазмовим наплавленням (3D друк).

ВПЛИВ МОДИФІКУВАННЯ МЕТАЛУ ЗВАРНИХ ШВІВ ВИСОКОМІЦНИХ НИЗЬКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ НА ЇХ СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ

В.А. Костін, В.В. Жуков, О.М. Берднікова, В.В. Головка, О.С. Кушнарєва

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

У роботі досліджено вплив модифікування дисперсними частинками різних сполук на структуру, металеві включення, їх розмір та розподіл, зміну температур фазових перетворень та механічні властивості металу швів зварних з'єднань високоміцних низьколегованих сталей. Показано, що використання температури максимальної інтенсивності фазового перетворення дозволило відокремити вплив оксидних, карбідних та сполук, що містять титан, на структуру та механічні властивості металу швів високоміцних низьколегованих сталей. Використання порошоків оксидів TiO_2 , ZrO_2 , MgO сприяє формуванню дисперсної структури голчастого фериту (від 30 до 90 %), який дозволяє отримати в металі зварних швів сприятливе поєднання високої міцності та ударної в'язкості, особливо при вкрай низьких температурах випробувань ($-40...-60$ °C).

МОДЕРНІЗАЦІЯ ПЕЧЕЙ ДЛЯ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОГО ПЕРЕПЛАВУ В УСТАНОВКИ ДЛЯ ЕШН ПРОКАТНИХ ВАЛКІВ В СТРУМОПОДВІДНОМУ КРИСТАЛІЗАТОРІ

Ю.М. Кусков, В.Ю. Шевченко, В.М. Коржик

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Показана можливість модернізації печей для електрошлакової переплавки в установках для ЕШН прокатних валків в струмопідвідному кристаллизаторі. На підставі наявного досвіду запропоновані технічні рішення, що дозволяють забезпечити стабільність процесу наплавлення і якість наплавлених валків при використанні в якості присадних дискретних або рідких матеріалів.

ОПЕРАЦІЙНИЙ КОНТРОЛЬ ПРОЦЕСУ КОНТАКТНОГО СТИКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ РЕЙОК МЕТОДОМ ПУЛЬСУЮЧОГО ОПЛАВЛЕННЯ

С.І. Кучук-Яценко, П.М. Руденко, О.В. Дідковський, Є.В. Антіпін

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

В статті наведено дослідження точності відтворення параметрів операційного контролю контактного стикового зварювання оплавленням залізничних рейок з метою підвищення надійності оцінки відповідності процесу ТУ та підвищення якості зварних стиків. Для статистичного аналізу протоколів зварювання рейок на рейкозварювальних підприємствах зроблено огляд існуючих показників точності і стабільності технологічних процесів. Для аналізу вибраний коефіцієнт варіації K_v , який не пов'язаний з допуском на відхилення параметру процесу. Оцінки коефіцієнтів K_v за протоколами зварювання більше 10 тис. стиків та більше 100 зразків технологічної проби для стаціонарної машини К1000 показали, що параметри режиму, які задаються безпосередньо системою управління, відтворюються з похибкою не більше 1,5 %. Коефіцієнти K_v різко зростають для швидкості оплавлення, переходу від оплавлення до осаджування та власне осаджування, які входять у ТУ на зварення рейок, та активної електричної енергії, що мала місце при оплавленні на вході зварювального трансформатора. Дослідження коефіцієнтів K_v з групуванням даних зварювання по півроку показали, що варіація параметрів процесу не мала трендів і процес з достатньою точністю був сталий у часі. Середні значення та середнє квадратичне відхилення параметрів процесу зварювання рейок і зразків технологічної проби відрізняються у межах статистичної похибки, що свідчить про можливість апроксимації результатів тестових досліджень на стики рейок. Оцінка впливу параметрів процесу швидкості, припуску та енергії оплавлення на зону термічного впливу (ЗТВ) з використанням лінійної регресійної залежності показала суттєву залежність ЗТВ від варіації електричної енергії при оплавленні. Для контролю активної енергії розроблений вимірювальний перетворювач середньої активної електричної потужності з імпульсним виходом, який адаптований до систем керування машинами К1000 та К922, з вхідними сигналами струму до 1000 А та напруги до 440 В, смугою частот цих сигналів до 1 кГц і наведеною похибкою вимірювання до 1 %. Рекомендовано включити у перелік параметрів контролю до ТУ активну електричну енергію, що виділяється при оплавленні на вході зварювального трансформатора, та для підвищення якості стиків не тільки контролювати знаходження параметрів у межах допуску, а створити умови найменшої варіації параметрів від даних, які були отримані при налаштуванні режиму.

РОЗРЯДНО-ІМПУЛЬСНА ОБРОБКА МОДИФІКАТОРА СИСТЕМИ Al–TiC

**Л.М. Лобанов¹, О.М. Сизоненко², В.В. Головка¹, П. Ташев³, Є.В. Липян²,
М.С. Присташ², А.С. Торпаков², М.О. Пашин¹, О.Л. Міходуй¹, В.О. Щарецький²**

¹*Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ*

²*Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України, Миколаїв*

³*Інститут металознавства, обладнання і технологій ім. акад. Залевські та Центр гідро- та аеродинаміки Болгарської академії наук*

Представлено результати дослідження впливу модифікатора системи Al–Ti–C, отриманого шляхом високовольтної електророзрядної обробки у вуглеводневій рідині, на структуру та властивості литого сплаву АК7пч (А357). Показані перспективи застосування модифікатора, отриманого методом високовольтної електророзрядної обробки металевих порошків, для поліпшення структури литих сплавів та металу зварного шва.

РИНОК ЗВАРЮВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ В СВІТІ ТА В УКРАЇНІ

О.А. Мазур, О.К. Маковецька, В.С. Петрук, С.В. Пустовойт

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Електродугова сварка являється однією з базових технологій економіки, з допомогою якої створюється значительна доля ВВП промислово розвинутих країн. В таких країнах спостерігається стійке зростання виробництва – збільшення споживання конструкційних матеріалів, появою на ринку нових матеріалів, технологій та обладнання для зварки. Приведено інформація про стан світового ринку зварочних матеріалів та перспективи їх розвитку в бачимому майбутньому. Зростання виробництва призводить до поступового зменшення частки ручної дугової зварки та більш широкого застосування полуавтоматичної та автоматичної зварки постійно зростає рівень механізації та автоматизації дугової зварки, як в окремих країнах, так і по всьому світу. Однак, тим не менше, ручна дугова зварка покритими електродами залишається достатньо широко застосовуваною мобільною технологією, використання якої дозволяє оперативно вирішувати проблеми, виникаючі в процесі виготовлення та ремонту зварних конструкцій, вузлів та деталей.

Щодо українського ринку наведено інформація про структуру зварочного виробництва країни, динаміку його основних показників за останні 30 років, динаміку та структуру випуску зварочних матеріалів та обладнання, включаючи інформацію про експорт-імпорт, загальну номенклатуру та географію. Техніко-економічні показники основних способів дугової зварки можуть бути корисними для підприємств орієнтованих на економічну оптимізацію свого зварочного виробництва.

Додаткову інформацію учасники конференції можуть отримати у авторів пленарного доповіді.

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗОВНІШНЬОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВПЛИВУ НА СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ТА ПОВЕДІНКУ ДИСЛОКАЦІЙ В МЕТАЛІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ, ВИКОНАНИХ ПІД ВОДОЮ

**С.Ю. Максимов, О.М. Берднікова, О.О. Прилипка,
Т.О. Алексеєнко, Є.В. Половецький, А.А. Радзієвська**

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

В розробленому комп'ютерному додатку Proj5.exe реалізовано ідею послідовного обчислення величин, де значення величини зварювального струму/напруги і струму/напруги в індукторі зовнішнього електромагнітного впливу підбирається дослідником. Це дозволяє підвищити ефективність досліджень з мінімальною кількістю експериментів під водою. З використанням отриманих параметрів зовнішнього електромагнітного поля виконані наплавлення під водою порошковим дротом ППС-АН1 на пластину із низьколегованої сталі 09Г2С. Дослідженнями встановлено, що використання зовнішнього електромагнітного впливу сприяє подрібненню зернистої структури наплавленого металу та зменшенню частки неметалевих включень при помітному їх диспергуванні. Крім того, в металі зони термічного впливу зменшуються параметри пакетної структури бейніту, спостерігається більш рівномірний рівень мікротвердості при подрібненні субструктури. Зовнішнє електромагнітне поле значно впливає на дислокаційну структуру металу, сприяє рівномірному та безградієнтному її розподілу, що обумовлює рівномірний рівень дислокаційного зміцнення у локальних областях структури та зниження рівня локальних внутрішніх напружень.

СТРУКТУРА ТА ВЛАСТИВОСТІ КОНДЕНСАЦІЙНИХ НАНОСТРУКТУРНИХ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ КАРБІДУ БОРА

А.В. Микитчик¹, К.Ю. Яковчук¹, Ю.Є. Рудой¹, П.М. Копчевський²

¹ДП «Міжнародний центр електронно-променевої технології ІЕЗ

ім. Є.О. Патона НАН України», Київ

²Інститут проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України, Київ, Україна

Розглянуто перспективи використання матеріалу системи В–С в якості зовнішнього твердого шару ерозійностійких та демпфуючих покриттів, отримуваних методом електронно-променевого випаровування та конденсації у вакуумі (ЕВ-PVD).

Наведено варіанти багат шарових функціональних покриттів, які містять один або декілька металевих шарів товщиною 2–30 мкм та зовнішній твердий шар на основі наноструктурного карбїду бора товщиною 35–55 мкм, для нанесення за одностадійною ЕВ-PVD технологією на деталі, виготовлені зі сплавів на основі титану та сталей.

Представлено структуру зовнішнього шару на основі карбїду бора та розподіл хімічних елементів по перерізу покриття. Показані властивості (мікротвердість, адгезію та ерозійну стійкість) досліджених покриттів в залежності від вмісту вуглецю в шарі карбїду бору, умов його осадження (температура підкладки в інтервалі від 350 до 850 °С, при обертанні підкладки від 5 до 25 об/хв та за стаціонарних умов). Ерозійна стійкість покриттів з зовнішнім шаром карбїду бору, осадженим при температурі 500 °С на зразки з титанового сплаву ВТ-6 в 5–10 разів вища у порівнянні зі зразками без покриття при кутах атаки 90° та 30°.

На основі отриманих результатів проведених досліджень розглянуто основні параметри, впливаючі на довговічність зовнішнього шару на основі наноструктурного карбїду бора, визначено оптимальні технологічні умови для його нанесення як на сталеві, так і на титанові вироби, а також склад зв'язуючого металевого шару між підкладкою та зовнішнім шаром.

ВПЛИВ ТЕРМІЧНИХ ЦИКЛІВ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОГО ЗВАРЮВАННЯ АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ 1570 НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

В.М. Нестеренков, В.В. Скрябінський, М.О. Русиник

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Досліджували вплив швидкості зварювання на міцність з'єднань і розміри зони термічного впливу при електронно-променевому зварюванні сплаву 1570. Експериментально визначали термічні цикли в хвостовій частині зварювальної ванни і точок на поверхні металу в навколошовній зоні. За термічними циклами зварювальної ванни розраховували швидкість гарту металу шва і досліджували її вплив на механічні властивості з'єднань до і після штучного старіння. Зменшення швидкості зварювання і, як наслідок, збільшення часу існування рідкої фази призводить до підвищення твердості металу шва після старіння, що ймовірно пов'язано з більш повним розчиненням первинних інтерметалідів скандію і переходом його в пересичений твердий розчин при охолодженні. Вимірюючи твердість металу в поперечному перерізі з'єднань, по термічним циклам відповідних точок визначили, що температура початку втрати міцності металу при електронно-променевому зварюванні сплаву 1570 знаходиться в інтервалі 450–560 °С. Встановлено, що штучне старіння робить зварні з'єднання рівноміцними зі штампованими напівфабрикатами, а обробка вибухом малоефективна. Збільшити міцність з'єднань до рівня міцності нагартованих плит можливо шляхом пластичної деформації на 20 % і подальшим штучним старінням.

ПРИЧИНИ РУЙНУВАННЯ КІЛЬЦЕВИХ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОНАФТОПРОВОДІВ

Л.І. Ниркова, А.О. Рыбаков, Л.В. Гончаренко

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Проаналізовано 7 випадків руйнування кільцевих з'єднань з метою визначення типів, причин та походження дефектів, що призвели до руйнування кільцевих зварних з'єднань під час експлуатації магістральних трубопроводів. Труби виготовлені з низьколегованих сталей марок 17ГС, 19Г, 14ХГС, 17Г1С, 15ГСТЮ та сталі контрольованої прокатки Х70, що були у складі газонафтопроводів діаметром 520–1420 мм. Термін експлуатації трубопроводів до руйнування становив 15–46 років. Кільцеві шви виконані одностороннім ручним дуговим зварюванням. При будівництві трубопроводів застосовувались марки електродів, які рекомендовані для ручного дугового зварювання монтажних з'єднань.

Встановлено, що руйнування досліджених кільцевих зварних з'єднань сталися через наявність у них недопустимих дефектів технологічного походження (які утворились ще під час виконання складально-зварювальних робіт при будівництві трубопроводів), або є наслідком впливу експлуатаційних (корозійних і силових) чинників.

Дефекти технологічного походження, що стали причиною руйнування досліджених кільцевих з'єднань, виникли внаслідок порушенням вимог до складання крайок (надмірні радіальне зміщення і зазор між ними), що призвело до виникнення тріщин, непроварів, несплавень, пор та ін., і, в першу чергу, в кореневому шарі кільцевого шва. У ряді випадків розвитку руйнування також сприяли значні локальні напруження, що виникли при холодному способі усунення недопустимих зміщень кромки при зварюванні труб, особливо, під час виконання захльостів.

Корозійні дефекти у кільцевих швах нафто- і газопроводах та руйнування за зазначеним чинником спостерігали у випадках, коли конструктивні особливості ділянки трубопроводу сприяли утворенню застійної зони.

Вперше зафіксований випадок руйнування кільцевого зварного з'єднання газопроводу внаслідок стрес-корозійного розтріскування [1], яке сталося у поперечному напрямку відносно осі труби (рисунок). Розвиток стрес-корозійних тріщин здійснювався за механізмом локального анодного розчинення.



