Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України
Міжнародна Асоціація «Зварювання»

КОНФЕРЕНЦІЯ

ЗВАРЮВАННЯ ТА ТЕХНІЧНА ДІАГНОСТИКА ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ

Збірка тез доповідей
Програма конференції

17 листопада 2022 р.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона
м. Київ

Спонсори конференції

ТОВ «Патон Інтернешнл»

ТОВ «Зовнішньоекономічне представництво КУІЗ ім. Є.О. Патона»

ДП НВ Ц «ТИТАН » ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України

ТОВ «Ультракон сервіс»

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАНУ
Міжнародна Асоціація «Зварювання»

ЗВАРЮВАННЯ ТА ТЕХНІЧНА ДІАГНОСТИКА ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ

Збірка тез доповідей

Програма конференції

17 листопада 2022 р.
м. Київ, Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАНУ

Київ 2022

Зварювання та технічна діагностика для відновлення економіки України: Тези допов. наук. конф. під ред. О.Т. Зельніченка. Київ: Міжнародна Асоціація «Зварювання», 2022. — 70 с.

В збірці представлено 82 тез пленарних та стендових доповідей наукової конференції «Зварювання та технічна діагностика для відновлення економіки України», в яких відображені останні досягнення та практичні результати в галузі зварювання та технічної діагностики.

Організатори конференції висловлюють подяку організаціям та компаніям за надану фінансову допомогу для проведення конференції:

- **ТОВ «Патон Інтернешнл»**
- **ТОВ «Зовнішньоекономічне представництво КУІЗ ім. Є.О. Патона»**
- **ДП НВЦ «ТИТАН» ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України**
- **ТОВ «Ультракон Сервіс»**

Інформаційна підтримка конференції

Автоматичне зварювання

Техн. діагностика та неруйнівний контроль

Сучасна електрометалургія

The Paton Welding Journal

Видавничий проект – *О.Т. Зельніченко*

Комп'ютерна верстка – *Т.Ю. Снєгірьова*

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

Тези публікуються в авторській редакції.

© Міжнародна Асоціація «Зварювання», 2022
© Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона, 2022

Підписано до друку 08.11.2022. Формат 60×84/8. Гарн. Таймс.

ЗМІСТ

ПРОГРАМА КОНФЕРЕНЦІЇ 9

ПЛЕНАРНІ ДОПОВІДІ 17

Крівцун І.В., Коваленко Д.В., Коваленко І.В. Синергетична активація процесу TIG зварювання 17

Жерносєков А. М., Токмаков М.М. Розвиток устаткування для імпульсно-дугового зварювання плавким електродом 17

Ковальчук Д.В., Мельник В.Г., Мельник І.В. Застосування профільних електронних променів для розширення технологічних можливостей 3D друку та супутніх процесів 18

Лобанов Л., Стельмах Д., Савицький В., Шуткевич О. Використання методу фотограмметрії для технічної діагностики Київської телевежі 18

Лобанов Л.М., Пащин М.О., Миходуй О.Л., Кривий В.І. Сучасні технології електрофізичної обробки для регулювання напружено-деформованих станів зварних з'єднань 19

Луценко Т.М. Нові системи та технології неруйнівного контролю для промисловості України в поточних умовах 20

Міленін О.С., Великоіваненко О.А., Розинка Г.П., Півторак Н.І. Прогнозування впливу водневої деградації трубних сталей на несучу здатність зварних елементів магістральних газопроводів при транспортуванні ними газоводневих сумішей 20

Педченко Є.О., Костецький Ю.В., Полішко Г.О., Петренко В.Л., Зайцев В.А. Електрошлаковий переплав як метод рециклінгу в умовах обмеженого ресурсу сировинної бази 21

Semenov O., Krivtsun I., Demchenko V., Reisgen U, Mokrov O., Sharma R., Sydoruk V. Modelling of heat transfer and fluid flow in the metal being welded during DC and HFPC TIG spot welding 22

Шлепаков В.М., Котельчук О.С., Головко В.В. Розробка самозахисних порошкових дротів для ремонтно-відновлювального зварювання металоконструкцій рухомого складу залізничного транспорту та споруд гірничо-металургійного комплексу 22

Юзефович Р.М., Яворський І.М., Слєпко Р.Т., Личак О.В., Стецько І.Г., Варивода М.З., Трохим Г.Р. Застосування вібродіагностичних систем відбору та обробки вібраційних сигналів для визначення технічного стану промислового обладнання 22

Яковчук К.Ю. Можливості сучасних електронно-променевих технологій для отримання нових матеріалів та захисних покриттів 23

СТЕНДОВІ ДОПОВІДІ 24

Адєєва Л.І., Тунік А.Ю., Костін В.А., Коржик В.М., Строгонов Д.В., Кривко В.І., Сиренко В.І. Дослідження порошків, отриманих методом плазмово-дугової сфероїдизації порошкового дроту із низьковуглецевої сталі з алюмінієвим наповнювачем, для тривимірного друку металевих виробів 24

Антіпін Є.В., Руденко П.М., Зяхор І.В., Дідковський О.В., Кавуніченко О.В. Технологія контактного стикового зварювання оплавлення рейок з керованим режимом охолодження 25

Ахонін С.В., Березос В.О., Пікулін О.М., Северин А.Ю., Єрохін О.Г. Електронно-променева плавка сплавів титану медичного призначення 25

Ахонін С.В., Березос В.О., Пікулін О.М., Северин А.Ю., Котенко О.О., Кузьменко М.М., Кулак Л.Д. Отримання деформованих напівфабрикатів жароміцних титанових сплавів системи Ti–Al–Zr–Si–Mo–Nb–Sn 26

Ахонін С.В., Білоус В.Ю., Селін Р.В. Вплив попереднього підігріву на термічний цикл аргоно-дугового зварювання жароміцних титанових сплавів нового покоління 26

Бабінець А.А., Рябцев І.О., Лентюгов І.П. Зносо- та термостійкість наплавленого металу типу інструментальних сталей, мікролегованих бором 27

Бернацький А.В., Соколовський М.В., Сіора О.В., Лукашенко В.А., Данилейко О.О., Набок Т.М., Бондарєва В.І., Шамсутдінова Н.О. Дослідження сучасного стану процесів селективного лазерного плавлення металевих матеріалів та перспектив його використання 27

Білоник Д.І., Капустян О.Є., Рубан В.Т., Білоник І.М. Властивості зливків електрошлакового титану з підвищенним вмістом кисню та азоту 28

Бондаренко О.Г., Глуховський В.Ю. Спосіб дистанційної оцінки технічного стану промислових димових труб пасивним тепловізійним методом 28

Бородай О.С. Нові висоти в професії дефектоскопіста 29

Ворон М.М., Шваб С.Л., Селін Р.В. Концепція виробництва деталей для ендопротезування з низькомодульних титанових сплавів системи Ti–Zr–Nb–Sn методом WAAM 30

Gaivoronskiy A., Pozniakov V., Zavdoveev A., Denisenko A., Jdanov S. Optimization of pulse arc welding parameters for low-alloy welding materials: weld formation and its geometric parameters 30

Горностай О.В. Адаптація методу EB-PVD для отримання перев'язочних матеріалів з наночастинками срібла 31

Hryhorenko S., Berdnikova O., Kushnarova O., Kostin V., Yeremeieva L., Titkov Ye., Ivanov M., Kibkalo A. Features of phase formation in the structure of experimental low-cost titanium alloys 32

Дмитрик В.В., Касьяненко І.В. Структурний стан і пошкоджуваність зварних з'єднань паропроводів після 280 тис. год. напрацювання 32

Зяхор І.В., Кавуніченко О.В., Антіпін Є.В., Левчук А.М., Шило Ю.А. Розрахункове дослідження термічних циклів контактного стикового зварювання оплавленням залізничних хрестовин 33

Ілюшенко В.М., Майданчук Т.Б., Бондаренко А.М., Лук'янченко Є.П., Скорина М.В. Сучасні зварювальні матеріали для міді та її сплавів розробки ІЕЗ ім. Є.О. Патона 33

Казакевич М.Л., Семенец О.І., Казакевич В.М., Шестаков О.О., Чирва О.О. Виявлення поверхневих дефектів авіаконструкцій 34

Карманов М.М., Шалаєв В.О., Горбик В.М., Лукашев М.В. Цифровий графічний магнітометр 35

Квасницький В.В., Перепічай А.О., Прохоренко О.В., Лагодзінський І.М., Буріка В.В. Адитивний синтез виробів з кремнієвої бронзи типу CuSi3 MIG-CMT та PULSE процесами дугового наплавлення 36

Klishch R., Chvertko Ye. Current practices of nondestructive testing of steel welded structures 37

Книш В.В., Клочков І.М., Мірянін В.М., Гришанов А.О., Булаш В.М., Мотруніч С.І. Опір руйнуванню при статичному, динамічному та циклічному навантаженнях зварних з'єднань алюмінієвого сплаву 2219, отриманих АДЗНЕ 37

Коваль В.А., Лабур Т.М., Яворська М.Р. Оцінка якості зварних з'єднань алюмінієвого сплаву Д16 отриманих за допомогою адаптованого процесу автоматичного дугового зварювання плавким електродом 38

Коржик В.М., Бурлаченко О.М., Вігілянська Н.В., Грищенко О.П., Коломицев М.В., Строгонов Д.В., Дем'янов І.А. Інтерметалідні покриття системи Fe–Al, які отримані методами газотермічного напилення 38

Коржик В.М., Строгонов Д.В., Бурлаченко О.М., Грищенко О.П., Щерецький В.О. Застосування технології плазмового-дугового розпилення прутків та дротяних матеріалів на зворотній полярності 39

Коржик В.М., Хаскін В.Ю., Гринюк А.А., Пелешенко С.І., Ілляшенко Є.В., Тунік А.Ю., Альошин А.О. Одержання тонколистових конструкцій зі сталей та алюмінієвих сплавів лазерним зварюванням із супутнім плазмовим підігрівом 40

Коротинський О.Є., Скопюк М.І., Вертецька І.В. Використання ємнісних накопичувачів енергії для створення автономних зварювальних систем 40

Кременчутський О.С., Устінов А.І., Скородзієвський В.С. Демпфуюча здатність сплавів на основі системи Co–Fe 41

Крушинська Л.А., Стельмах Я.А., Ткач Р.А. Структура та біомедичні характеристики кальцій-фосфатних матеріалів отриманих EB PVD 41

Кузьменко Г.В., Тагановський В.М., Гончаров І.О. Автоматичне дугове наплавлення при ремонті та відновленні направляючих плавучих римів та робочих шляхів підйомно-опускних воріт судноплавних шлюзів водоймищ Дніпровського басейну 42

Кусков Ю.М., Рябцев І.О., Проскудін В.М., Нетяга А.В. Електрошлакове наплавлення деталей з підвищеним опором абразивному та ударно абразивному зношуванню 43

Кушнарьова О.С., Берднікова О.М., Ю.М. Тюрін, Колісниченко О.В., Половецький Є.П., Алексеєнко І.І., Андрійчук Є.Б. Структурні особливості поверхневих шарів швидкоріжучої сталі після імпульсно-плазмової обробки 44

Лабарткава А.В., Матвієнко М.В., Бокій О.О., Лєпілова М.В. Розробка чисельної моделі моделювання деформованого стану лазерного зварювання 44

Лабур Т.М., Яворська М.Р., Коваль В.А. Оцінка ефективності технології ремонту елементів конструкцій ракет-носіїв 45

Лобанов Л.М., Махненко О.В., Павловський В.І., Саприкіна Г.Ю., Савицька О.М. Суцільнозварна конструкція бокової рами візка вантажного вагону 46

Лобанов Л.М., Савицький В.В., Шуткевич О.П., Шиян К.В., Киянець І.В. Неруйнівний метод визначення залишкових напружень у зварних з'єднаннях на основі використання імпульсів струму високої щільності та ширографії 46

Майданчук Т.Б., Рєзнік С.А., Личко І.І., Козулін С.М., Тюкалов В.Г., Мариненко С.Ю. Відновлення зруйнованих металоконструкцій та деталей машин методами однопрохідного зварювання і наплавлення з примусовим формуванням шва 47

Максимов С.Ю., Берднікова О.М., Прилипко О.О., Алексеєнко Т.О. Підвищення якості зварних з'єднань, виконаних під водою, за рахунок зовнішнього електромагнітного впливу 47

Максимова С.В., Воронов В.В., Ковальчук П.В., Вєровчук М. Високотемпературне паяння тонкостінних нейтронних вимірювальних каналів 48

Маринський Г.С., Ткаченко В.А., Бисько В.О., Подпрятов С.Є., Грабовський С.Д., Ткаченко С.В., Жук Г.В., Коржик В.М., Худецький І.Ю. Організація виробництва апаратів для ВЧ зварювання та обробки живих тканин в умовах Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України 49

Мельниченко Т.В., Петрушинець Л.В., Устінов А.І., Фальченко Ю.В. Особливості дифузійного зварювання композиту SiCp-AMг5 через проміжні багатошарові прошарки Al–Si–TA–Al–Cu 49

Мельниченко Т.В., Устінов А.І., Клепко А.Ю. Вплив проміжного багатошарового прошарку евтектичного складу на формування з'єднання титанового сплаву Ti6-4 50

Молтасов А.В., Кир'ян В.І., Мальгін М.Г., Кот В.Г., Кадишев А.А. Нові аналітичні формули для визначення коефіцієнтів концентрації напружень з урахуванням неспівпадіння осей симетрії лицьового підсилення та кореня шва стикового зварного з'єднання 50

Несін В.В. Нормування поверхневих несуцільностей з властивостями абсолютно чорного тіла для забезпечення міцності зварних швів 51

Ниркова Л., Осадчук С., Харченко Ю., Гончаренко Л., Клименко А. Корозійно-механічна міцність при катодному захисті металу труб тривалоексплуатованого магістрального газопроводу 52

Осадчук С., Ниркова Л., Гончаренко Л. Аспекти корозії емальованих труб у воді 52

Осокін В.О., Стельмах Я.А., Курапов Ю.А., Борецький В.В. Мікроструктура зливків кремнію, отриманих електронно-променевим рафінуванням металургійного кремнію 53

Перемітько В.В., Євдокимов А.В. Керування введенням зміцнювачів при дуговому наплавленні 54

Піддубченко А., Лисенко Ю., Глабець С., Посипайко Ю., Павлій О. Досвід застосування методів неруйнівного контролю для діагностики військової техніки в умовах бойових дій 54

Позняков В.Д., Берднікова О.М., Гайворонський О.А., Кушнарьова О.С., Алексеєнко Т.О., Завдовєєв А.В., Газнюк Ю.С. Структура та властивості зварних з'єднань броньової сталі після зварювання та високочастотного механічного проковування 55

Посипайко Ю.М., Назиров Р.Ш. Діагностування технічного стану зварних резервуарів, їх ремонт і відновлення експлуатації 56

Прокоф'єв О.С., Губатюк Р.С., Римар С.В., Пантелеймонов Є.О., Абдулах В.М., Петрієнко О.І. Індукційне зварювання тиском тонкостінних конструкцій теплотехнічного обладнання 57