Стрес-корозійне розтріскування кільцевого з'єднання газопроводу труб діаметром 140 мм зі сталі контрольованої прокатки Х70

Встановлено, що ні в одному з досліджених випадків рівень механічних властивостей або структурні характеристики металу кільцевих зварних з'єднань, виконаних за технологіями зварювання, що застосовувались під час будівництва газонафтопроводів, не став причиною їх руйнування. Не зафіксовано також проявів деградації основного металу чи металу зварних з'єднань лінійної частини магістральних трубопроводів після їх тривалої експлуатації.

Матеріали виконаних досліджень висвітлюють можливі причини аварій магістральних газонафтопроводів, і будуть використані під час розробки пропозицій щодо зменшення небезпеки їх руйнувань.

1. Рыбаков А.А., Гончаренко Л.В., Филипчук Т.Н. и др. (2014) Причины стресс-коррозионного разрушения монтажного кольцевого соединения магистрального газопровода. *Автоматическая сварка*, 3, 54–57.

МІЖНАРОДНІ ТА ЄВРОПЕЙСЬКІ НОРМИ ТА СТАНДАРТИ ЇХ ВПРОВАДЖЕННЯ ДЛЯ УКРАЇНСЬКИХ КОМПАНІЙ-ВИРОБНИКІВ ЗВАРЮВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Н.О. Проценко

ТОВ МНТЦ «ПАТОНСЕРТ», Київ, Україна

ANALYSIS OF THE PROPERTIES OF ELECTRON BEAM WELDED JOINTS OF ALUMINIUM LITHIUM ALLOY LATEST GENERATION

Mir. Sahul¹, Mar. Sahul², L. Čaplovič², M. Marônek¹, I. Klochkov³, S. Motrunich³

*¹Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Materials Science and Technology in Trnava,
Department of Welding and Joining of Materials, Trnava, Slovakia*

*²Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Materials Science and Technology in Trnava,
Institute of Materials Science, Trnava, Slovakia*

³E.O. Paton Electric Welding Institute of the NASU, Kyiv, Ukraine

Electron beam welded joints made on AW2099 aluminium lithium alloy with the thickness of 4 mm were analysed. The third generation of aluminium lithium alloys was developed to improve the drawbacks of the second one. Various electron beam welding parameters (beam current, welding speed) were tested. Accelerating voltage was constant, i.e., 55 kV. Defect free welded joints were produced under optimized welding parameters. Weld metal microstructure and welded joints mechanical properties were investigated. Microstructure of weld metal matrix consists of α -aluminium solid solution. Inter-dendrite areas were enriched in alloying elements due to segregation. Narrow equiaxed zone was observed at the location close to the fusion boundary being characteristic for welded joints made on aluminium lithium alloys. The character of the grains changed in the direction towards weld metal centre to columnar dendritic and equiaxed dendritic. Microhardness values reduction in the weld metal was observed which is associated to the dissolution of strengthening precipitates.

РОЗРАХУНОК ЗАЛИШКОВОГО НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ НАПЛАВЛЕНИХ СТАЛЕВИХ ТОНКОЛИСТОВИХ ПЛАСТИН

І.К. Сенченков¹, І.О. Рябцев², О.П. Червінко¹, А.А. Бабінець²

¹Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України, Київ

²Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Розроблено скінченно-елементну методику розрахунку та досліджено напружено-деформований і мікро-структурний стан при одно- та двошаровому наплавленні пластин товщиною 3 мм зі сталі Ст3 дротами Св-Х19Н18Г6М3В2, ПП-Нп-25Х5ФМС і Св-08А. Проведено розрахунки НДС, мікроструктурного стану і формозміни пластин при наплавленні за умов гладкого опирання. Модель плоского деформованого стану (ПДС) прогнозує більші прогини порівняно з моделлю плоского напруженого стану (ПНС), за виключенням матеріалів з мартенситними перетвореннями (ПП-Нп-25Х5ФМС); при наплавленні матеріалів з мартенситними перетвореннями мають місце більші прогини за рахунок об'ємних ефектів перетворення. За винятком наплавленого металу з мартенситними перетвореннями (25Х5ФМС) модель одночасного наплавлення шару прогнозує більший прогин порівняно з моделлю поваликового наплавлення і може використовуватися для оцінки верхньої границі прогину. Отримана задовільна кореляція розрахункових і експериментальних даних щодо прогинів наплавлених пластин. Визначено раціональні схеми опирання та закріплення кромки елементів, які забезпечують мінімальні залишкові прогини.

РІВНІ ЯКОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ТА ДОПУСТИМИ ДЕФЕКТИ У ЗВАРНИХ ШВАХ

В.О. Троїцький, В.А. Литвиненко

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Українське товариство УТ НКТД видало та розповсюджує міжнародний стандарт ISO 5817, який стосується трьох рівнів якості зварних з'єднань D, C, B, який застосовує усі провідні країни світу з 2003 р. при взаємних поставках зварних металоконструкцій. В Росії він діє з 2009 року. З 2019 р. усі металоконструкції, що виготовлені в Україні дуговими методами зварювання, повинні відповідати стандарту СТТУ УТ НКТД ISO 5817–2019 «Зварні з'єднання зі сталі, нікелю, титану та їх сплавів, отримані зварюванням плавленням», рівні якості, (ISO 5817:2014, IDT), Київ, 2019.

Цей стандарт — тотожний переклад ISO 5817:2014 «Welding Fusion — welded joints in steel, titanium and their alloys — Quality level for imperfections», прийнятий як ДСТУ ISO 5817:2016 методом підтвердження. В статті пояснюється важливість даного стандарту, наводиться коротка таблиця з допустимими розмірами дефектів поверхні для рівнів D, C, B. Стандарт СТТУ УТ НКТД ISO 5817–2019 повністю приводиться на сайті УТ НКТД www.usndt.com.ua

РЕМОНТНЕ ЗВАРЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ІНЖЕКТОРА, ЩО ВИКОНАНІ З ТАНТАЛУ

Є. Турик

Дослідницька мережа Лукасевич – Інститут Зварювання, Глівіце, Польща

ЗАСТОСУВАННЯ ФРАКТАЛЬНОГО ТА МЕТАЛОГРАФІЧНОГО АНАЛІЗІВ ДЛЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ МЕТАЛУ ЗВАРНИХ ШВІВ

О.О. Штофель¹, В.В. Головка¹, Т.Г. Чижська²

¹Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

²НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

При аналізі чинників, які визначають механічні властивості зварних швів, необхідно враховувати як розмір окремих складових структури, так і їх морфологію. Показано, що використання методу фрактального аналізу дає можливість числового визначення таких параметрів мікроструктури металу зварних швів, як розмір неметалевих включень, розгалуженість меж зерен, що було неможливим при аналізі металографічних зображень. Отримано результати, які свідчать про необхідність залучення до мультифрактального аналізу показників, що описують морфологічні особливості мікроструктурних складових, розподіл неметалевих включень за розміром, рівень легування твердого розчину. Визначено напрямки досліджень для розвитку мультифрактального аналізу зварних з'єднань.

СТЕНДОВІ ДОПОВІДІ

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ НАГРІВУ МЕТАЛУ ПРИ КОНТАКТНОМУ СТИКОВОМУ ЗВАРЮВАННІ БЕЗПЕРЕРВНИМ ОПЛАВЛЕННЯМ

Є.В. Антіпін, О.В. Кавуніченко, О.В. Дідковський, А.М. Левчук

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

В останнє десятиліття актуальним і практично важливим завданням є отримання високоякісних з'єднань з високоміцних сталей і сплавів. Для її вирішення потрібні технології, які відрізняються висококонцентрованим нагріванням при мінімальному енерговкладенні, в тому числі і при контактному стиковому зварюванні залізничних рейок безперервним оплавленням (БО).

Метою роботи була розробка математичної моделі кінетики температурного поля, при зварюванні БО залізничних рейок, з урахуванням багатофакторного впливу параметрів зварювання на інтенсивність нагріву швидко протікаючих процесів утворення і руйнування одиничних контактів (ОК), що формуються при зварюванні залізничних рейок.

В основу математичної моделі процесу нагрівання належить моделювання нагріву одиничного контакту, що утворюються при взаємодії деталей, що зварюються.

В основу рішення покладено метод кінцевих елементів, заснований на послідовному відстеженні в часі з кроком Δt розподілу температур в зварюваній конструкції. На кожному кроці відстеження (в момент часу t) знаходилося рішення системи алгебраїчних рівнянь, отриманої в результаті мінімізації функціоналу E_T по температур у вузлах сітки звичайно-елементного розбиття (варіаційний принцип Лагранжа).

Для розрахунку кінетики температури при зварюванні рейок безперервним оплавленням, як і для ОК, використовувався алгоритм чисельного рішення тривимірною рівняння теплопровідності в декартовій системі координат.

В результаті проведеної роботи були визначені загальні залежності термічного ККД при зварюванні БО від щільності струму, що проходить через контакт, і температури в зоні контакту. Встановлено, що зі збільшенням щільності струму і температури контакту термічний ККД знижується.

Розрахунковим шляхом визначено температурне поле при зварюванні БО залізничних рейок типу Р65 на оптимальному режимі. Результат розрахунку близький до експериментального.

Розроблена модель дозволила уникнути проведення трудомістких і дорогих експериментів і значно розширити діапазон пошуків шляхів оптимізації при багатофакторному управлінні параметрами зварювання, що впливають, зокрема, на формування температурного поля при контактному стиковому зварюванні залізничних рейок безперервним оплавленням.

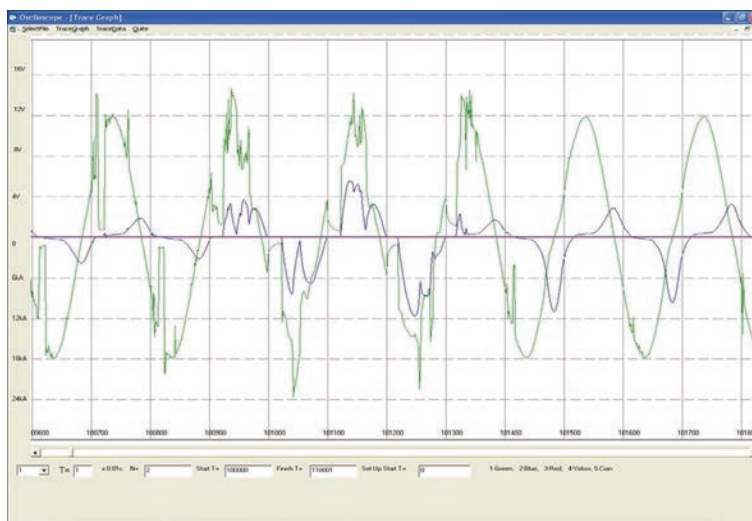
КОНТРОЛЬ І РЕГУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КОНТАКТНОГО СТИКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ОПЛАВЛЕННЯМ (КЗСО) В СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ

Є.В. Антіпін, П.М. Руденко, О.В. Дідковський

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Для контролю та управління процесом контактного стикового зварювання (КСЗО) залізничних рейок необхідний контроль більше десятка параметрів процесу. Для деяких з них, зокрема зварювальної напруги і особливо струму, крім статичної похибки вимагається мала динамічна похибка вимірювання.

Складність вимірювання електричних параметрів при КСЗО: напруги U_3 , струму I_3 та активної електричної енергії (потужності P_3) на вході зварювального трансформатора — пов'язана з спектром гармонійних складових у цих сигналах як за рахунок особливостей процесу оплавлення (наявності коротких замикань, вибухів розплавленого металу), так і фазового регулювання. За даними комп'ютерного моделювання при фазовому регулюванні напруги на вході силового трансформатора в діапазоні кутів ϕ (від 0 до 90°) і кутів включення тиристорного контактора α (від ϕ до 120°) сигнали струму, напруги та потужності по спектру частот укладаються в діапазон до 1 кГц. Ці результати були підтверджені експериментально при записі зварювального струму і напруги на вході силового трансформатора з частотою 10 кГц і подальшим обчисленням за ними активної енергії (рисунок). Для контролю U_3 , I_3 , P_3 для системи управління КСЗО на основі промислового контролера Siemens CPU 314C-2PTP або CPU1512C-1PN в ІЕЗ ім. Є.О. Патона був розроблений вимірювальний перетворювач інтегральних (середніх) значень цих параметрів з імпульсними виходами з вхідними сигналами струму до 1000 А та напруги до 440 В, смугою частот цих сигналів до 1 кГц і наведеною похибкою вимірювання до 1 %. Враховуючи можливості контролерів по вимірюванні частотних сигналів швидкісними лічильниками (HSC — high speed counters) для захоплення (capture) даних за півперіоди (0,01 с) або період (0,02 с) з блоку перетворювачів формується сигнал переходу напруги силового живлення зварювальної машини через нуль.



Осцилограма напруги на вході зварювального трансформатора та зварювального струму при частоті вимірювання по кожному вимірювальному каналу 10 кГц

Для фазового управління тиристорним контактором використовується ІС ТСА785. При цьому є можливість управляти як одним контактором, так і двома. У другому випадку для отримання менш спотвореної форми напруги на вході силового трансформатора контактор живлення 200–250 В включається на повну фазу, а для регулювання в потрібний момент включається контактор живлення 400 В [Chromalox. Precision heat and control. SCR Power Theory Training Manual Copyright 1997–2001, Chromalox, Inc. <http://www.chromalox.com/>].

Всі сигнали зв'язку відповідають вимогам контролерів Siemens за струмом та напругою, розділені оптронами з частотою до 20 кГц. Габаритні розміри блока 150×200×50 мм.

Висновки. Розроблений блок контролю та управління електричними параметрами, який адаптований для систем керування процесом КЗСО на промислових контролерах Siemens CPU 314C-2PTP та CPU1512C-1PN.