Соловей С.О., Книш В.В., Гришанов А.О., Мальгін М.Г., Кот В.Г., Кадишев А.А. Підвищення технологією високочастотної механічної проковки залишкової довговічності таврових зварних з'єднань з заданим рівнем накопичених втомних пошкоджень у 3% розчині NaCl 57

Стельмах Я.А., Микитчик А.В., Рудой Ю.Е., Старжинський А.М. Нанесення токопровідних покриттів срібла та міді на алюмінієві контакти електронно-променевим осадженням 58

Троїцький В.О., Литвиненко В.А. Діагностування несуцільностей та інших уражень металоконструкцій без зачистки їхньої поверхні 58

Усов В.В., Шкатуляк Н.М., Рибак Н.І., Ткачук О.М., Рабкіна М.Д., Задерій Б.О. Зіставлення структурно-текстурних параметрів актуальних металів і сплавів з різними типами кристалічних решіток 59

Устименко П.Р., Сидоренко Ю.М., Пащин М.О. Вплив форми електрода-ударника на напружено-деформований стан пластини після застосування динамічної складової електродинамічної обробки 60

Учанін В.М. Накладні вихрострумові перетворювачі подвійного диференціювання як ефективний засіб вирішення найскладніших задач вихрострумового контролю 60

Хохлов М., Хохлова Ю., Ткаченко Б. Фізико-механічна оцінка матеріалів бронепанелей 61

Червяков М.О., Яровицин О.В., Звягінцева Г.В., Наконечний О.О., Хрущов Г.Д., Байдацький А.К. Оцінка стану металу 12Х18Н10Т після експлуатації та його здатності до зварювання 62

Шаповалов В.О., Протоковілов І.В., Порохонько В.Б. Електрошлакове зварювання плит титанового сплаву ВТ6 63

Шекеро А.Л., Курпас О.К. Впровадженню в Україні сучасних технологій ультразвукового контролю дано зелене світло 63

Ющенко К.А., Гах І.С., Задерій Б.О., Звягінцева Г.В., Завдовєєв А.В. Оцінка якості структури зварних з'єднань монокристалів жароміцних нікелевих сплавів EBSD методом 64

Ющенко К.А., Яровицин О.В., Черв'яков М.О., Наконечний О.О., Явдощина О.Ф. Ресурсозберігюча методика високотемпературних випробувань тривалої міцності зварних з'єднань важкозварюваних жароміцних нікелевих сплавів 65

Ivanenko S.V., Zelnichenko O.T., Romanova I.Yu. Scientific evolution of PWI journals 66

Калюжний С., Войнарович С., Кислиця О., Кузьмич-Янчук Є., Алонцева Д., Прохоренкова Н. Дослідження процесу мікроплазмового напилення цирконієвого покриття з контрольованою пористістю 67

Маковецька О.К., Полішко Г.О., Пустовойт С.В., Петрук В.С., Онищенко Н.С. Ключові напрями досліджень та розробок у галузі зварювання і споріднених процесах провідних наукових центрів світу та виробників зварювальної техніки 68

Сніцар Є.В., Худецький І.Ю. Експерементальне дослідження зміни кута зсуву фаз в залежності від ємності конденсатора у біологічно змінених тканинах 68

Худецький І.Ю., Антонова-Рафі Ю.В., Дзюньвень ЦЗІ. 3D технлогії в авіабудуванні 69

Худецький І.Ю., Антонова-Рафі Ю.В., Матвійчук В.А., Нестеренков В.М., Дзюньвень ЦЗІ. Електронно-променеві 3D технлогії в ортопедії 70

УЧАСНИКАМ КОНФЕРЕНЦІЇ «ЗВАРЮВАННЯ ТА ТЕХНІЧНА ДІАГНОСТИКА ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ»

ШАНОВНІ КОЛЕГИ!

Ця конференція продовжує традицію організації та проведення в Інституті електрозварювання Національної академії наук України форумів, що об'єднують науковців і фахівців, які працюють у різних галузях зварювального виробництва та неруйнівного контролю. Особливість сьогоднішньої конференції полягає в тому, що вона проходить у складний для нашої країни час. Ось уже 267 днів в Україні діє воєнний стан, запроваджений з перших годин широкомасштабного вторгнення росії.

Внаслідок ворожої агресії прямі втрати цивільного, промислового та аграрного секторів економіки України перевищили 750 млрд. доларів. Вони включають втрати, пов'язані, насамрперед, з руйнуванням та пошкодженням житлового фонду, критичної інфраструктури, об'єктів освіти, охорони здоров'я, культури та соціальної сфери. За словами Президента України економіка країни у 2022 році скоротилася більше ніж на третину. Тисячі підприємств та об'єктів інфраструктури зруйновано. Лише у жовтні зруйновано 30 % електростанцій.

У нинішніх умовах життєво важливим і актуальним є завдання підготовки і реалізації програми післявоєнного відновлення та подальшого розвитку економіки держави. І тут вагомий внесок мають зробити вчені та фахівці зварювального виробництва і неруйнівного контролю.

Сьогодні зварювальна наука України має потужний потенціал, який може бути задіяний у відновленні країни. Також великим є обсяг робіт з визначення ступеня зношеності та пошкодження металевих конструкцій різного призначення, визначення першочерговості проведення відновлювальних робіт щодо об'єктів критичної та соціальної інфраструктури.

Сподіваюсь, що конференція сприятиме обговоренню перспектив розвитку подальших досліджень, ефективних розробок у галузі зварювання, споріднених технологій та неруйнівного контролю, а також визначити шляхи їх вирішення.

Бажаю учасникам конференції плідної роботи, творчих успіхів, корисного спілкування з колегами, а усім нам — скорішої Перемоги України.

Академік НАН України
Ігор КРІВЦУН

ПРОГРАМА
Конференції
«ЗВАРЮВАННЯ ТА ТЕХНІЧНА ДІАГНОСТИКА ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ»
17 листопада 2022 р.
м. Київ, Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона

17 листопада, четвер

09:00–11:00	Реєстрація учасників конференції IV корпус ІЕЗ, другий поверх, бібліотека
10:00–10:20	**Відкриття конференції** Вітальне слово директора ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України, академіка НАН України І.В. Крівцуна
10:20–11:20	**Пленарні доповіді**
11:20–11:40	Кава-брейк
11:40–13:00	**Пленарні доповіді**
13:00–13:40	Обідня перерва
13:40–15:20	**Пленарні доповіді**
10:00–16:00	Сесія стендових доповідей
16:00–20:00	Дружна вечеря-зустріч

Тривалість доповідей 20 хв (15 хв доповідь та 5 хв обговорення).

Робочі мови конференції: українська, англійська.

17 листопада, четвер

ПЛЕНАРНІ ДОПОВІДІ

Бібліотека ІЕЗ

10:20–10:40 **Синергетична активація процесу TIG зварювання**
Крівцун І.В., Коваленко Д.В., Коваленко І.В.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

10:40–11:00 **Сучасні технології електрофізичної обробки для регулювання напружено-**деформованих станів зварних з'єднань
[1]Лобанов Л.М., [1]Пащин М.О., [1]Миходуй О.Л., [2]Кривий В.І.
[1]ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України, Київ
[2]НВО «Практика», Київ

11:00–11:20 on-line доповід **Застосування вібродіагностичних систем відбору та обробки вібраційних сигналів для визначення технічного стану промислового обладнання**
[1,2,3]Юзефович Р.М., [1,2,3]Яворський І.М., [1]Слєпко Р.Т., [1]Личак О.В., [1]Стецько І.Г., [1]Варивода М.З., [1]Трохим Г.Р.
[1]Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, Львів
[2]Національний університет «Львівська Політехніка», Львів
[3]Бидгощська політехніка, Бидгощ, Польща