СУЧАСНІ ЗАКОНОДАВЧІ ТА НОРМАТИВНІ ВИМОГИ ДО ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ПРОДУКЦІЇ

Ю.К. Бондаренко Ю.К., О.В. Ковальчук

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

При введенні в обіг продукції на внутрішньому ринку виробник має виконати обов'язкові законодавчі вимоги, які до цієї продукції ставляться, а також контрактні вимоги, які висуває покупець продукції. А при експорті продукції до будь-якої іншої країни виробник має виконати обов'язкові технічні вимоги до продукції, які встановлені країною — імпортером, або регіональні технічні вимоги, яких дотримується країна імпортер (наприклад, Європейські стандарти — EN). Міжнародна спільнота промисловців докладає зусилля для уніфікації технічних вимог з метою усунення технічних бар'єрів в торгівлі [1]. Вступ України до Світової організації торгівлі, на долю країн — членів якої припадає понад 98 % світового обороту, відкрило для України ряд перспектив як виробника продукції. Стало майданчиком для представлення інтересів України на міжнародних ринках та в боротьбі з країною-агресором. Набуття Україною членства в СОТ створило необхідні передумови для підписання у червні 2010 року **Угоди про вільну торгівлю з Європейською асоціацією вільної торгівлі**. Разом з тим Україна має виконати ряд вимог в галузі державного технічного регулювання, яке охоплює такі сфери як: стандартизацію, метрологію, акредитацію, оцінювання відповідності та державний технічний нагляд.

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СКЛАДУ ТА ДИСЛОКАЦІЙНА СТРУКТУРА СПЕЦІАЛЬНОЇ СТАЛІ ПРИ ДУГОВОМУ ЗВАРЮВАННІ

О.А. Гайворонський, О.М. Берднікова, В.Д. Позняков,

Т.О. Алексеєнко, А.М. Денисенко

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

При виготовленні відповідальних зварних вузлів і корпусів колісної броньової техніки спеціального призначення використовують термозміцненні високоміцні леговані сталі. Основними проблемами при їх зварюванні є те, що в зварних з'єднаннях можуть утворюватися холодні тріщини. В значній мірі властивості таких з'єднань залежать від того, які структури при зварюванні утворюються в металі зоні термічного впливу. Суттєво на це впливають режими зварювання та умови охолодження металу. Саме питанням структуроутворення в металі зварних з'єднань таких сталей присвячено роботу.

Об'єктом досліджень були зварні з'єднання, які виготовлялись із броньової сталі Miilux Protection 500 з вмістом вуглецю 0,28 %. Зварні з'єднання були виконані традиційним механізованим дуговим зварюванням зі швидкістю охолодження $w_{6/5} = 26$ °C/c ($I_{зв} = 160$ А), та імпульсно-дуговим зварюванням при $w_{6/5} = 15$ °C/c ($I_{зв} = 160$ А). В якості зварювального матеріалу було застосовано дріт Св-08Х20Н9Г7Т. Дослідження проводили із використанням комплексу методів фізичного матеріалознавства, що включає світлову (мікроскопи Versamet-2 і Neophot-32), скануючу (мікроскоп SEM-515 фірми «Philips», Нідерланди) та трансмісійну електронну мікроскопію (мікроскоп JEM-200CX фірми «JEOL» при прискорювальній напрузі 200 кВ, Японія).

Дослідженнями встановлено, що в металі швів формується аустенітна структура. В металі ділянки перегріву зони термічного впливу зварного з'єднання, виконаного традиційним механізованим дуговим зварюванням формується приблизно 10 % бейніту нижнього та переважно структура відпущеного мартенситу. При подальшому переході до основного металу мартенситно-бейнітна структура подрібнюється при незначному зростанні мікротвердості. Подрібненню структури, збільшенню частки бейніту нижнього, зниженню загальної щільності дислокацій від $(8-9) \cdot 10^{10}$ см⁻² до $(6-8) \cdot 10^{10}$ см⁻² та більш рівномірному її перерозподілу сприяє застосування імпульсно-дугового зварювання. Така структура буде забезпечувати як міцність, так й тріщиностійкість металу. Встановлені закономірності є важливими для отримання структури, яка буде забезпечувати високі службові властивості металу зварних з'єднань сталей спеціального призначення.

СТРАТЕГІЯ ІМПОРТОЗАМЕЩЕННЯ ПОРОШКОВИХ ПРОВОЛОК ДЛЯ СВАРКИ І НАПЛАВКИ НА РЫНКЕ УКРАЇНИ

А.А. Голякевич

ООО «ТМ.ВЕЛТЕК», Київ

Для розвитку отечественной економіки, актуальною проблемою являється скорочення об'ємів імпортуваної продукції шляхом заміщення її продукцією, виробленою всередині країни повністю або частково.

Фундаментом реалізації стратегії ООО «ТМ.ВЕЛТЕК» по імпортозаміщенню порошкових проволоку для сварки і наплавки в отечественной промисловості являється розроблена і реалізується вже на протязі останніх п'яти років комплексна цільова програма, заснована на принципах: європейське якість проволоку, максимально стиснуті терміни поставок, лояльні і конкурентні ціни.

З метою виконання комплексної цільової програми, персоналом ООО «ТМ.ВЕЛТЕК» реалізовані наступні заходи:

- проведена науково-технічна розробка широкого спектра нових марок проволоку, застосовуваних в різних галузях промисловості — горно-металургічний комплекс, машинобудування, Укрзалізниця і др.;
- закуплено і введено в експлуатацію нове сучасне обладнання провідних європейських виробників;
- модернізовано раніше експлуатоване обладнання;
- впроваджені ряд нових ефективних технологічних процесів;
- проведені успішні промислові випробування нових проволоку на багатьох українських підприємствах, а також підприємствах ближнього зарубіжжя;
- проведено успішний аудит виробництва кількома європейськими — DVS (Німеччина), TUV (Німеччина), а також рядом українських сертифікаційних центрів;
- проводиться на регулярній основі комплекс заходів по навчанню і підвищенню кваліфікаційного рівня робочого і інженерно-технічного персоналу.

На сайті www.weldtec.com.ua можна більш детально ознайомитися з новинками виробництва порошкових проволоку ООО «ТМ.ВЕЛТЕК».

БІМЕТАЛЕВІ ЗНОСОСТІЙКІ НАПЛАВЛЕНІ ЛИСТОВІ КОНСТРУКЦІЙНІ ЕЛЕМЕНТИ

О.П. Жудра, О.П. Ворончук, О.В. Петров, В.О. Кочура, В.В. Федосенко

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Відносна простота виготовлення біметалевих листів, висока зносостійкість, можливість використання в якості футеровочних елементів різної конфігурації обумовили їхнє широке застосування в металургійній, гірничопереробній, енергетичній та інших галузях промисловості. Вони практично незамінні при зміцненні деталей і устаткування, яке працює в умовах підвищеного абразивного зношування. Біметалеві листові елементи переважно одержують шляхом наплавлення на листи з маловуглецевої сталі зносостійких покриттів.

Промислове виробництво зносостійких біметалевих листів одержало широке застосування в другій половині минулого сторіччя. Поштовхом для цього послужив так званий «балк-процес», розроблений на фірмі «TRITEN», США. Суть цього способу полягає в наплавленні дротом суцільного перетину по шару високолегированої шихти. При цьому листову заготовку спочатку формують у циліндр, а після наплавлення розрізають і рівняють на вальцях.

Аналогічну технологію також широко використовують фірми «Vautid» і «Eira» — Німеччина, «Ergotem», Греція та інші. На фірмі «Castolin» (Швейцарія) зносостійкі листи наплавляють порошковим дротом відкритою дугою та під флюсом. Фірма «Digum», Німеччина освоїла плазменно-порошкове наплавлення листів з армуванням наплавленого шару гранулами литого карбиду вольфраму. Щорічно промислові підприємства Європи і Америки споживають сотні тисяч тонн наплавлених листів.

У Європі найбільше поширення одержав наплавлений метал типу 500X30M, у Північній Америці — 500X30ГЗ. Склади 500X22Б7 і 500X22Б7М7В2Ф використовуються набагато рідше в спеціальних випадках — при роботі виробів в умовах підвищених температур.

У якості устаткування для наплавлення в основному застосовуються установки порталного типу.

У відмінності від закордонних розробок в ІЕЗ ім. Є.О.Патона була створена технологія виготовлення біметалевих зносостійких листів методом наплавлення порошковою стрічкою. Цей процес поєднує гарну якість зміцненого шару і високу продуктивність процесу наплавлення. Наплавлення може проводитися в один, два і три шари товщиною від 3 до 17 мм. При цьому продуктивність може досягати 25 кг наплавленого металу в годину.

На первісному етапі для наплавлення була розроблена самозахисна порошкова стрічка ПЛ-АН 180, яка дозволяє одержувати наплавлений метал типу 450X30M, із твердістю 59–62 HRC. Стрічка випускається двох типорозмірів 16,5×4,0 і 10,0×3,0 мм. На сьогодні для наплавлення листів, що працюють у різних умовах, також застосовуються стрічки ПЛ-АН 179, ПЛ-АН 185, ПЛ-АН 186, ПЛ-АН 187, ПЛ-АН 201, що дозволяють одержувати наплавлений метал типу 500X22Б7М7В2Ф, 500X22Б7, 450X30P, 20X10Г10Т, 500X30 відповідно, а також іншіклади, обумовлені вимогами замовника.

Для реалізації розробленої технології разом з ДКТБ ІЕЗ ім. Є.О.Патона, ДЗЗО ІЕЗ ім. Є.О.Патона і ТОВ «ПЛАН-Т» була спроектована та виготовлена спеціалізована установка АД 380.03М для зміцнення методом електродугового наплавлення порошковою стрічкою відкритою дугою сталевих листів товщиною від 5 до 30 мм, довжиною 3 м і шириною 1,5 м. Установку оснащено двома робочими столами для кріплення сталевих листів, що забезпечує безперервність процесу наплавлення.

Установка укомплектована системою керування СУ-320, яка забезпечує високу точність переміщення робочих органів і автоматичне регулювання технологічних параметрів процесу наплавлення.

В Україні основним виробником зносостійких біметалевих листів є фірма «Стіл Ворк», м. Кривий Ріг. Застосовувана технологія ґрунтується на розробках ІЕЗ ім. Є.О. Патона. Відмінною рисою технології є охолодження водою листа в процесі нанесення зносостійкого шару. У якості електродного матеріалу використовують порошкові стрічки різних типорозмірів і складів. Дане підприємство здійснює як наплавлення зносостійких біметалевих листів, так і виготовлення устаткування та виробів з їхнім застосуванням.

Широке використання даного виду продукції орієнтоване на підвищення працездатності устаткування, що працює в умовах інтенсивного абразивного і газоабразивного зношування. Це деталі та обладнання гірничо-добувної, металургійної, енергетичної і будівельної галузей. Прикладами використання можуть служити шнеки, сита, труби різного призначення, ковші екскаваторів, тічки, бункери, випалювальні печі в цементній промисловості, лотки бесконусних завантажувальних пристроїв доменних печей, робочі поверхні вентиляторів для видалення пили та диму і т.п.

В ІЕЗ ім. Є.О. Патона на сьогодні проводяться роботи зі створення нового устаткування та високопродуктивної технології наплавлення біметалевих листових конструкцій і розробці нових зносостійких економічно привабливих електродних матеріалів.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ І МЕТАЛУРГІЙНИХ СПОСОБІВ ЗНИЖЕННЯ ПОРИСТОСТІ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВИХ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ НА МІДНИХ ЧАСТИНАХ ФУРМ

В.І. Загорніков, В.М. Нестеренков, Ю.В. Орса, М.О. Русиник, Л.А. Кравчук

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Результати проведених металографічних досліджень підтвердили перспективність використання легуючих вставок при виробництві деталей мідних частин фурм за допомогою ЕПЗ.

Результати механічних випробувань та фрактографічного аналізу модифікованих зварних з'єднань показали, що наявність в стику легуючих вставок з АД-0 та ВТ1-0 не погіршує рівень конструктивної міцності, типовий для зварних з'єднань, отриманих на міді М1 за допомогою ЕПЗ.

Незважаючи на високі міцнісні показники зварних з'єднань, легованих ВТ1-0, рекомендувати титан в якості розкиснювача рідкої міді при електронно-променевому зварюванні складових частин фурм неприйнятно через порівняно низький коефіцієнт теплопровідності металу зварного шва.

ОПІР ВТОМІ ТА ЦИКЛІЧНА ТРІЩИНОСТІЙКІСТЬ СТАЛІ 40Х ПІСЛЯ ЗНОСОСТІЙКОГО НАПЛАВЛЕННЯ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ТА РЕМОНТІ

В.В. Книш, І.О. Рябцев, С.О. Соловей, А.А. Бабінець, В.Г. Кот

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Для виготовлення та відновлення важконавантажених деталей таких як, прокатні валки, ролики МНЛЗ та ін. широко застосовуються методи електродугового наплавлення. З метою встановлення ефективності застосування вибраної технології виготовного і ремонтного наплавлення необхідно оцінити циклічну довговічність деталі та її залишковий ресурс експлуатації після відновлення. Тому в даній роботі досліджено опір втомному руйнуванню модельних зразків з сталі 40Х після зносостійкого наплавлення порошковим дротом ПП-Нп-25Х5ФМС, який широко використовується при напавленні прокатних валків.

Виготовляли три серії призматичних зразків розмірами 350×40×20 мм по три зразки в кожній серії. Комплексна методика оцінки опору втомному руйнуванню включала три етапи: встановлення циклічної довговічності зразків після виготовного наплавлення (перша серія); дослідження циклічної тріщиноустійкості різних шарів металу (друга серія); визначення втомної довговічності зразків, які в процесі попередніх випробувань мали в наплавленому шарі втомні тріщини, після ремонтного наплавлення (третя серія). Випробування зразків на втому проводили при трьохточковому згинанні з віднульовою асиметрією циклу з частотою 5 Гц.

Випробуваннями на втому першої серії зразків встановлено, що їх циклічна довговічність до руйнування при максимальних прикладених напруженнях 500 МПа знаходиться у діапазоні від 560800 до 1420100 циклів змін напружень.

На зразках другої серії встановлено, що вид та характер утворення і подальшого розвитку втомних тріщин у наплавлених зразках залежить від техніки та технології наплавлення, зокрема від кроку при напавленні сусідніх валиків. При цьому лінія сплавлення основного та наплавленого металів, а також характер лінії сплавлення окремих валиків та шарів відіграє важливу роль у процесі втомного руйнування наплавлених деталей, адже тріщини здебільшого розповсюджуються або по межі сплавлення окремих валиків, або безпосередньо біля цієї межі, де, розташована зона хімічної та структурної неоднорідності, що несприятливо впливає на втомну довговічність. Чисельно на основі МСЕ визначені значення КІН по фронту поверхневої втомної тріщини, що розвивалася в призматичному модельному зразку сталі 40Х з зносостійким наплавленим шаром металу, при трьохточковому віднульовому циклічному згинанні. Встановлено, що максимальні значення КІН знаходяться в найглибшій точці фронту тріщини і під час руйнування досягають величини 52...64 МПа√м.

На зразках третьої серії спочатку моделювали зародження та розвиток втомних тріщин від можливих дефектів в наплавленому зносостійкому шарі металу. Тобто зразки випробовували при циклічному навантаженні до утворення тріщин втоми глибиною 10 мм, які в подальшому підлягали усуненню за допомогою

ремонтного наплавлення. Результати випробувань на втому зразків після ремонтного наплавлення наведено у таблиці.

Результати втомних випробувань зразків третьої серії

№ зразка	Максимальні напруження циклу, МПа	Циклічна довговічність до утворення тріщини 10...12 мм, цикли	Циклічна довговічність після виконання ремонтного наплавлення, цикли	Загальна циклічна довговічність, цикли
7	500	688700	963000	1651700
8	500	132800*	1021200	1154000
9	500	1381800	128000	1509800

*Мав дефект у вигляді несплавлення між валиками.

Експериментально встановлено, що на ранніх стадіях експлуатації виробу усунення ремонтним наплавленням тріщин втоми, поява яких обумовлена випадковими технологічними дефектами в попередньо наплавленому шарі, не призводить до зниження довговічності у порівнянні з бездефектним наплавленням. Показано, що застосування ремонтного наплавлення до виробів з втомними тріщинами після їх тривалої експлуатації, не призводить до суттєвого збільшення циклічної довговічності після ремонту. Це пов'язано з тим, що після тривалої експлуатації бездефектний шар наплавленого металу має значний рівень накопичених втомних пошкоджень, тому виконання ремонту ділянки виробу, пошкодженої тріщиною втоми, без повного видалення наплавленого шару металу недостатньо ефективно.

Дослідження полів залишкових напружень орієнтованих вздовж σ_x зразка (співпадають за напрямом з прикладеними робочими напруженнями при випробуванні зразків на втому) показало, що зона залишкових напружень розтягу після ремонтного наплавлення не перевищує 6...7 мм від лінії сплавлення вглиб основного металу. Максимальні залишкові напруження розтягу σ_x знаходяться безпосередньо в зоні виконання ремонтного наплавлення і складають біля 120 МПа на відстані 2,5 мм від лінії сплавлення. По мірі віддалення від місця проведення ремонтного наплавлення залишкові напруження розтягу σ_x на відстані 2,5 мм від лінії сплавлення знижуються до 40...80 МПа. Починаючи з відстані 6...7 мм від лінії сплавлення вглиб металу формується зона залишкових напружень стиску, які досягають значень до -60...-80 МПа.

Після виконання ремонтного наплавлення зародження та розвиток тріщин втоми в усіх зразках третьої серії відбувалося віддалік від місця ремонту.

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ АМг5 ТА Д16, ОТРИМАНИХ ПЛАВКИМ ЕЛЕКТРОДОМ

Т.М. Лабур, М.Р. Яворська, В.А. Коваль

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Відповідно до концепції надійності, виконано комплексне дослідження зварних з'єднань алюмінієвих сплавів АМг5 і Д16, отриманих зварюванням плавким електродом. На основі удосконаленої методології дослідження встановлено вплив технологічних факторів на властивості різних структурних ділянок зварних з'єднань. Визначено взаємозв'язок характеристик руйнування з параметрами мікроструктури та з'ясовані причини погіршення властивостей у різних теплофізичних умовах дугового зварювання. Сутність методології полягає у дотримуванні єдиних принципів вибору критеріїв базових теоретичних моделей процесу руйнування, незалежного визначення їх в експерименті та ідентифікації усіх важливих параметрів розвитку тріщини в основних структурних зонах зварних з'єднань. Це дозволяє прослідкувати механізм мікроскопічних процесів, які змінюють працездатність з'єднань, і порівняти їх з макроскопічними характеристиками. Запропонована методика дає змогу уніфікувати процедуру експерименту, контролювати вірогідність інформації про характер зміни зазначених параметрів в різних умовах зварювання в залежності від технологічних чинників - величини погонної енергії, хімічного складу присадного матеріалу, наявності одиничних дефектів у швах, які виникають при зварюванні плавленням.

Підтверджено, що критичний коефіцієнт інтенсивності напруження являється визначальним параметром, який чутливий до структурної досконалості швів і зони термічного впливу, що дозволяє фіксувати процес опо-

ру металу при зародженні і поширенні тріщини за різних умов зварювання. Порівняльний аналіз показників міцності та в'язкості руйнування з'єднань досліджуваних сплавів показав, що ефект підвищення характеристик залежить від збалансованого поєднання технологічних факторів, за яких розміри структурних складових у швах зменшуються, а в зоні термічного впливу ефект досягається шляхом використання оптимальної швидкості зварювання. На основі отриманих даних вибрані раціональні умови технологічного забезпечення характеристик міцності металу швів без втрати належного рівня в'язкості, що сприяє зростанню надійності зварних з'єднань алюмінієвих сплавів АМг5 та Д16, отриманих плавким електродом.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ДВОХЕЛЕКТРОДНОГО ЕЛЕКТРОШЛАКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ З БІФІЛЯРНОЮ СХЕМОЮ ПІДКЛЮЧЕННЯ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

Ю.М. Ланкін, В.Г. Соловійов, В.Г. Тюкалов, І.Ю. Романова
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

За біфілярною схемою теплове поле є несиметричним щодо осі між електродами, займає менше половини піделектродного простору та перекриває проміжок між різнополярними електродами. Основна мета «біфілярної» схеми електрошлакового зварювання (ЕШЗ) — створити найбільш сприятливе поле тепловиділення в шлаковій ванні для зменшення глибини проплавлення країв виробу, поліпшення характеру кристалізації металу зварного шва і т.д. З'являється можливість управління проплавленням країв виробу тільки зміною напруги на шлаковій ванні при заданій швидкості подачі електродів. Різко збільшується $\cos \varphi$ установки (до 0,95) та відповідно знижується витрата електроенергії на зварювання (в 1,3–1,4 рази).

Моделювання проводилось з використанням математичного пакета COMSOL Multiphysics 5.3. За основу моделювання взяті експериментальні дані електрошлакового зварювання, проведеного в ПрАТ «НВО Дніпропрес» (м. Дніпро).

Для моделі ЕШЗ з «біфілярною» схемою живлення:

- включено розрахунки температури металеві ванни;
- проведено порівняння двох схем живлення ЕШЗ (двохелектродної (канонічної) та «біфілярної») за енергетичними витратами;
- досліджено закономірності тепловиділення в шлаковій ванні при зміні її геометричних параметрів, координат місць і величини заглиблення електродів різного діаметру, величини прикладеної до електродів напруги та швидкості подачі електрода, а також закономірності зміни параметрів металеві ванни — глибини та ширини проплавлення країв виробу і т.д.

Проведено пошук теплофізичних параметрів шлакової ванни як додаткових складових моделі ЕШЗ з урахуванням нерівномірного розподілу температури в шлаковій ванні, а також впливу температури повзунів, охолоджуваних водою, на розподіл температури виробу, шлакової та металеві ванн в приграничних зонах.

Для моделі ЕШЗ з «біфілярною» схемою живлення проведено попереднє дослідження закономірності зміни потужності, наведеної до одиниці об'єму шлакової ванни, геометричних параметрів ванни, а також координат місць і величини заглиблення електродів.

Отримано графічні залежності розподілу температури поверхні мокрої частини одного з електродів з боку протилежного електроду та температури в шлаковій ванні між центрами мокрих частин обох електродів при різних значеннях напруги джерела живлення та швидкості подачі електродів. Проведено порівняння цих розподілів для обох схем живлення.

МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИХ СТАНІВ СПЛАВУ АМГ6 ВНАСЛІДОК УДАРНОЇ ДІЇ ЕЛЕКТРОДА-ІНДЕНТОРА ПРИ ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНІЙ ОБРОБЦІ

Л.М. Лобанов¹, М.О. Пащин¹, О.Л. Міходуй¹, П.В. Гончаров¹,
Ю.М. Сидоренко², П.Р. Устименко²

¹Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

²НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ

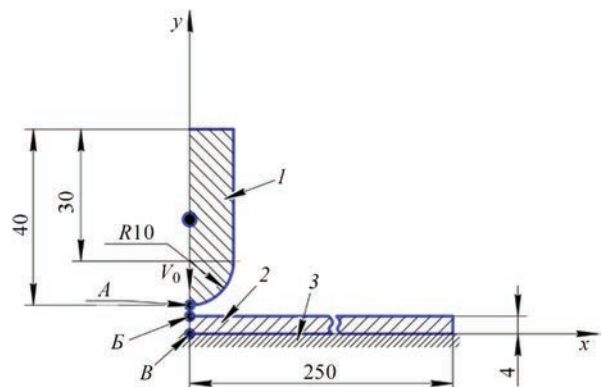
Зварювання, є одним з основних технологічних процесів в машино-, суднобудуванні та будівництві. Воно викликає у конструкціях залишкові напруження, що негативно впливає на точність зварних деталей, викликаючи у останніх залишкові деформації згину, скручування, повздовжнього скорочення. Для усунення залишкових зварювальних напружень та деформацій застосовують відповідні конструктивні та технологічні заходи, наприклад, різні методи обробки металевих конструкцій після зварювання. Однак більшість з них є досить енергоємними і вимагають спеціалізованого обладнання. Одним з перспективних технологічних методів регулювання напружено-деформованого стану (НДС) є електродинамічна обробка (ЕДО) зварних авіаційних та суднобудівних конструкцій, виготовлених з легких сплавів. Принцип дії ЕДО оснований на спільній дії на зварне з'єднання двох факторів: імпульсного електричного струму та динамічного тиску. Експериментальні дослідження впливу ЕДО на напружено-деформований стан зварних з'єднань з алюмінієвого сплаву АМГ6 показало, що в наслідок електродинамічної дії в металі шва ініціюється пластична деформація розтягування. Її взаємодія із залишковими пластичними зварювальними деформаціями стискання призводить до зниження залишкових напружень в зварному з'єднанні.

На теперішній час відсутні розрахункові методи прогнозування впливу ЕДО на залишкові зварювальні напруження, що звужує можливості методу для його застосування для регулювання НДС зварних конструкцій широкою гамою металевих матеріалів. В роботі представлена розрахункова модель процесу ударної взаємодії електрода-індентора з пластиною із алюмінієвого сплаву АМГ6 при ЕДО. Створення математичної моделі описаного вище процесу проводили з використанням спрощеної двовимірної (2D) плоскої постановки задачі. Розрахункова схема задачі про процес ударної взаємодії електрода-індентора з пластинами, представлена на рисунку.

На основі чисельного аналізу процесу ударної взаємодії електрода-індентора із пластиною отримані параметри напружено-деформованого стану, які сприяють зниженню залишкових напружень в зварному шві. Встановлено, що при ударній дії індентора зі швидкістю 10 м/с на зворотній поверхні пластини зі сплаву АМГ6 величини пластичних деформацій є більшими, ніж на зворотній. Це пояснюється ефектом відбиття пластично деформованого шару металу від зворотного боку пластини, яка знаходиться в умовах спирання на жорстку опору. Проведено експериментальну перевірку адекватності моделі при оцінюванні розподілу пластичних деформацій після ЕДО зварної пластини зі сплаву АМГ6.

Аналіз результатів розрахунків напруженого стану при їх порівнянні із експериментальними даними показує, що моделювання дозволяє здійснювати прогнозування напружено-деформованого стану зварної пластини, який є результатом її взаємодії із напівсферичним індентором.

При цьому динамічні характеристики контакту задаються електрофізичними параметрами електродинамічної обробки. Це дозволяє оптимізувати параметри режиму ЕДО широкою гамою металів, сплавів і зварних з'єднань з метою мінімізації їх напружено-деформованого стану.



Розрахункова схема процесу динамічного навантаження пластин, що обробляються ЕДО: 1 — електрод-індентор; 2 — зразок, що обробляється; 3 — абсолютно жорстка основа; А — точка на зовнішній поверхні електрода-індентора; Б — точка на зовнішній поверхні пластини; В — точка на зворотній поверхні пластини

ЕКОНОМІКО-СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ СВІТОВОГО ТА УКРАЇНСЬКОГО РИНКІВ ЗВАРЮВАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

О.А. Мазур, О.К. Маковецька, В.С. Петрук, С.В. Пустовойт
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Электродуговая сварка является одной из базовых технологий экономики, с помощью которой создается значительная доля ВВП промышленно развитых стран. В таких странах наблюдается устойчивое развитие сварочного производства — рост потребления конструкционных материалов, появлением на рынке новых материалов, технологий и оборудования для сварки. В докладе приведена экономико-статистическая информация о состоянии мирового и украинского рынков сварочных материалов и перспективы их развития в обозримом будущем. Развитие сварочного производства приводит к постепенному сокращению доли ручной дуговой сварки и более широкого применения полуавтоматической и автоматической сварки постоянно повышается уровень механизации и автоматизации дуговой сварки, как в отдельных странах, так и по миру в целом. Но, тем не менее, ручная дуговая сварка покрытыми электродами остается достаточно широко применяемой мобильной технологией, использование которой позволяет оперативно решать проблемы, возникающие в ходе изготовления и ремонта сварных конструкций, узлов и деталей.

ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ СПЛАВУ СИСТЕМИ Cu-Mn-Ni-Si ДЛЯ ПЛАЗМОВОГО ПАЯННЯ СТАЛІ 08кп

С.В. Максимова, І.В. Зволінський, Є.В. Іванченко
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Для плазмового паяння сталей застосовують припої, які мають температуру ліквідусу вище 1000 °С. В даній роботі показана можливість зниження температури паяння шляхом застосування припоїв, що мають меншу температуру плавлення. Методом високотемпературного диференційного термічного аналізу встановлено вплив марганцю, нікелю та кремнію на температури солідусу та ліквідусу експериментальних сплавів системи Cu-Mn-Ni-Si. З застосуванням емпіричних даних та з залученням математичних методів обробки визначено вплив хімічних елементів на розрахункові коефіцієнти впливу легуючих елементів на температури солідусу та ліквідусу сплавів системи Cu-Mn-Ni-Si, що сприяє зниженню температури плавлення. Досліджено вплив вмісту нікелю та кремнію при фіксованій кількості марганцю 10 та 16 мас. % на площу розтікання по сталі 08кп та температурний інтервал плавлення. Експериментально доведено якісне формування паяних з'єднань зі сплаву 08кп, що отримані шляхом плазмового паяння з застосуванням досліджуваних сплавів.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ИЗНОСОСТОЙКОЙ НАПЛАВКИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СЕЛЬХОЗТЕХНИКИ, ЭКСПЛУАТИРУЕМОЙ В УСЛОВИЯХ ГРУНТОВ СЛОВАКИИ

Ю. Муска¹, П. Руник¹, Л.Н. Орлов², А.А. Голякевич²
¹*Фирма Daryn s.r.o., Словакия*
²*ООО «ТМ.ВЕЛТЕК», Киев*

При выполнении агротехнических работ на почвах Словакии обработка грунтов осложнена особенностями их расположения в предгорной местности. Основа почвы — глина (суглинок) с высоким содержанием песка и присутствием камней размером вплоть до 300×300 мм. В связи с этим рабочие органы сельхозтехники работают в сложных условиях интенсивного абразивного изнашивания в сочетании с ударными нагрузками. От состояния лезвия рабочего органа сельхозмашины зависит качество обработанной почвы, его «забиваемость» и рабочее сопротивление. Затупившиеся рабочие органы (например, лапы сеялки) увеличивают тяговое сопротивление, что приводит к снижению производительности и увеличению расхода топлива на 15–20 %.

До настоящего времени обычная стрельчатая лапа сеялки имеет ресурс работы не более 2-х посевных сезонов (весна-осень), до 400 га обработанной земли.

В условиях современной экономической ситуации особенно актуален вопрос существенного увеличения ресурса работы рабочих органов сельхозтехники. Фирмой Darin s.r.o совместно с украинским предприятием ООО «ТМ.ВЕЛТЕК» в период с 2018 по 2019 г., проводился комплекс испытаний порошковых проволок при сварке и наплавке различных металлоконструкций. В частности, в рамках этих испытаний были выполнены и работы по упрочняющей электродуговой наплавке стрелчатых лап сеялки. Наплавка выполнялась двумя порошковыми проволоками: Велтек-Н650-О Ø1,6 мм и Велтек-Н634-Г Ø1,2 мм. Наплавочные работы выполнялись на полуавтомате СОМРАСТ 428.

В процессе наплавки наблюдалось устойчивое и стабильное горение дуги, небольшое разбрызгивание. Наплавка выполнялась в один слой толщиной в пределах 2,5–4,0 мм. При выполнении наплавки проволокой Велтек-Н650-О Ø1,6 мм наблюдался допустимый уровень трещинообразования, при наплавке проволокой Велтек-Н634-Г трещины отсутствовали. Натурные испытания наплавленных изделий проводились на словацких сельхозугодьях фирмы Darin s.r.o, включающий регулярный осмотр состояния рабочей оснастки техники в процессе эксплуатации. Упрочненные лапы обработали уже более 650 га земли и еще находятся в полностью рабочем состоянии, износ рабочей поверхности минимален, но необходимо отметить, что на наплавленной поверхности проволокой Велтек-Н650-О-1,6 наблюдается небольшое количество незначительных отколов. По прогнозу, исходя из нынешнего состояния деталей, упрочненные лапы должны как минимум отработать еще такой же срок. Это позволяет увеличить ресурс эксплуатации минимум в 3–4 раза. Исходя из полученных результатов эксплуатационных испытаний, доступности процесса электродуговой наплавки порошковыми проволоками, небольших затрат на расходные материалы и рабочее время принято решение о целесообразности использования данной технологии при ремонте рабочих органов сельхозтехники работающей в условиях почв Словакии.

КОРОЗИЯ ПІД НАПРУЖЕННЯМ ВИСОКОЧАСТОТНИХ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ СТАЛІ 17Г1С ЗА РІЗНИХ УМОВ

Л.І. Ниркова, С. Прокопчук, С.О. Осадчук, Л.В. Гончаренко
Інститут електросварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Досліджено особливості корозії під напруженням високочастотних зварних з'єднань з маловуглецевої сталі 17Г1С-У.

Корозійно-механічні дослідження у розчині 3 % NaCl за різних рівнів навантажень (робоче навантаження газопроводу під час експлуатації, навантаження вдвічі менше за робоче, та навантаження, що дорівнювало 0,95 границі текучості) показали, що корозійна тривкість зварного з'єднання майже не відрізняється від основного металу, рис. 1. Це свідчить про рівномірність зварного з'єднання в умовах загальної корозії.

Однак, в умовах катодного захисту, за якого експлуатуються підземні трубопроводи, опірність корозійному розтріскуванню змінюється. При зміщенні потенціалу від мінімального до максимального захисного підви-

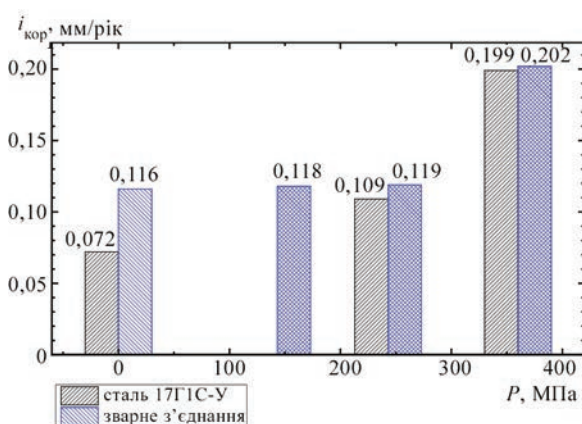


Рис. 1. Опірність корозії під напруженням сталі 17Г1С-У та зварного з'єднання у нейтральному розчині 3 % NaCl за різних рівнів навантажень

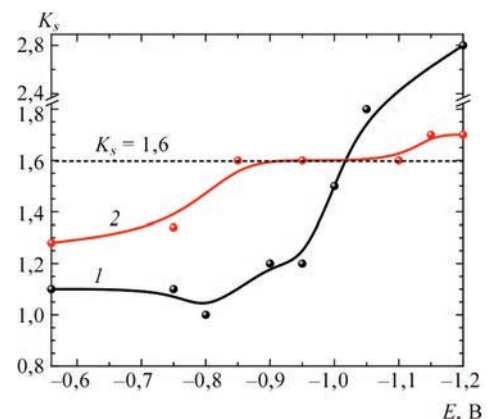


Рис. 2. Зміна коефіцієнта схильності до корозійного розтріскування K_s сталі 17Г1С-У (1) та зварного з'єднання (2) у модельному ґрунтовому електроліті в залежності від потенціалу поляризації

щується схильність до крихкого руйнування, як основного металу сталі 17Г1С-У, так і зварного з'єднання, рис. 2. Руйнування зварних з'єднань відбувалося по основному металу, що дало змогу застосувати для оцінювання запропонований раніше [1] коефіцієнт схильності до корозійного розтріскування K_s ($K_s = \psi_n / \psi_p$, де ψ_n та ψ_p — відносне звуження зразків у повітрі та у розчині, відповідно) та критерій схильності до корозійного розтріскування (якщо $K_s \geq 1,6$, сталь схильна до корозійного розтріскування).

Коефіцієнт K_s за потенціалів $-0,75$, $-0,95$, $-1,05$ та $-1,2$ В, для основного металу становив $1,1 \rightarrow 1,2 \rightarrow 1,8 \rightarrow 2,4$, для зварного з'єднання — $1,34 \rightarrow 1,6 \rightarrow 1,5 \rightarrow 1,6$, відповідно.

Граничне значення $K_s \geq 1,6$ для основного металу сталі 17Г1С-У досягається за потенціалів $-1,0$ В та від'ємніше, для зварного з'єднання — за потенціалів $-0,85$ В та від'ємніше. Тобто за інших однакових умов зварне з'єднання проявляє вищу схильність до крихкого руйнування в нормованому ДСТУ 4219 діапазоні захисних потенціалів.

Таким чином, в умовах експлуатації при катодному захисті трубопроводів з ВЧЗ з'єднаннями їх безвідмовна робота буде визначатися опірністю проти корозійного розтріскування зварних з'єднань. В нормованому діапазоні захисних потенціалів (від $-0,75$ до $-1,05$ В) схильність до крихкого руйнування ВЧЗ з'єднання вище, ніж для основного металу. Ймовірно, в умовах катодного захисту при експлуатації трубопроводів з таких зварних з'єднань доцільно знижувати максимальне значення захисного потенціалу.

1. Nyrkova L.I., Osadchuk S.O., Rybakov A.O., Mel'nychuk S.L. (2020) Methodical approach and a criterion for the evaluation of the susceptibility of pipe steel to corrosion cracking. *Materials Sci.*, 55(5), 625–632.

ПІДХОДИ ДО ДОСЛІДЖЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ МАТЕРІАЛІВ В УМОВАХ ПОМІРНОГО КЛІМАТУ

С.О. Осадчук, Л.І. Ниркова, С.О. Соловей, В.В. Книш

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

На довговічність металевих конструкцій впливають умови експлуатації, урахування яких є ключовим аспектом для проектування, як нових споруд, так і обслуговування тривалоексплуатованих. Вирішенню проблеми прогнозування довговічності металоконструкцій, сприяють прискорені корозійні випробування, які моделюють умови експлуатації. Однак вони дають лише орієнтовну оцінку для різних кліматичних умов, оскільки моделювання таких умов пов'язане зі спрощеннями і припущеннями.

Розроблено підхід до дослідження в лабораторних умовах та прогнозування довговічності матеріалів в атмосферних умовах помірною клімату, в якому обґрунтовано вибір чинників впливу та тривалість випробувань. Згідно з нормативними документами прийнято, що в помірному кліматі плівки сконденсованої вологи на поверхні конструкції тримаються впродовж ~ 2500 год/рік при середньорічній температурі 11 °С. Зроблено припущення, що в таких умовах найвагомішими чинниками є вологість, тривалість знаходження вологи на поверхні конструкції та температура. Запропоновано проводити випробування в умовах підвищеної вологості 98% та температури 40 °С. Відповідно до закону Вант–Гоффа при підвищенні температури на 10 °С швидкість реакції (в даному випадку швидкість корозії) збільшується в 2 – 4 рази: $V_2 = V_1 \gamma^{\Delta t/10}$ (де V_2 , V_1 — швидкість корозії при температурі t_2 та t_1 , відповідно, γ — температурний коефіцієнт реакції, рівний 2 – 3 для більшості реакцій). Якщо прийняти, що середнє значення $\gamma = 3$, прискорення корозійного процесу за температури 40 °С становитиме 24 . Вважали, що тривалість витримування зразків за підвищеної вологості та температури (коли утворюються фазові плівки вологи) впродовж 100 год відповідатиме 1 року експлуатації.

З літератури відомо, що оцінити корозійні втрати в атмосфері можна за зміною втрати маси зразків-свідків або товщиною стінки конструкції в часі шляхом спостереження і інтерполяції експериментальних даних.

Продемонстровано використання такого підходу на прикладі дослідження ефективності технології зміцнення зварних з'єднань високочастотним механічним проковуванням (ВМП) для підвищення опору втомі і корозійної стійкості області зварних з'єднань металоконструкцій зі сталі 15ХСНД, а саме часу, впродовж якого може зберігатися зміцнений шар на поверхні в умовах експлуатації. Металографічними дослідженнями встановлено, що товщина пластично здеформованого шару на мікрошліфі у вихідному стані становила 325 мкм, після 1200 годин експонування в умовах підвищеної вологості — $0,01$ – $0,130$ мм, через 2400 годин — такий шар не виявлено. Можна припустити, що руйнування зміцненого шару відбулося в період між

1200 та 2400 год, на що вказують результати корозійних і металографічних досліджень. Це відповідатиме ~12 рокам в умовах експлуатації в атмосфері помірного клімату.

Розроблений методичний підхід може бути корисним для оцінювання корозійної тривкості матеріалів, вузлів зварних металоконструкцій в умовах корозійно-механічних навантажень та прогнозування їх довговічності.

ПОЛУЧЕНИЕ НАНОЧАСТИЦ Fe, Cu, Ag В МАТРИЦЕ NaCl НА ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПОДЛОЖКЕ МЕТОДОМ EB-PVD

В.А. Осокин, Ю.А. Курапов, В.В. Борецкий, Я.А. Стельмах, С.Е. Литвин

Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев

Исследования условий формирования композиционных материалов на основе наночастиц железа, меди и серебра, обладающих комплексом медико-биологических характеристик, необходимы для создания наноструктурных лекарственных субстанций с целью модификации существующих медицинских препаратов активными наночастицами и достижения синергетического эффекта с повышением функциональных характеристик готовых лекарств. При этом формирование наночастиц в растворимых матрицах позволяет консервировать их, с сохранением размерности в течение длительного интервала времени.

С уменьшением размерности до наноуровня вклад чистоты материала на его свойства возрастает. Особое значение, определяющее характер и интенсивность воздействия наночастицы, имеет поверхность. Поэтому физические методы испарения и последующего осаждения атомно-молекулярных потоков в вакууме являются наиболее подходящими для разработок субстанций медицинского назначения.

Метод EB-PVD сочетает возможности интенсивного испарения металлов и химических соединений с высокой точностью технологического контроля данного процесса. Однако применение стационарных подложек ограничивает его возможности по формированию композиций NaCl–Fe/Cu/Ag из-за неоднородности распределения компонентов по подложке. Это накладывает ограничения на допустимые линейные размеры подложки и уменьшает производительность, определяемую площадью подложки и толщиной конденсируемого материала.