11:20–11:40 Кава-брейк

11:40–12:00 Застосування профільних електронних променів для розширення технологічних можливостей 3D друку та супутніх процесів
Ковальчук Д.В., Мельник В.Г., Мельник І.В.
ТОВ «Червона Хвиля», Київ

12:00–12:20 Нові системи та технології неруйнівного контролю для промисловості України в поточних умовах
Луценко Т.М.
Асоціація «ОКО», Київ

12:20–12:40 Розвиток устаткування для імпульсно-дугового зварювання плавким електродом
[1]Жерносєков А.М., [1]Токмаков М.М.
[1]ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України, Київ
[2]ТОВ «Патон Інтернешнл», Київ

12:40–13:00 Modelling of heat transfer and fluid flow in the metal being welded during DC and HFPC TIG spot welding
[1]Semenov O., [1]Krivtsun I., [1]Demchenko V., [2]Reisgen U., [2]Mokrov O., [2]Sharma R., [3]Sydoruk V.
[1]E.O. Paton Electric Welding Institute of the NASU, Kyiv
[2]Welding and Joining Institute, RWTH, Aachen, Germany
[3]V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of the NASU, Kyiv

13:00–13:40 Обідня перерва

13:40–14:00 Прогнозування впливу водневої деградації трубних сталей на несучу здатність зварних елементів магістральних газопроводів при транспортуванні ними газоводневих сумішей
Міленін О.С., Великоіваненко О.А., Розинка Г.П., Півторак Н.І.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

14:00–14:20 Можливості сучасних електронно-променевих технологій для отримання нових матеріалів та захисних покриттів
Яковчук К.Ю.
ДП «Міжнародний центр електронно-променевих технологій ІЕЗ ім. Є.О. Патона», Київ

14:20–14:40 Розробка самозахисних порошкових дротів для ремонтно-відновлювального зварювання металоконструкцій рухомого складу залізничного транспорту та споруд гірничо-металургійного комплексу
Шлепаков В.М., Котельчук О.С., Головко В.В.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

14:40–15:00 Електрошлаковий переплав як метод рециклінгу в умовах обмеженого ресурсу сировинної бази
Педченко Є.О., Костецький Ю.В., Полішко Г.О., Петренко В.Л., Зайцев В.А.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

15:00–15:20 Використання методу фотограмметрії для технічної діагностики Київської телевежі
Лобанов Л.М., Стельмах Д., Савицький В.В., Шуткевич О.П.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

СТЕНДОВІ ДОПОВІДІ

Бібліотека ІЕЗ

Дослідження порошків, отриманих методом плазмово-дугової сфероїдизації порошкового дроту із низьковуглецевої сталі з алюмінієвим наповнювачем, для тривимірного друку металевих виробів
Адєєва Л.І., Тунік А.Ю., Костін В.А., Коржик В.М., Строгонов Д.В., Кривко В.І., Сиренко В.І.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Технологія контактного стикового зварювання оплавлення рейок з керованим режимом охолодження
Антіпін Є.В., Руденко П.М., Зяхор І.В., Дідковський О.В., Кавуніченко О.В.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Вплив попереднього підігріву на термічний цикл аргоно-дугового зварювання жароміцних титанових сплавів нового покоління
Ахонін С.В., Белоус В.Ю., Селін Р.В.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Отримання деформованих напівфабрикатів жароміцних титанових сплавів системи Ti–Al–Zr–Si–Mo–Nb–Sn
[1]Ахонін С.В., [1]Березос В.О., [1]Пікулін О.М., [1]Северин А.Ю., [2]Котенко О.О., [2]Кузьменко М.М., [2]Кулак О.Д.
[1]Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ
[2]ІПМ ім. І.М. Францевича НАН України, Київ

Електронно-променева плавка сплавів титану медичного призначення
Ахонін С.В., Березос В.О., Пікулін О.М., Северин А.Ю., Єрохін О.Г.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Зносо- та термостійкість наплавленого металу типу інструментальних сталей, мікролегованих бором
Бабінець А.А., Рябцев І.О., Лентюгов І.П.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Дослідження сучасного стану процесів селективного лазерного наплавлення металевих матеріалів та перспектив його використання
Бернацький А.В., Соколовський М.В., Сіора О.В., Лукашенко В.А., Данилейко О.О., Набок Т.М., Бондарєва В.І., Шамсутдінова Н.О.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Властивості зливків електрошлакового титану з підвищеним вмістом кисню та азоту
Білоник Д.І., Капустян О.Є., Рубан В.Т., Білоник І.М.
Національний університет «Запорізька політехніка», Запоріжжя

Спосіб дистанційної оцінки технічного стану промислових димових труб пасивним тепловізійним методом
Бондаренко О.Г., Глуховський В.Ю.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Нові висоти в професії дефектоскопіста
Бородай О.С.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Концепція виробництва деталей для ендопротезування з низькомодульних титанових сплавів системи Ti–Zr–Nb–Sn методом WAAM
[1]Ворон М.М., [2]Шваб С.Л., [2]Селін Р.В.
[1]Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ
[2]Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Optimization of pulse arc welding parameters for low-alloy welding materials: weld formation and its geometric parameters
Gaivoronskiy A., Pozniakov V., Zavdoveev A., Denisenko A., Jdanov S.
E.O. Paton Electric Welding Institute of the NASU, Kyiv

Адаптація методу EB-PVD для отримання перев'язочних матеріалів з наночастинками срібла
Горностай О.В.
ДП «Міжнародний центр електронно-променевих технологій ІЕЗ ім. Є.О. Патона», Київ

Features of phase formation in the structure of experimental low-cost titanium alloys
Hryhorenko S., Berdnikova O., Kushnarova O., Kostin V., Yeremeieva L., Titkov Ye., Ivanov M., Kibkalo A.
E.O. Paton Electric Welding Institute of the NASU, Kyiv

Структурний стан і пошкоджуваність зварних з'єднань паропроводів після 280 тис. год. напрацювання
Дмитрик В.В., Касьяненко І.В.
НТУ «Харківський політехнічний інститут», Харків

Розрахункове дослідження термічних циклів контактного стикового зварювання оплавленням залізничних хрестовин
Зяхор І.В., Кавуніченко О.В., Антіпін Є.В., Левчук А.М., Шило Ю.А.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Сучасні зварювальні матеріали для міді та її сплавів розробки ІЕЗ ім. Є.О. Патона
Ілюшенко В.М., Майданчук Т.Б., Бондаренко А.М., Лук'янченко Є.П., Скорина М.В.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Виявлення поверхневих дефектів авіаконструкцій
[1]Казакевич М.Л., [2]Семенец О.І., [1]Казакевич В.М., [2]Шестаков О.О., [2]Чирва О.О.
[1]ДП «КОЛОРАН» ІФХ ім. Л.В. Писаржевського НАН України, Київ
[2]ДП «АНТОНОВ», Київ

Цифровий графічний магнітометр
Карманов М.М., Шалаєв В.О., Горбик В.М., Лукашев М.В.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Адитивний синтез виробів з кремнієвої бронзи типу CuSi3 MIG-CMT та PULSE процесами дугового наплавлення
Квасницький В.В., Перепічай А.О., Прохоренко О.В., Лагодзінський І.М., Буріка В.В.
Національний технічний університет «КПІ ім. Ігоря Сікорського», Навчально-науковий ІМЗ ім. Є.О. Патона, Київ

Current practices of nondestructive testing of steel welded structures
Klishch R., Chvertko Ye.
E.O. Paton Institute of Materials Science and Welding of Igor Sikorsky KPI, Kyiv