В данной работе рассмотрена технологическая схема с периферическим, относительно оси вращения подложки, расположением источника испарения металла и ориентированным, за счет комплекса наклонных паровых каналов, паровым потоком NaCl, источник которого находится за пределами подложки. Использование комплекса паровых каналов обеспечивает равномерность распределения толщины NaCl по подложке, диаметром 400 мм с отклонением не более 3 %.

В случае осаждения композиционного конденсата NaCl–Fe/Cu/Ag, отклонение концентрации металлической составляющей не превышает 8–10 %. При этом периферическое расположение источника пара металла позволяет снизить расстояние между источником и подложкой до 250 мм. Вращение подложки обеспечивает периодический перенос конденсируемого материала в удаленное от тигля положение, предотвращая поверхностный перегрев, который происходит в случае стационарной подложки. Это позволяет повысить толщины получаемых конденсатов до значений не менее 300–400 мкм с сохранением размерности получаемых наночастиц, что подтверждается исследованиями лазерной корреляционной спектроскопии.

Описанная технологическая схема позволяет при использовании водоохлаждаемой подложки диаметром 400 мм получать за 1 эксперимент 65 грамм композиционного конденсата с наночастицами Fe/Cu/Ag, размерности 10 ± 3 нм, в матрице NaCl. При этом фактическое содержание наночастиц составляет 20 грамм.

ІНДУКЦІЙНА ТЕРМІЧНА ОБРОБКА ЗВАРНИХ СТИКІВ ЗАЛІЗНИЧНИХ РЕЙОК

Є.О. Пантелеймонов, І.І. Дацюк

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

В ІЕЗ ім. Є.О. Патона розроблена установка для термічної обробки зварних стиків рейок, виконаних контактним стиковим зварюванням. В установці використовується технологія індукційного нагріву зварних стиків рейок струмами частотою 2,4 кГц з подальшим загартуванням поверхні катання головки рейки примусовим обдуванням стислим повітрям. Установка призначена для застосування в цехових і шляхових умовах. У переносному модулі установки застосовуються індуктори з магнітопроводами. Індуктуючі дроти індукторів повторюють форму вигину поверхні рейки з повітряним проміжком, збільшеним над шийкою і пір'ям рейки. Магнітопроводи індукторів встановлені над поверхнею катання головки, її бічними гранями, шийкою і нижньою поверхнею підшови рейки. Тим самим, враховується складна форма поверхні рейки, покращується магнітний зв'язок системи індуктор — рейка, досягається необхідний розподіл передаваної в зварний стик потужності, збільшується частина потужності, що передається в головку і підшову, в порівнянні з шийкою, і зменшується в пір'ї рейки, запобігаючи їх перегріванню. Процес термічної обробки характеризується наступними параметрами: споживана потужність джерела живлення 90 кВт; температура нагріву поверхні катання головки 900–920 °С; час нагріву 180 с від початкової температури стику 20 °С; температура на глибині 24 мм від поверхні катання головки 850 °С; температура центру шийки 870 °С; температура на глибині 12 мм від нижньої поверхні підшови 840 °С; час нагріву до температури точки магнітних перетворень на поверхні катання головки 70 с. Дослідження зварних стиків рейок Р65 із сталі К76Ф і рейок UIC60 із сталі А900 показали, що в результаті термічної обробки кардинально, в позитивну сторону, змінюється структура і властивості металу зварних стиків, збільшується бал зерна, вирівнюється твердість металу по ширині зони термічного впливу, зменшується відхилення твердості металу зварних стиків від рівня основного металу.

ДУГОВЕ НАПЛАВЛЕННЯ З ОРІЄНТУВАННЯМ ЗОН РІЗНОГО СКЛАДУ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ

В.В. Перемітько, Д.Г. Носов, І.В. Коломоєць

Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське, Україна

Основним способом вирішення проблеми нерівномірності зносу контактних поверхонь є формування в них змінного складу та властивостей. Актуальність роботи полягає у відсутності способу, який би передбачав застосування поширених наплавних матеріалів та незмінного режиму наплавлення. З літературних даних відомо про позитивний досвід використання легувальних присадок (паст, порошків тощо). Очевидно, що орієнтуючи шари таких матеріалів певним чином, можна досягти локального зміцнення та формування змінного складу та властивостей.

Метою роботи було перевірити вплив орієнтування зон різної твердості на характер руйнування та транспорт його продуктів. Для цього було підготовлено циліндричні зразки зі сталі 45 довжиною 165 мм та зовнішнім діаметром 40 мм. В якості зміцнювача було обрано TiC, який наносився локально, на периферію, погоджено до напрямку нанесення шарів, у вигляді смуг шириною 2 мм. Наплавлення виконувалося на установці УД-209, дротом Св-08Г2С, діаметром 2 мм в суміші 90 % Ag + 10 % CO₂. Параметри режиму застосовувалися наступні: $I_{зв} = 135\text{--}140$ А, $U_{д} = 30\text{--}35$ В, $v_{зв} = 25\text{--}30$ м/год.

Накладання валиків відбувалося поздовжньо та поперечно до обертання зразка. З наплавлених зразків вирізалися ролики шириною 10 мм. Випробування зразків на зношування виконували на машині тертя МІ-1М протягом 12 годин для спостереження опірності зносу та зміни рельєфу при тривалих незмінних навантаженнях (100 Н). Через кожні 2 години виконувалися заміри твердості по зонах, величини зносу та шорсткості. Вищу опірність зношуванню демонструють поверхні із поперечним орієнтуванням зон підвищеної твердості, що підтверджують заміри величини зносу. При поперечному орієнтуванні кінцеве значення втрати маси майже в 7 разів менше, ніж при поздовжньому (0,6264 г при повздовжньому проти 0,0916 г при поперечному). Пояснити це можна перешкоджанням вириванню та інтенсивному викришуванню матеріалу в знеміцнених зонах завдяки характеру конфігурації поверхні (формується періодичні рельєфні виступи на основі більш збережених зон підвищеної твердості).

Шари зміцнювача розташовувалися максимально щільно, на відстані 4 мм від центру запланованого валика (саме така відстань виявилася допустимим мінімумом для попередження перемішування), так як припускається, що зменшення розміру знеміцнених ділянок сприятиме зниженню інтенсивності зносу.

Для встановлення відмінності характеристик металу у зонах більшої та меншої твердості останню вимірювали твердоміром ТК-2, погоджено до орієнтування зон.

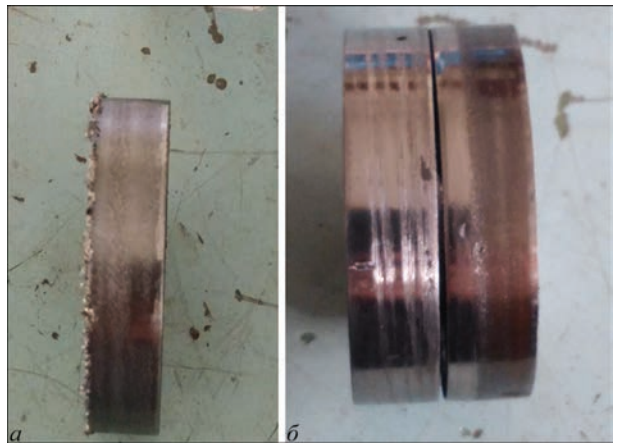
У разі поперечного орієнтування зон підвищеної твердості фіксується зниження інтенсивності руйнування зон меншої твердості. Перепад значень ΔHB твердості по зонах при поперечному орієнтуванні є меншим (58HB проти 62HB при поздовжньому), що свідчить про меншу втрату міцності в знеміцнених зонах.

У контексті уникнення нерівномірності зношування поперечне орієнтування зон більшої твердості також виявляється більш ефективним. Це підтверджує характер зміни шорсткості протягом усього часу прикладання навантажень та зовнішній вигляд зразків після 12 годин навантажень.

Саме з цієї причини було вирішено адаптувати наплавлення за таким способом для поверхонь більшої площі. З'ясували відмінності у характері руйнування та видаленні продуктів зносу. Для цього зношували ролики попарно (загальна ширина становила 20 мм). Порівняння зовнішнього вигляду зношеного одиничного та парних роликів (рисунок).

Було виявлено, що у випадку розвинених поверхонь продукти руйнування відтісняються не поздовжньо, а поперечно до напрямку обертання деталі. Тобто напрямок руху продуктів зносу співпадає із характером орієнтування зон підвищеної твердості. Крім того, збільшення площі контакту позначається на величині зносу. Заміри втрати маси роликів, що зношувалися в парі, показали зменшення на 2,1876 г при незмінному тиску, що прикладався до зразків. Це свідчить про те, що збільшення площі при орієнтуванні зон підвищеної твердості також сприяє зменшенню опірності зносу.

Таким чином, встановлено позитивний вплив поперечної схеми орієнтування зон підвищеної твердості на опірність зношуванню та збереження рельєфу поверхнею, а також можливість керування рухом продуктів руйнування при зміні схеми розташування вказаних зон. Виявлено як суттєвий також розмірний фактор: при збільшенні загальної площі контактуючих поверхонь напрямок видалення продуктів зносу змінюється на більш сприятливий, опірність зношуванню зростає.



Зовнішній вигляд зразків після зношування: *a* — ширина 10 мм; *б* — ширина 20 мм

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛА ТА РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ РЕКУПЕРАТОРА ТА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЙОГО ВИГОТОВЛЕННЯ

**Б.С. Сорока¹, В.О. Згурський¹, М.В. Воробйов¹, М.М. Савицький², О.С. Прокоф'єв²,
Р.С. Губатюк², С.В. Римар², Ф.С. Бойко², Н.М. Машинська²**

¹Інститут газу НАН України, Київ

²Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Модернізація існуючого і створення нового теплотехнічного устаткування із підвищеними показниками коефіцієнта корисної дії є нагальною проблемою енерго- та ресурсозбереження. Моделювання теплових процесів дозволяє визначити більш ефективні конструкції теплотехнічного устаткування з покращеними характеристиками використання теплової енергії.

В Інституті газу НАН України розроблена нова конструкція рекуператора для утилізації тепла із застосуванням вторинних випромінювачів. В конструкції рекуператора застосовані леговані, корозійно- та жаростійкі сталі, що підвищує його надійність і довговічність. Конструкція рекуператора передбачає застосування технологій дугового зварювання складних просторових конструкцій з наявністю кільцевих швів, як в поворот-

них, так і в неповоротних стиках, монтажних швів, а також технологічних процесів нанесення корозійно- та жаростійкого захисного покриття.

Результатом проведених робіт є розробка комплексу конструкторської документації, адаптованої до застосування зварювальних технологічних процесів і подальшого виготовлення та впровадження у виробництво даної розробки – рекуператора для утилізації тепла для поворотної плавильної печі.

Розробка здійснена Інститутом газу НАН України спільно із Інститутом електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України та Українським Науково-Технологічним Центром і впроваджена в США для поворотної алюмінієво-плавильної печі (California Energy Commission (CEC)).

НАНЕСЕННЯ ДИСКРЕТНИХ І СУЦІЛЬНИХ ПОКРИТТІВ НА ПОРОШКИ ТА ГРАНУЛИ МЕТОДОМ EB-PVD

Я.А. Стельмах, К.Ю. Яковчук, В.М. Дацюк, А.А. Юкальчук, Д.С. Лещев

*ДП «Міжнародний центр електронно-променевої технології
ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України», Київ*

Важним направлением современного материаловедения является разработка технологий нанесения наноразмерных металлических или керамических покрытий толщиной 10–200 нм на порошки различной дисперсности для создания на их основе новых материалов с повышенными функциональными характеристиками.

Существующее оборудование и технологии электронно-лучевого испарения и конденсации в вакууме (EB-PVD) предоставляют возможность высокоинтенсивного испарения широкого спектра неорганических материалов и обеспечивают формирование покрытий на подложках произвольных форм и размеров, включая дисперсные системы.

Для формирования плакирующих покрытий на порошках размерности 50–500 мкм, а также гранул размером более 3 мм предложен технологический подход формирования протяженной вертикальной завесы порошка (гранул), на которую выполняется осаждение парового потока. Технологическая схема включает колесо, которое может быть установлено в основной вакуумной камере существующих установок (типов UE-204, UE-207C, UE-210) на горизонтальном вращающемся валу. Колесо с находящимся в его нижней части порошком (гранулами) также содержит закрепленные внутри ковши, которые захватывают порошок. При вращении колеса порошок перемещается в верхнюю область колеса и просыпается вниз под действием силы тяжести в виде плоской струи, на поверхность частиц порошка (гранул) в процессе их падения осаждается покрытие. Разработанная оснастка, адаптированная под размеры вакуумной камеры лабораторной электронно-лучевой установки, обеспечивает осаждение покрытий из никеля со скоростью 1 нм/мин на модельном порошке размерности 100 мкм объемом 300 см³.

Представлены результаты выполненного плакирования порошков Al₂O₃, SiO₂, BN, а также полых и цельнотелых керамических микросфер размерностью 50–400 мкм и плотностью от 0,4 до 4 г/см³ дискретными и сплошными покрытиями железа и никеля, толщиной 10–50 и 150–250 нм. Исследования структуры сплошных плакирующих слоев на сечениях частиц порошков подтверждают непрерывность полученных покрытий при толщинах более 20 нм. На примере гранул фторопласта с размерностью 3,5–4,5 мм показано, что применение водоохлаждаемой оснастки позволяет плакировать материалы с относительно низкой температурой плавления.

ЦИФРОВІ СИСТЕМИ РЕНТГЕНТЕЛЕВІЗІЙНОГО КОНТРОЛЮ

В.О. Троїцький, М.М. Карманов, С.Р. Михайлов

Інститут електростварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

В даний час у світовій практиці замість плівкової радіографії отримали розвиток цифрові методи неруйнівного контролю з використанням повноформатних напівпровідникових рентгенівських плоскопанельних детекторів, які дозволяють отримати рентгенівські зображення безпосередньо при просвічуванні виробу. Основний недолік таких повноформатних панелей — висока вартість (десятки тисяч доларів США), відносно низька роздільна здатність (близько 100 мкм), яка в кілька разів поступається кращим рентгенівським плівкам. Ці перетворювачі не можуть знайти в Україні широкого практичного застосування через велику вартість. Нами запропоновано рентгенотелевізійні системи (РТВС) на основі відносно недорогих мініатюрних твердотільних перетворювачів S10811-11 (Hamamatsu Photonics які широко використовують в стоматології. Сенсори мають надвисоку роздільну здатність (розмір пікселя — 20 мкм, робоче поле — 24×34 мм, дискретні розміри — 1700×1200 пікселів). Такі показники недосяжні для аналогічних великих напівпровідникових панелей, які широко застосовуються у всьому світі. Висока роздільна здатність сенсора дозволяє виявляти мікротріщини, мікротріщини з дуже тонкою структурою (20–25 мкм). Вони можуть використовуватися в системах контролю безпеки, наприклад, виявляти тонкі деталі детонаторів і т.і. Їх можна використовувати при створенні сенсорів для роботи в обмеженому просторі.

Основний недолік міні сенсорів — малий розмір робочого поля (30–40 мм). У багатьох випадках цього недостатньо, щоб замінити ними традиційну рентгенівську плівку.

Збільшення зони контролю досягається електромеханічним скануванням з подальшим програмним зшиванням окремих малоформатних цифрових рентгенівських зображень. Як електроприводу сканера використовується кроковий двигун з гвинтовою передачею і лінійні напрямні, по яких переміщається мініатюрний сенсор. Управління сканером, зчитування і зшивання зображень виконується через комп'ютер. Час отримання рентгенівського зображення розміром 34×340 мм не більше 3-х хвилин.

Розроблена РТВС захищена патентом України.

Другим напрямком розвитку цифрових систем рентгенотелевізійного контролю стали розробки на основі понадчутливих астрономічних камер, створених за схемою «рентгенівський екран–оптика–ПЗС/КМОП–Сенсор».

Серія цифрових рентгенотелевізійних систем РТВ-1÷РТВ-3 створена на монокристалічних екранах на основі йодиду цезію CsI (TI). Діаметр робочого поля — від 120 до 200 мм. Системи призначені для ефективного радіаційного контролю різних виробів (трубопроводів, зварних з'єднань, лиття і т.д.) в реальному часі з відносною чутливістю, яка відповідає плівковою радіографії.

У рентгенотелевізійних системах РТВ-4÷РТВ-6 використані ефективні порошкові екрани на основі оксисульфіда гадолінію Gd₂O₂S(Tb) і високочутливі КМОП-сенсори фірми ON Semiconductor.

Система РТВ-4 забезпечує чутливість контролю (0,8 %) і дозвіл (5,5 пар лін./Мм), і здатна замінити плівкову радіографію.

Система РТВ-5 призначена для ефективного оперативного контролю якості пластин з композиційного матеріалу — реакційно-спеченого кераміки на основі карбиду кремнію. Такі пластини використовуються в бронежилетах для захисту військовослужбовців Збройних сил України.

Портативна система РТВ-6 ефективно застосовується для контролю зварних з'єднань труб малого діаметра в умовах обмеженого простору і в важкодоступних місцях.

Розроблені РТВС захищені трьома патентами України.

НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ У ЗВАРЮВАЛЬНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

В.О. Троїцький, М.М. Карманов, С.Р. Михайлов, В.Ю. Глуховський, В.А. Литвиненко
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

В ІЕЗ ім.Є.О.Патона ведуться роботи зі створення різних систем неруйнівного контролю (НК) стосовно до зварювального виробництва.

Низькочастотний ультразвуковий контроль (НЧ УЗК) вирішує проблеми діагностування старих технологічних трубопроводів. Успішно дається оцінка старіння металу на основі аналізу глибини проходження ультразвуку крізь метал, його допустимість для подальшої експлуатації. Роботи з НЧ УЗК знайшли практичне застосування при діагностуванні стану трубопроводів теплотрас, газопроводів тощо.

Найбільш поширеним методом НК є візуальний-вимірювальний контроль (ВВК). Він передреє всім іншим методам НК. Для підвищення точності, повноти і об'єктивності ВВК розроблені прилади для оптоелектронного візуального контролю, які дозволяють зчитувати й аналізувати зображення поверхні (зварного шва), вимірювати геометричні параметри фрагментів поверхні, здійснювати бездротову передачу отриманих зображень і запам'ятовувати їх в цифровому вигляді. Записи зображень зварних швів в подальшому обробляються, документуються і архівуються, а при необхідності можуть бути перевірені ще раз, оцінені з позицій міжнародних стандартів. Такі прилади використовувались для контролю якості резервуару 200 м³ на антарктичній станції ім. академіка Вернадського.

Роботи з цифрового рентгенотелебачення ведуться в двох напрямках. Перший, це скануючі системи високої роздільної здатності на основі рентгенівських мінісенсорів, що застосовуються в стоматології. Другий напрямок, це розробки на основі надчутливих астрономічних камер, створених за схемою «рентгенівський екран–оптика–ПЗС/КМОП–Сенсор». Серія систем РТВ-1÷РТВ-3 створена на монокристалічних екранах на основі йодиду цезію CsI (Тl). У системах РТВ-4÷РТВ-6 використані ефективні порошкові екрани на основі оксисульфіда гадолінію Gd₂O₂S (Тb). монокристалічних екранах на основі йодиду цезію CsI (Тl). Діаметр робочого поля — від 120 до 200 мм. Системи призначені для ефективного радіаційного контролю різних виробів (трубопроводів, зварних з'єднань, лиття і т.д.) в реальному часі з відносною чутливістю, яка відповідає плівковою радіографії.

Розроблено та випробуване дистанційне бездротове керування рентгенотелевізійними системами НК, випробувана мікроконтролерна система моніторингу та оцінки радіаційного фону для захисту персоналу.

Продовжуються роботи з тангенціального проsvічування. На замовлення Запорізької АЕС були проведені роботи з визначення залишкової товщини стінки теплообмінних труб із застосуванням зазначеного методу, У своїх розробках систем НК широко використовуємо сучасні засоби мікроелектроніки. Так, наприклад, на основі мікроконтролера Arduino та датчиків Холла розроблено компактний магнітометр.

Ведуться дослідження застосування тепловізійного методу НК для оцінки якості потенційно небезпечний промислових об'єктів. Розроблено відповідні методики та засоби. На виході - кандидатська дисертація.

Розроблено широкий спектр скануючих намагнічуючих пристроїв (НП) на постійних магнітах з шарнірним магнітопроводом. Намагнічуючі пристрої призначені для локального намагнічування певної ділянки металоконструкції. Для намагнічування наступних ділянок, магнітний пристрій (типу ТВА) необхідно покроково перемішувати.

Для підвищення продуктивності магнітопорошкового методу контролю застосовуються рухливі намагнічуючі пристрої. Випущена серія таких намагнічують пристроїв під різні геометричні форми контрольованих об'єктів з широкими функціональними можливостями. Є великий практичний досвід впровадження рухомих НП для НК об'єктів залізничного транспорту і не тільки.

ІМПУЛЬСНО-ПЛАЗМОВЕ МОДИФІКУВАННЯ ПОВЕРХНІ СТАЛЬНИХ ШТАМПІВ ГАРЯЧОЇ ВИТЯЖКИ ВИРОБІВ ІЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВУ

Ю.М. Тюрін¹, О.В. Колісніченко¹, В.М. Коржик¹, І.Д. Гос¹,
О.В. Ганушак¹, Дзін Ян², Чжун Фенпін²

¹Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

²Науково-дослідний Інститут спеціального обладнання в провінції Чжецзян, КНР

Розглянуто технологію модифікування імпульсною плазмою робочої поверхні штампа із інструментальної сталі марки 4X5MФ1С (аналоги: в ЄС — X40CrMoV5-1; в Китаї — 4Cr5MoSiV1). Вказаний інструмент застосовується для штампування заготовок з титанового сплаву ВТ6 (в мас. %: Al – 3,0...6,8; V – 3,5...5,0; Ti — основа), яке виконується при температурах до 700 °С. Поверхня штампа нагрівається, що веде до її окислення та дифузійного перерозподілу легуючих елементів. Імпульсно-плазмова обробка штампу приводить до формування пружно-пластичних деформацій поверхневого шару в інструментальній сталі, що в поєднанні з імпульсним тепловим і електромагнітним впливом забезпечує подрібнення структури сплаву та інтенсифікує механізми дифузії легуючих елементів. Дослідження показали, що модифікований шар (товщиною понад 80 мкм) в сталі 4X5MФ1С, утворений в процесі імпульсно-плазмової обробки, містить до 2,5 % вуглецю, до 12 % кисню та до 3 % вольфраму. Встановлено наявність у вказаному шарі нанокристалічних структур з розміром менше 100 нм. Твердість модифікованого шару складає понад 700 HV_{0,025}. Шорсткість поверхні після імпульсно-плазмової обробки не змінилася. Досвід промислового використання даної технології показав, що модифікування поверхні штампа зі сталі 4X5MФ1С забезпечила його високу працездатність при глибокій витяжці виробів з нагрітого (до 700 °С) листа титану ВТ-6 товщиною 3 мм.

СТРУКТУРА ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ БАГАТОКОМПОНЕНТНОГО ВИСОКОЕНТРОПІЙНОГО СПЛАВУ СИСТЕМИ Nb–CrTi і–AlZr, ОДЕРЖАНИХ ЛАЗЕРНИМ ЗВАРЮВАННЯМ

В.Д. Шелягін¹, А.В. Бернацький¹, О.В. Сіора¹, В.І. Бондарєва¹, М.П. Бродніковський²

¹Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

²Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, Київ

В роботі авторами досліджено проблеми одержання способом лазерного зварювання з'єднань з високоентропійного сплаву системи Nb–Cr–Ti–Al–Zr. Представлені результати диференціального термічного аналізу вихідного матеріалу. Проаналізовано результати рентгенофазового аналізу сплаву. Зроблено висновок о існуванні в сплаві ОЦК твердого розчину на основі ніобію та твердого розчину на основі інтерметаліду ZrCr₂, а також існування в сплаві двох твердих розчинів на основі ніобію з різним хімічним складом. Проведено аналіз впливу швидкості кристалізації сплаву на його мікроструктуру. Показано, що співвідношення кількості дендритів і евтектики може змінюватися в залежності від швидкості охолодження. Отримані результати досліджень по формуванню дендритної структури були в подальшому використані при відпрацюванні режимів зварювання лазерним випромінюванням. В даній роботі авторами досліджено вплив на формування мікроструктури швів таких параметрів, як потужність випромінювання та швидкість лазерного зварювання. Досліджено механічні властивості стикових з'єднань на одновісний статичний розтяг. Встановлено, що на ослаблення матеріалу, що призводить до руйнування, впливає особливість розподілу залишкових термічних напружень, що визначається режимом підведення і відведення тепла в процесі зварювання. Показано, що утворення більшості дефектів пов'язано з особливістю нерівноважної кристалізації багатокомпонентних високоентропійних жароміцних сплавів. Для запобігання їх утворення доцільними є заходи з оптимізації технологічних параметрів, спрямовані на збільшення швидкості охолодження розплаву, з метою одержання більш рівноважної структури.

ДОСВІД СТВОРЕННЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ МІКРОПЛАЗМОВОГО ПОРОШКОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ НА ОСНОВІ ПРОГРАМОВАНОГО ЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЕРА

К.А. Ющенко¹, О.В. Яровицин¹, О.О. Фомакін¹, Г.Д. Хрущов¹, М.Н. Токмаков²

¹Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

²ТОВ «Патон Інтернешнл», Київ, Україна

Використання процесу мікроплазмового порошкового наплавлення (МПН) на вітчизняних підприємствах при серійному ремонті робочих лопаток авіаційних газотурбінних двигунів (ГТД) з важкозварюваних нікелевих жароміцних сплавів (НЖС) типу ЖС32 та ЖС6 в комплексі з прецизійною механічною та вакуумною термічною обробкою, відновленням захисних покриттів дозволяє отримувати високоякісний кінцевий продукт у вигляді відновленої деталі з гарантованим відпрацюванням наступного її міжремонтного ресурсу. Даний процес може успішно конкурувати з лазерними технологіями наплавлення, що переважно застосовуються за рудоном.

Фахівцями ІЕЗ ім. Є.О. Патона проаналізовані існуючі схеми технологічного керування МПН при відновленні кромки робочих і соплових лопаток авіаційних ГТД складної геометрії з важкозварюваних НЖС. Встановлено, що необхідною умовою для реалізації стабільного процесу і забезпечення високої прецизійності наплавленого валика є вар'ювання ефективної теплової потужності мікроплазмової дуги q_n у 5–7 разів в діапазоні від 50 до 700 Вт. Перспективним об'єктом направлено технологічного керування глибиною проплавлення основного металу та формою поперечного перерізу наплавленого валика обрано імпульсний струм. За допомогою методики проточного калориметрування мікроплазмової дуги уточнено залежності q_n (I) в діапазоні зварювального струму $I = 1–40$ А для основних технологічних варіантів застосування процесу МПН (вид захисного газу — аргон або суміш 90 % Ar + 10 % H₂). Для типових швидкостей 0,8–1,2 м/год. встановлено значення q_n , достатні для наплавлення кромки лопатки шириною до 7 мм. На основі математичного аналізу цільової функції відносної зміни питомих тепловкладень у виріб $\varepsilon_{q_n}^{I^B}$ обрано схему ефективного керування імпульсним зварювальним струмом та уточнені вимоги до його амплітудно-частотних параметрів, при яких для процесу МПН забезпечується мінімально необхідний рівень вар'ювання $\varepsilon_{q_n}^{I^B} = 0,5–3,0$. Це дозволило фахівцям 19-го відділу ІЕЗ ім. Є.О. Патона уточнити потрібні діапазони зміни значень робочих параметрів імпульсного струму в технологічному діапазоні $q_n = 50–700$ Вт, створити відповідне технічне завдання для перспективного джерела живлення, за яким на ДЗЗУ ім. Є.О. Патона виготовлено нове покоління спеціалізованого обладнання — установку МСТ-50.