Опір руйнуванню при статичному, динамічному та циклічному навантаженнях зварних з'єднань алюмінієвого сплаву 2219, отриманих АДЗНЕ
Книш В.В., Клочков І.М., Мірянін В.М., Гришанов А.О., Булаш В.М., Мотруніч С.І.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Оцінка якості зварних з'єднань алюмінієвого сплаву Д16, отриманих за допомогою адаптованого процесу автоматичного дугового зварювання плавким електродом
Коваль В.А., Лабур Т.М., Яворська М.Р.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Інтерметалідні покриття системи Fe–Al, які отримані методами газотермічного напилення
Коржик В.М., Бурлаченко О.М., Вігілянська Н.В., Грищенко О.П., Коломицев М.В., Строгонов Д.В., Дем'янов І.А.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Застосування технології плазмово-дугового розпилення прутків та дротяних матеріалів на зворотній полярності
Коржик В.М., Строгонов Д.В., Бурлаченко О.М., Грищенко О.П., Щерецький В.О.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Одержання тонколистових конструкцій зі сталей та алюмінієвих сплавів лазерним зварюванням із супутнім плазмовим підігрівом
[1,2]Коржик В.М., [1,2]Хаскін В.Ю., [1]Гринюк А.А., [1,2]Пелешенко С.І., [1]Ілляшенко Є.В., [1]Тунік А.Ю., [1,2]Альошин А.О.
[1]Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ
[2]Китайско-український інститут зварювання ім. Є.О. Патона, Гуанчжоу, КНР

Використання ємнісних накопичувачів енергії для створення автономних зварювальних систем
Коротинський О.Є., Скопюк М.І., Вертецька І.В.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Демпфуюча здатність сплавів на основі системи Co–Fe
[1]Кременчутський О.С., [1]Устінов А.І., [2]Скородзієвський В.С.
[1]Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ
[2]Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України, Київ

Структура та біомедичні характеристики кальцій-фосфатних матеріалів, отриманих EB PVD
[1]Крушинська Л.А., [1]Стельмах Я.А., [2]Ткач Р.А.
[1]Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ
[2]ДП «Міжнародний центр електронно-променевих технологій ІЕЗ ім. Є.О. Патона», Київ

Автоматичне дугове наплавлення при ремонті та відновленні направляючих плавучих римів та робочих шляхів підйомно-опускних воріт судноплавних шлюзів водоймищ Дніпровського басейну
Кузьменко Г.В., Тагановський В.М., Гончаров І.О.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Електрошлакове наплавлення деталей з підвищеним опором абразивному та ударно-абразивному зношуванню
Кусков Ю.М., Рябцев І.О., Проскудін В.М., Нетяга А.В.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Структурні особливості поверхневих шарів швидкоріжучої сталі після імпульсно-плазмової обробки
Кушнарьова О.С., Берднікова О.М., Тюрін Ю.М., Колісниченко О.В., Половецький Є.П., Алекеєнко І.І., Андрійчук Є.Б.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Розробка чисельної моделі моделювання деформованого стану лазерного зварювання
[1]Лабарткава А.В., [2]Матвієнко М.В., [1]Бокій О.О., [1]Лєпілова М.В.
[1]НУ кораблебудування ім. адмірала Макарова, Миколаїв
[2]Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова, м. Херсон

Оцінка ефективності технології ремонту елементів конструкцій ракет-носіїв
Лабур Т.М., Яворська М.Р., Коваль В.А.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Суцільнозварна конструкція бокової рами візка вантажного вагону
Лобанов Л.М., Махненко О.В., Павловський В.І., Саприкіна Г.Ю., Савицька О.М.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Неруйнівний метод визначення залишкових напружень у зварних з'єднаннях на основі використання імпульсів струму високої щільності та ширографії
Лобанов Л.М., Савицький В.В., Шуткевич О.П., Шиян К.В., Киянець І.В.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Відновлення металоконструкцій та деталей машин методами однопрохідного зварювання і наплавлення з примусовим формуванням шва
[1]Майданчук Т.Б., [1]Рєзнік С.А., [1]Личко І.І., [1]Козулін С.М., [1]Тюкалов В.Г., [2]Мариненко С.Ю.
[1]Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ
[2]Тернопільський НТУ ім. Івана Пуюля, Тернопіль

Підвищення якості зварних з'єднань, виконаних під водою, за рахунок зовнішнього електромагнітного впливу
Максимов С.Ю., Берднікова О.М., Прилипко О.О., Алексеєнко Т.О.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Високотемпературне паяння тонкостінних нейтронних вимірювальних каналів
[1]Максимова С.В., [1]Воронов В.В., [1]Ковальчук П.В., [2]Вєровчук М.
[1]Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ
[2]ВП «Атоменергомаш» ДП «НАЕК «Енергоатом», Київ

Організація виробництва апаратів для ВЧ зварювання та обробки живих тканин в умовах ІЕЗ ім. Є.О. Патона
[1]Маринський Г.С., [1]Ткаченко В.А., [1]Бисько В.О., [1,2]Подпрятов С.Є., [1]Грабовський С.Д., [1]Ткаченко С.В., [3]Жук Г.В., [1,4]Коржик В.М., [1]Худецький І.Ю.
[1]Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ
[2]Київська міська клінічна лікарня № 1, Київ
[3]ДКТБ Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ
[4]ТОВ НВЦ «ПЛАЗЕР», Київ

Особливості дифузійного зварювання композиту SiC_p-АМг5 через проміжні багатошарові прошарки Al–Si та Al–Cu
Мельниченко Т.В., Петрушинець Л.В., Устінов А.І., Фальченко Ю.В.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Вплив проміжного багатошарового прошарку евтектичного складу на формування з'єднання титанового сплаву Ti6-4
Мельниченко Т.В., Устінов А.І., Клепко А.Ю.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Нові аналітичні формули для визначення коефіцієнтів концентрації напружень з урахуванням неспівпадіння осей симетрії лицьового підсилення та кореня шва стикового зварного з'єднання
Молтасов А.В., Кир'ян В.І., Мальгін М.Г., Кот В.Г., Кадишев А.А.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Нормування поверхневих несуцільностей з властивостями абсолютно чорного тіла для забезпечення міцності зварних швів
Несін В.В.
Український НДІ спеціальної техніки та судових експертиз СБУ, Київ

Корозійно-механічна міцність при катодному захисті металу труб тривало експлуатованого магістрального газопроводу
Ниркова Л.І., Осадчук С.О., Харченко Ю., Гончаренко Л.В., Клименко А.В.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Аспекти корозії емальованих труб у воді
Осадчук С.О., Ниркова Л.І., Гончаренко Л.В.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Мікроструктура зливків кремнію, отриманих електронно-променевим рафінуванням металургійного кремнію
Осокін В.О., Стельмах Я.А., Курапов Ю.А., Борецький В.В.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Керування введенням зміцнювачів при дуговому наплавленні
Перемитько В.В., Євдокимов А.В.
Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське

Досвід застосування методів неруйнівного контролю для діагностики військової техніки в умовах бойових дій

[1,2]Піддубченко А., [2,3]Лисенко Ю., [2]Глабець С., [4]Посипайко Ю., [2]Павлій О.
[1]Збройні сили України
[2]НВФ «Діагностичні прилади», Київ
[3]НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ
[4]Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Структура та властивості зварних з'єднань броньованої сталі після зварювання та високочастотного механічного проковування

Позняков В.Д., Берднікова О.М., Гайворонський О.А., Кушнарьова О.С., Алексеєнко Т.О., Завдовєєв А.В., Газнюк Ю.С.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Діагностування технічного стану зварних резервуарів, їх ремонт і відновлення експлуатації

[1]Посипайко Ю.М., [2]Назиров Р.Ш.
[1]Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ
[2]ТОВ «Інноваційний центр «Нове життя», Київ

Індукційне зварювання тиском тонкостінних конструкцій теплотехнічного обладнання

Прокоф'єв О.С., Губатюк Р.С., Римар С.В., Пантелеймонов Є.О., Абдулах В.М., Петрієнко О.І.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Підвищення технологією високочастотної механічної проковки залишкової довговічності таврових зварних з'єднань з заданим рівнем накопичених втомних пошкоджень у 3% розчині NaCl

Соловей С.О., Книш В.В., Гришанов А.О., Мальгін М.Г., Кот В.Г., Кадишев А.А.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Нанесення струмопровідних покриттів срібла та міді на алюмінієві контакти електронно-променевим осадженням

[1]Стельмах Я.А., [2]Микитчик А.В., [2]Рудой Ю.Е., [1]Старжинський А.М.
[1]Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ
[2]ДП «Міжнародний центр електронно-променевих технологій ІЕЗ ім. Є.О. Патона», Київ

Діагностування несуцільностей та інших уражень металоконструкцій без зачистки їхньої поверхні

Троїцький В.О., Литвиненко В.А.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Зіставлення структурно-текстурних параметрів актуальних металів і сплавів з різними типами кристалічних решіток

[1]Усов В.В., [1]Шкатуляк Н.М., [1]Рибак Н.І., [1]Ткачук О.М., [2]Рабкіна М.Д., [2]Задерій Б.О.
[1]Педагогічний університет ім. Ушинського, Одеса
[2]Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Вплив форми електрода-ударника на напружено-деформований стан пластини після застосування динамічної складової електродинамічної обробки

[1]Устименко П.Р, [1]Сидоренко Ю.М., [2]Пащин М.О.
[1]НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ
[2]Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Накладні вихрострумові перетворювачі подвійного диференціювання як ефективний засіб вирішення найскладніших задач вихрострумового контрою

Учанін В.М.
Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, Львів

Фізико-механічна оцінка матеріалів бронепанелей

[1]Хохлов М., [1]Хохлова Ю., [2]Ткаченко Б.
[1]Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ
[2]ТОВ «НВЦ «Електротерм», Київ

Оцінка стану металу 12Х18Н10Т після експлуатації та його здатності до зварювання
[1]Червяков М.О., [1]Яровицин О.В., [1]Звягінцева Г.В., [1]Наконечний О.О., [1]Хрущов Г.Д., [2]Байдацький А.К.
[1]Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ
[2]ПрАТ «ПК «Поділля», Крижопіль

Електрошлакове зварювання плит титанового сплаву ВТ6
Шаповалов В.О., Протоковілов І.В., Порохонько В.Б.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Впровадженню в Україні сучасних технологій ультразвукового контролю дано зелене світло
Шекеро А.Л., Курпас О.К.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Оцінка якості структури зварних з'єднань монокристалів жароміцних нікелевих сплавів EBSD методом
Ющенко К.А., Гах І.С., Задерій Б.О., Звягінцева Г.В., Завдовєєв А.В.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Ресурсозберігаюча методика високотемпературних випробувань тривалої міцності зварних з'єднань важкозварюваних жароміцних нікелевих сплавів
Ющенко К.А., Яровицин О.В., Червяков М.О., Наконечний О.О., Явдощина О.Ф.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Scientific evolution of PWI journals
[1]Ivanenko S.V., Zelnichenko O.T.,[1]Romanova I.Yu.
[1]E.O. Paton Electric Welding Institute of the NASU, Kyiv
[2]International Association «Welding», Kyiv

Дослідження процесу мікроплазмового напилення цирконієвого покриття з контрольованою пористістю
[1]Калюжний С., [1]Войнарович С., [1]Кислиця О., [1]Кузьмич-Янчук Є., [2]Алонцева Д., [2]Прохоренкова Н.
[1]Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ
[2]Східно-Казахстанський технічний університет, Д. Серікбаєва, Усть-Каменогорськ, Казахстан

Ключові напрями досліджень та розробок у галузі зварювання і споріднених процесах провідних наукових центрів світу та виробників зварювальної техніки
Маковецька О.К., Полішко Г.О., Пустовойт С.В., Петрук В.С., Онищенко Н.С.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Експерементальне дослідження зміни кута зсуву фаз в залежності від ємності конденсатора у біологічно змінених тканинах
Сніцар Є.В., Худецький І.Ю.
Національний технічний університет «КПІ ім. Ігоря Сікорського», Київ
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

3D технлогії в авіабудуванні
Худецький І.Ю., Антонова-Рафі Ю.В., Дзюньвень ЦЗІ
Національний технічний університет «КПІ ім. Ігоря Сікорського», Київ

Електронно-променеві 3D технлогії в ортопедії
Худецький І.Ю., Антонова-Рафі Ю.В., Матвійчук В.А., Нестеренков В.М., Дзюньвень ЦЗІ
Національний технічний університет «КПІ ім. Ігоря Сікорського», Київ

ПЛЕНАРНІ ДОПОВІДІ

СИНЕРГЕТИЧНА АКТИВАЦІЯ ПРОЦЕСУ TIG ЗВАРЮВАННЯ

І.В. Крівцун, Д.В. Коваленко, І.В. Коваленко
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Розглянуті особливості впливу синергетичного ефекту на проплавляючу здатність дуги при комбінованому застосуванні різноманітних способів активації процесу ТІГ зварювання, а саме:

- активуючий флюс ПАТІГ С (А-ТІГ процес);
- захисні гази та їх суміші (Ar, He, H_2);
- модуляція зварювального струму високочастотними імпульсами (f = 15 кГц) (ВЧІ-ТІГ процес);
- ультракоротка зварювальна дуга ($L_д$ = 0,3 мм).

Ефективність синергетичної активації процесу ТІГ зварювання оцінювалася при зварюванні пластин із нержавіючої сталі завтовшки 6 мм на однаковій ефективній потужності зварювальної дуги $P_{еф}$ = 1200, 1400 та 1700 Вт.

Встановлено, що при застосуванні різних способів синергетичної активації у порівнянні зі звичайним процесом ТІГ зварювання в аргоні проплавляюча здатність дуги (глибина проплавлення) зростає від 1,75 до 3,75 разів.

Показано, що по ступені ефективності проплавлення глибини та площі металу шва синергетично активовані способи ТІГ зварювання можливо розташувати у відповідний ряд, а найбільш ефективним способом є трьохкратно активований процес — ТІГ зварювання ультракороткою дугою у середовищі аргону по шару активуючого флюсу з використанням високочастотного импульсно-модульованого зварювального струму.

РОЗВИТОК УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ІМПУЛЬСНО-ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ПЛАВКИМ ЕЛЕКТРОДОМ

А. М. Жерносєков[1], М.Н. Токмаков[2]
[1]Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ
[2]ТОВ «Патон Інтернешнл», Київ

Значне місце серед перспективних дугових способів зварювання займає імпульсно-дугове зварювання плавким електродом. В теперішній час цей спосіб широко застосовується у багатьох галузях промисловості: аерокосмічній, суднобудівній, хімічній, транспортній. Він дозволяє зварювати багато різних матеріалів, а також використовується в нових комбінованих, гібридних технологіях: лазерно-дугових, плазмово-дугових. Наприклад, гібридний процес CMT Twin фірми Fronius, який з'єднує переваги процесу CMT і імпульсного-дугового процесу. В технологічних процесах Time Twin, Pulse MIG/ MAG-Laser і Time Twin-Pulse MIG/ MAG-Laser, відповідно застосовується дві імпульсні дуги, імпульсна дуга і лазер, три імпульсні дуги і лазер. Розвивається напрямок, пов'язаний з імпульсно-дуговим зварюванням плавким електродом в захисних газах, при якому базовий струм дуги змінює полярність (AC Pulsed MIG), таким чином зменшується тепловкладення і попереджається магнітне дуття. Тому розробка сучасного електрозварювального устаткування, яке реалізує різні види перенесення металу електрода, відбувається із застосуванням імпульсно-дугового процесу зварювання.