МСТ-50 дозволяє забезпечити раціональний вибір технологічних газів в системі Ar → 90 % Ar + 10 % H₂; задавати синергетичні режими на базі декількох типів форми імпульсного зварювального струму з індивідуальними амплітудно-частотними параметрами струму та подавання порошку в діапазонах 2–75 А, 0,5–10 г/хв. та 0,2–30 Гц.

Технологічні випробування установки МСТ-50 показали, що вона може успішно застосовуватися в широкому діапазоні типових задач ремонту деталей авіаційних ГТД з важкозварюваних НЖС — від наплавлення високопрецизійних валиків при відновленні реборд робочих лопаток до багат шарового наплавлення об'ємом до 20 см³ при вищевисхідній втрачених або критично пошкоджених при експлуатації ущільнюючих елементів секторів та блоків соплових лопаток турбіни високого тиску.

ВИКОРИСТАННЯ БІМЕТАЛЕВИХ ЛИСТІВ SWIP® ДЛЯ ЗАХИСТУ ВЕНТИЛЯТОРНОЇ ТЕХНІКИ. ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ*

А.В. Євдокимов

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське, Україна

На кожному етапі гірничого-збагачувального та металургійного виробництва важливе місце посідають процеси газоочищення та аспірації, які через високу інтенсивність експлуатації найбільше піддаються зносу. Поширеними функціональними елементами системи видалення газів, парів та інших шкідливих домішок є ексгаустери, а для обміну повітря та нагнітання — тягодутьові машини (ТДМ). Зношення таких деталей потребує принципово нових рішень ремонту, оскільки нерівномірність абразивного зношення провокує руйнування не лише назовні, а і з середини. Основною метою дослідження були аналіз умов та наслідків експлуатації газоочисного обладнання, і, відповідно до пошкоджень, пошук шляхів вдосконалення способів підвищення опору до абразивного зношення окремих частин обладнання, що в свою чергу збільшить тривалість міжремонтного періоду на підприємствах. Зношення завжди починається з найменших дефектів поверхневого шару, себто з'являються нерівності, западини, тріщини, випини, а кінцевим етапом є повне руйнування деталі. Наприклад, коли вхідна кромка лопатки ротору ексгаустера зі сторони патрубку всмоктування зменшується на 30 мм, то відбувається «оголення» металу. Так відбулося зношення колеса ексгаустера Н 7500 виготовленого зі сталі 10ХСНД з товщиною лопатки 16 мм після експлуатації 30 днів (підприємство: АрселорМіттал Кривий Пір).

До уваги бралися результати прямих замірів втрати геометричних розмірів зносу елементів захисту (лопаток і накладок несучого диску) вентиляторів та нагнітачів до моменту настання їх заміни (відновлення).

Враховуючи, що ступінь зносу лопаток у різних ТДМ не є типовим і повторюваним, тож доцільно задіяти комплексний підхід при визначенні оптимальних варіантів підвищення ресурсу зазначених деталей. В такому випадку раціональним є використання під час виготовлення та/або ремонту деталей ТДМ методів зварювання і наплавлення. Найбільш поширеним є поверхневе зміцнення через нанесення сплаву «Сормаїт» з використанням електродів Т-590 і Т-620. За такої технології шари металу повинні мати товщину сумірну до втрат геометрії деталей, що кваліфікуються як неналежні й потребують ремонту.

Іншим способом може бути виготовлення лопаток з листів зі зносостійким шаром — біметалевих листів. Це двокомпонентний матеріал, який складається з низьковуглецевої (низьколегованої) сталі в якості основи, а також зносостійкого наплавленого шару, який виконаний з адаптованого до умов експлуатації матеріалу. Таку технологію запатентували та апробували спеціалісти підприємства Steel Work (під управлінням компанії APIS Holding, м. Кривий Пір). Це процес наплавлення вуглецевої сталі порошковими дротами або стрічками, такими як Welding Alloys Hardface HC-O, Bohler Sk-256, План-Т180.

Апробувати технологію вдалося під час ремонту ротора ексгаустера в відцентрованому нагнітачі. Ротор ексгаустера використовують в трактах газоочищення на агломераційних та випалювальних фабриках, в мартенівських та конвертерних цехах. Ексгаустер створює розрідження та сприяє видаленню газуватих продуктів згоряння з вакуум-камер машини через димову трубу. Потім в газоочисному колекторі відбувається очистка продуктів горіння від агломерату та пилу.

Зовсім по іншому себе поведуть накладки несучого диску нагнітачів і вентиляторів. В залежності від ступеню і способу очистки пилу, який проходить вздовж центрального диску, від 73 до 100 % частинок мають розмір до 100 мкм. Найбезпечнішими для поверхневої стійкості деталей ТДМ є частинки розмірами більше за 50 мкм, тому доречним буде брати до уваги гранулометричні межі частинок твердих фракцій промислових аерозолів (див. таблицю).

За інших рівних параметрів газопилового потоку визначальним виявляється спосіб фільтрації: при переході від мокрої фільтрації до сухої (використовуючи електрофільтр) стійкість деталей до ремонту або заміни зростає у декілька разів.

Враховуючи різний режим роботи ТДМ (у т.ч. температурний) та нерівномірний характер зношування, доцільним рахується диференційований підхід при виборі складу металу, що наплавляється.

*SWIP® — Steel Work Innovation Plate.

Розміри твердих частинок деяких промислових аерозолів

Вид абразивного матеріалу	Розмір, мкм
Пил від сирцевої муки	8
Пил від окалини	5...15
Пил від виробництва сталей	< 20
Цементна сирцева мука	8...15
Цементний пил	10...20
Пил від залізорудних котунів	100...770
Аглопил	50...150
Доменні шлаки	25...150

Відома також залежність зносостійкості від таких факторів як:

- мікротвердість карбідів у складі наплавленого металу;
- кількість карбідів на одиницю площі;
- густина кристалічної ґратки;
- твердість матриці тощо.

В подальшому можна припустити підвищення стійкості за рахунок використання більш зносостійких матеріалів, а також можливості направлення наплавлених валків під кутом 45° до потоку, таким чином й тріщини будуть розташовуватися під кутом.

Вважаємо доцільним подальші дослідження по вдосконаленню нанесення матеріалів для захисту від газоабразивного зносу шляхом диференціації хімічних складів матеріалів, та режимів наплавлення.

ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

- А**
Аджамський С.В. 10, 18
Алексєєнко Т.О. 12, 13, 28, 35
Алєшин А.А. 12, 25
Антіпін Є.В. 12, 13(2), 27, 33, 34
Артюх К.О. 13, 18
Ахонін С.В. 12, 18
- Б**
Бабінець А.А. 12, 13, 31, 38
Baudin T. 11, 20
Берднікова О.М. 11, 12, 13, 26, 28, 35
Бернацький А.В. 15, 51
Білоус В.Ю. 12, 18
Бойко Ф.С. 14, 47
Бондаренко Ю.К. 13(2), 18, 35
Бондарєва В.І. 15, 51
Борецький В.В. 14, 45
Бродніковський М.П. 15, 51
Бутурля Є.А. 10, 21
- В**
Воробйов М.В. 14, 47
Ворончук О.П. 13, 36
- Г**
Гайворонський О.А. 13, 35
Гайворонський О.О. 11, 20
Ганущак О.В. 11, 15, 25, 51
Глуховський В.Ю. 15, 50
Головко В.В. 11, 12(2), 26, 27, 32
Голякевич А.А. 13, 14, 36, 42
Гончаренко Л.В. 11, 14, 30, 43
Гончаров П.В. 14, 41
Гос І.Д. 15, 51
Гречанюк В.Г. 11, 19
Гречанюк І.М. 11, 19
Гречанюк М.І. 11, 19
Гринюк А.А. 11, 25
Губатюк Р.С. 14, 47
- Д**
Дацюк В.М. 15, 48
Дацюк І.І. 14, 46
Денисенко А.М. 11, 13, 20, 35
Дзін Ян 15, 51
Дідковський О.В. 12, 13(2), 27, 33, 34
Дмитрик В.В. 10, 20
- Є**
Євдокимов А.В. 53
- Ж**
Жуков В.В. 11, 26
Жудра О.П. 13, 36
- З**
Завдовєєв А.В. 11, 20
Загорніков В.І. 13, 38
Зволінський І.В. 14, 42
Згурський В.О. 14, 47
- І**
Іванченко Є.В. 14, 42
Ілляшенко Є.В. 11, 25
- К**
Кавуніченко О.В. 13, 33
Карманов М.М. 15(2), 49, 50
Касьяненко І.В. 10, 20
Квасницький В.В. 10, 12, 21, 25
Клочков І.М. (Klochkov I.) 10, 11, 25, 31
Книш В.В. 13, 14, 38, 44
Коваль В.А. 13, 39
Ковальчук Д.В. 11, 21
Ковальчук О.В. 13, 35
Колісніченко О.В. 15, 51
Коломоєць І.В. 14, 46
Кононенко Г.А. 10, 18
Копчевський П.М. 11, 29
Коржик В.М. 10, 11, 12(2), 15, 22, 25(2), 26, 51
Короб М.Ф. 12, 25
Костін В.А. 11, 26
Кот В.Г. 13, 38
Кочура В.О. 13, 36
Кравчук Л.А. 13, 38
Курапов Ю.А. 14, 45
Кусков Ю.М. 12, 26
Кучук-Яценко С.І. 12, 27
Кушнарєва О.С. 11, 26
- Л**
Лабур Т.М. 13, 39
Ланкін Ю.М. 14, 40
Латинін Ю.М. 10, 20
Левчук А.М. 13, 33
Лещев Д.С. 15, 48
Липян Є.В. 12, 27
Литвин С.Є. 14, 45
Литвиненко В.А. 11, 15, 32, 50
Лобанов Л.М. 10, 12, 14, 17, 27, 41
- М**
Мазур О.А. 11, 14, 28, 42
Маковецька О.К. 11, 14, 28, 42
Максимов С.Ю. 12, 28
Максимова С.В. 14, 42
Магônek M. 10, 31

- Motrunich S. 10, 31
 Матвієнко М.В. 10, 21
 Машинська Н.М. 14, 47
 Микитчик А.В. 11, 29
 Михайлов С.Р. 15(2), 49, 50
 Міходуй О.Л. 12, 14, 27, 41
 Муска Ю. 14, 42
- Н**естеренков В.М. 10, 13, 29, 38
 Ниркова Л.І. 11, 14(2), 30, 43, 44
 Носов Д.Г. 14, 46
- О**рлов Л.Н. 14, 42
 Орса Ю.В. 13, 38
 Осадчук С.О. 14(2), 43, 44
 Осокін В.О. 14, 45
- П**антелеймонов Є.О. 14, 46
 Пашин М.О. 12, 14, 27, 41
 Перемітько В.В. 14, 46
 Петриченко І.К. 12, 18
 Петров О.В. 13, 36
 Петрук В.С. 11, 14, 28, 42
 Подольський Р.В. 10, 18
 Позняков В.Д. 11, 13, 20, 35
 Половецький Є.В. 12, 28
 Потап'євський А.Г. 13, 18
 Прилипко О.О. 12, 28
 Присташ М.С. 12, 27
 Прокопчук С. 14, 43
 Прокоф'єв О.С. 14, 47
 Проценко Н.О. 10, 31
 Пустовойт С.В. 11, 14, 28, 42
- Р**адзівська А.А. 12, 28
 Радченко Л.М. 12, 18
 Рібаков А.О. 11, 30
 Римар С.В. 14, 47
 Романова І.Ю. 14, 40
 Руденко П.М. 12, 13, 27, 34
 Рудой Ю.Є. 11, 29
 Руник П. 14, 42
 Русиник М.О. 10, 13, 29, 38
 Рябцев І.О. 12, 13, 31, 38
- С**авицький М.М. 14, 47
- Sahul Mar. 10, 31
 Sahul Mir. 10, 31
 Селін Р.В. 12, 18
 Сенченков І.К. 12, 31
 Сидоренко Ю.М. 14, 41
 Сизоненко О.М. 12, 27
 Сіора О.В. 15, 51
 Скрябінський В.В. 10, 29
 Соловей С.О. 13, 14, 38, 44
 Соловійов В.Г. 14, 40
 Сорока Б.С. 14, 47
 Стельмах Я.А. 14, 15, 45, 48
- Т**ашев П. 12, 27
 Токмаков М.Н. 15, 52
 Торпаков А.С. 12, 27
 Троїцький В.О. 11, 15(2), 32, 49, 50
 Турик Є. 11, 32
 Тюкалов В.Г. 14, 40
 Тюрін Ю.М. 15, 51
- У**стименко П.Р. 14, 41
- Ф**едосенко В.В. 13, 36
 Фомакін О.О. 15, 52
- Х**аскін В.Ю. 11, 25
 Хрущов Г.Д. 15, 52
 Хуан Люї 11, 25
- Ї**рловић Л. 10, 31
 Червінко О.П. 12, 31
 Чжун Фенпін 15, 51
 Чижська Т.Г. 12, 32
- Ш**евченко В.Ю. 12, 26
 Шелягін В.Д. 15, 51
 Штофель О.О. 12, 32
- Щ**арецький В.О. 12, 27
- Ю**кальчук А.А. 15, 48
 Ющенко К.А. 15, 52
 Ю Сюефен 11, 25
- Я**ворська М.Р. 13, 39
 Яковчук К.Ю. 11, 15, 29, 48
 Яровицин О.В. 15, 52

ЖУРНАЛИ для професіоналів



Видається з 1948 р.
Виходить 12 разів на рік
ISSN 0005-111X
doi.org/10.37434/as
Передплатний індекс 70031

Видається з 2000 р.
Виходить 12 разів на рік
ISSN 0957-798X
doi.org/10.37434/tpwj
Передплатний індекс 21791



Видається з 1989 р.
Виходить 4 рази на рік
ISSN 0235-3474
doi.org/10.37434/tdnk
Передплатний індекс 74475

Видається з 1985 р.
Виходить 4 рази на рік
ISSN 2415-8445
doi.org/10.37434/sem
Передплатний індекс 70693

Журнали входять до Переліку наукових фахових видань України

(380-44) 200-8277
journal@paton.kiev.ua
www.patonpublishinghouse.com