Існуюче устаткування для процесу імпульсно-дугового зварювання є досить уніфікованим та не завжди може використовуватись для вирішення завдань щодо автоматизації процесу, стабілізації параметрів при дії різного роду збурень (коливання напруги живлячої мережі, коливання довжини вильоту електродного дроту, депланації), а також застосування його в нових гібридних технологіях, які знаходяться в стадії розробки.

В ІЕЗ ім. Є.О. Патона накопичений досвід щодо розробки устаткування для імпульсно-дугового зварювання плавким електродом (джерела живлення, системи автоматичної стабілізації параметрів, регулювання форми імпульсів струму), а також технологій зварювання низьколегованих, нержавіючих сталей та алюмінієвих

сплавів різних систем легування. Цей досвід в теперішній час використовується спільно з ТОВ «ПАТОН ІНТЕРНЕШНЛ» щодо розробок нового устаткування для дугового зварювання плавким електродом. Проводяться дослідження зварювально-технологічних властивостей інверторного джерела живлення ВДИ-500Р при зварюванні сталей типу Ст3кп, 09Г2С, 12Х18Н9Т і 20Х20Н14С2 в суміші захисних газів. Визначається вплив режимів зварювання дротами діаметром 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,6 мм на формування металу шва і його параметри, а також оцінка стабільності горіння дуги при зварюванні в діапазоні оптимальних режимів та реєстрація електричних і часових параметрів джерела живлення, в порівняні з кращими світовими аналогами, наприклад, устаткування EWM Phoenix 501 plus в режимі імпульсного зварювання. Досліджуються також властивості щодо зварювання алюмінієвих сплавів, а також зварювання порошковими дротами. Отримані науково-технічні результати дозволяють розробляти сучасне, ефективне та конкурентоспроможне устаткування для дугових процесів зварювання.

ЗАСТОСУВАННЯ ПРОФІЛЬНИХ ЕЛЕКТРОННИХ ПРОМЕНІВ ДЛЯ РОЗШИРЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ 3D ДРУКУ ТА СУПУТНІХ ПРОЦЕСІВ

Д.В. Ковальчук, В.Г. Мельник, І.В. Мельник
ПрАТ «НВО «Червона Хвиля», Київ

Профільні електронні промені давно зарекомендували себе як унікальний засіб нагрівання для реалізації чутливих процесів зварювання, пайки, поверхневої обробки металів тощо. Можливість одночасного нагрівання протяжних та нелінійних зон, в поєднанні з помірною концентрацією енергії низьковольтного електронного променю, дозволяла уникнути дефектів та небажаних залишкових напружень при з’єднанні і обробці тонких металевих виробів.

Можливості газорозрядних електронних гармат генерувати профільні електронні промені, зокрема у формі порожнистого конусу, дозволили авторам розробити технологію 3D друку металів з коаксіальною подачею витратного дроту, відому як xBeam 3D Metal Printing, яка вже продемонструвала можливості створення оптимальних умов формування металевих структур при пошаровому осадженні металевого дроту, що забезпечило отримання 3D друком металу високої якості, і при цьому із суттєво нижчою собівартістю в порівнянні з іншими процесами 3D друку.

В презентації також будуть продемонстровані перспективи застосування електронних профілів інших конфігурацій для розширення технологічних можливостей, виробничого та наукового потенціалу технології xBeam 3D Metal Printing.

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ФОТОГРАММЕТРІЇ ДЛЯ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ КИЇВСЬКОЇ ТЕЛЕВЕЖІ

Л.Лобанов, Д.Стельмах, В.Савицький, О.Шуткевич
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Для забезпечення ресурсу роботи великогабаритних конструкцій, таких як телевізійні та електричні вежі, мости, необхідно проводити періодичне обстеження, оскільки з часом внаслідок корозії та надмірних навантажень можуть з'явитися тріщини та руйнування окремих вузлів та елементів. Зазвичай огляд виконується фахівцями на значній висоті, що потребує суттєвих додаткових заходів для забезпечення їх безпеки.

Для технічної діагностики великогабаритних конструкцій авторами пропонується використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для аерофотозйомки та побудови тривимірної моделі методом фотограмметрії. Даний підхід дозволяє дистанційно визначити дефектні ділянки та їх розміри, а також місця, які потребують додаткового дослідження технічними спеціалістами.

У роботі представлено результати дистанційного обстеження руйнувань Київської телевежі внаслідок ракетного удару 1 березня 2022 року. За допомогою квадрокоптера DJI Air 2S було проведено фотозйомку нижнього ярусу телевежі та побудована її тривимірна модель методом фотограмметрії з використанням програмно-

го забезпечення 3DF Zephyr. Для розрахунку положень елементів конструкції у просторі використовувалось більше двох тисяч фотографій, які зроблені під різними кутами та відстанями відносно вежі. Особливістю метода фотограмметрії є можливість проводити вимірювання розмірів окремих ділянок та кутів між визначеними елементами конструкцій. Це дозволяє оцінити розміри дефектів, їх точне місцеположення. Проведене дистанційне дослідження Київської телевежі дозволило отримати дані про дефекти у вигляді отворів від 5 мм, візуалізувати пошкодження вузлів з'єднання несучих елементів конструкції. Отримані дані будуть використовуватись при проведенні технологічних заходів для відновлення та ремонту Київської телевежі.

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНОЇ ОБРОБКИ ДЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО — ДЕФОРМОВАНИХ СТАНІВ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

Л.М. Лобанов, М.О. Пащин, О.Л. Миходуй, В.І. Кривий
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Розвиток високотехнологічних галузей промисловості стимулює зростання вимог до зварних конструкцій, комплексу їх основних та спеціальних властивостей. Використання імпульсних електричних розрядів, струмів плазми, імпульсних електромагнітних полів, їх комбінованих впливів для підвищення механічних характеристик металів і сплавів є актуальним у зв'язку з необхідністю заміни традиційних енергоємних технологій конструкційних матеріалів на більш прогресивні.

Магнітодинамічна обробка зварних з'єднань є перспективним напрямком підвищення механічних характеристик зварних конструкцій. Досліджено її вплив на напружено-деформований стан зварних з'єднань з алюмінієвого сплаву АМг6. Розроблено оригінальну експериментальну методику дослідження кінетики сили тиску електромагнітного поля й імпульсного електричного струму при такій обробці металевих матеріалів. Методами електронної спекл-інтерферометрії досліджували вплив обробки на еволюцію залишкового напружено-деформованого стану зразків кільцевих зварних з'єднань у формі пласких дисків товщиною δ = 1,0 мм. Кільцеві зварні з'єднання імітували наплавленням валиків уздовж лінії кола діаметром 45 мм із реєстрацією напруженого стану дисків та переміщень їх крайків до та після обробки. Обробку проводили за двома варіантами: перший варіант — диски δ =1,0 мм, другий — диски δ = 1,0 мм із додатковим екраном зі сплаву АМг6 δ = 5,0 мм. Показано, що в результаті обробки на однаковому режимі дисків δ = 1,0 мм та δ =1,0 мм + екран сила електродинамічного тиску підвищувалась при використанні екрана. В умовах екранування зразків, це ймовірно зумовлено збільшенням активного об'єму електропровідного середовища. Установлено, що обробка сприяє диспергуванню структури металу та зниженню залишкових зварювальних напружень. Обґрунтовано переваги застосування електродинамічної обробки (ЕДО) металу в процесі зварювання у порівнянні з ЕДО при кімнатній температурі. Застосування в металообробці імпульсного бар'єрного розряду (ІБР), який генерує низькотемпературну плазму на поверхні металу, що обробляється, є новим підходом до оптимізації механічних властивостей металевих матеріалів, який базується на електрофізичних процесах. Вивчалось зміцнення конструктивної сталі 25ХГНМТ внаслідок дії на її поверхню ІБР. Обробка сталі ІБР проходила в розрядному пристрої при швидкості наростання напруги $\approx 3\cdot 10^{11}$ В/с. Досліджено вплив тривалості обробки ІБР на значення твердості по Віккерсу (HV) дослідних зразків. Дослідження структури сталі 25ХГНМТ проводили методом трансмісійної електронної мікроскопії з метою встановлення її змін внаслідок дії ІБР. Встановлено, що значення HV після обробки ІБР зростають з 420 до 500 кг/мм^2, що супроводжується диспергуванням мікроструктури, яке позитивно впливає на механічні характеристики сталі 25ХГНМТ.

НОВІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ДЛЯ ПРОМИСЛОВОСТІ УКРАЇНИ ЗА ПОТОЧНИХ УМОВ

Т.М. Луценко
«Асоціації ОКО», Київ

В нових тенденціях сьогодення розвиток групи компаній «Асоціації ОКО» (ТОВ «Ультракон-Сервіс», ТОВ «Промприлад», Український науково-дослідний інститут неруйнівного контролю «УкрНДІНК»), продиктований необхідністю виконання технічних вимог усіх галузей промисловості з урахуванням реалій часу і, заснованих на сучасному етапі науково-технічного розвитку.

● Технічна підтримка і сервісне обслуговування працюючих систем в машинобудуванні (автоматизована Система для комплексного контролю колісних пар вагонів — СНК КП-8, Система автоматизованого ультразвукового контролю тіла труби СНК Т-18 та ін.).

● Розробка і модернізація систем котроля у відповідності з актуальними вимогами Замовника (Установка для ультразвукової та вихрострумової дефектоскопії залізничних осей — СНК «Ось3», Установка автоматизованого ультразвукового імерсійного контролю чистових залізничних осей «САУЗК ОСЬ-4» та ін.).

● Впровадження нових, у тому числі, швидкісних систем контроля на українській залізниці (Система ультразвукового та вихрострумового контролю рейок OKOSCAN UT/ET 73 HS).

● Постачання та технічна підтримка обладнання для служб ДНС України в надзвичайних умовах.

● Освоєння нових способів, серед яких, і безконтакне вимірювання геометричних розмірів різноманітних об’єктів.

ПРОГНОЗУВАННЯ ВПЛИВУ ВОДНЕВОЇ ДЕГРАДАЦІЇ ТРУБНИХ СТАЛЕЙ НА НЕСУЧУ ЗДАТНІСТЬ ЗВАРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВОДІВ ПРИ ТРАНСПОРТУВАННІ НИМИ ГАЗОВОДНЕВИХ СУМІШЕЙ

О.С. Міленін, О.А. Великоіваненко, Г.П. Розинка, Н.І. Півторак
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Одним із перспективних шляхів розвитку енергетики в світі є поступова відмова від використання природного газу на користь зеленого водню для зниження залежності промисловості від викопних вуглеводнів і загальної декарбонізації економіки. З метою обгрунтування можливості використання української системи магістральних газопроводів для транспортування сумішей природного газу та зеленого водню в рамках цієї роботи проведено чисельні дослідження впливу водневої деградації типових трубних сталей на надійність і роботоздатність трубопровідних елементів з монтажними зварними швами. Зокрема, на основі сучасних методів скінченно-елементого аналізу та механіки руйнування розглянуто вплив зниження опірності крихкому руйнуванню металу труб на граничний стан газопроводу за статичного та циклічного навантаження при транспортуванні газоводневих сумішей різного складу. Показано, що залишковий напружено-деформований стан в області зварювання та відповідний зовнішній силовий вплив зумовлюють суттєве підвищення схильності до крихкого руйнування металу шва та зони термічного впливу при збільшенні концентрації водню в суміші. Але найбільший негативний вплив водневої деградації механічних властивостей спостерігається в зоні термічного впливу за циклічного навантаження, що може обмежити можливості використання існуючої газотранспортної системи для транспортування сумішей з високим (більше 20 %) вмістом водню.

ЕЛЕКТРОШЛАКОВИЙ ПЕРЕПЛАВ ЯК МЕТОД РЕЦИКЛІНГУ В УМОВАХ ОБМЕЖЕНОГО РЕСУРСУ СИРОВИННОЇ БАЗИ*

Є.О. Педченко, Ю.В. Костецький, Г.О. Полішко, В.Л. Петренко, В.А. Зайцев
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Електрошлаковий переплав є одним з ефективних методів рециклінгу відходів легованих марок сталі. Під час переплаву мають місце мінімальні втрати легуючих домішок з окисненням, що дозволяє зберегти вихідний хімічний склад металу, та відбувається рафінування металу. Окрім того, умови твердіння металу у водоохолоджуваному кристалізаторі дозволяють отримувати фізично та хімічно однорідний зливок з високою якістю поверхні.

Оскільки некомпактні відходи інструментальної сталі збирають в один електрод методом зварювання окремих деталей між собою, він буде мати не однакову по довжині площу поперечного перетину та ступінь її заповнення металом. Як наслідок під час переплаву такого електрода буде непередбачувано змінюватись електричний опір, коефіцієнт заповнення та електричний режим переплаву. Відповідно електрошлаковий переплав такого електрода за прямою схемою з отриманням якісного зливка технологічно складно виконати через нестабільність процесу переплаву.

Вирішити проблему нестабільності процесу плавлення під час переплаву електродів з не сталими по довжині геометричними параметрами може застосування переплаву за двоконтурною схемою. Вона реалізується через використання кристалізатора спеціальної конструкції, (струмопровідного кристалізатора), який дозволяє підводити у шлакову ванну додаткову електричну потужність через нього. Додаткове підведення струму в шлакову ванну через струмопровідний кристалізатор дозволяє в значній мірі нівелювати негативний вплив непередбачуваної зміни геометричних параметрів витратного електрода на результат переплаву.

Дослідні витратні електроди виготовляли зварюванням окремих деталей в єдину конструкцію. Для виготовлення електродів використовували малогабаритний відпрацьований інструмент — бури, протяжки, фрези та різці, з максимальним розміром до 0,2 м, які згідно маркуванню були зроблені зі сталі Р6М5 (Р6М5К5, Р6М5К5-МП, Р6М5Ф3-МП, 10Р6М5У-МП). Під час переплаву використовували флюс марки АНФ-29.

Слід зазначити, що якість поверхні отриманого дослідного злитка в цілому є якісною. Однак поверхня зливку, сформована під час переплаву кожного окремого електроду, має певні візуальні відмінності.

За допомогою струмопровідного кристалізатора можливо виконувати переплав некомпактного відпрацьованого інструменту [4]. В якості такого було використано витратні медичні інструменти з нержавіючої сталі (голки, ланцети, скальпелі тощо — так звана «хірургічна сталь»).

Плавка проводилась виключно за рахунок струмопідвідного кристалізатору. Шихта завантажувалась порціями на дзеркало шлакової ванни. Під час переплаву використовували флюс марки АНФ-28. Підведена потужність до струмопідвідного кристалізатору була постійною, а швидкість плавлення порцій шихти залежала виключно від завантаженого об’єму. Так як насипна щільність шихти менша за щільність рідкого шлаку, шихта постійно знаходилась на його поверхні. Плавлення відбувалось від стінок струмопідвідної секції до центру шлакової ванни. Зі збільшенням завантажених порцій шихти збільшувалась і продуктивність плавлення, це пояснюється тим що частина струму шунтується шихтою і виділення джоулева тепла безпосередньо відбувається під нею, а не тільки на периферії кристалізатору за рахунок струмопідвідної секції.

Електрошлаковий переплав за двоконтурною схемою дозволяє ефективно здійснювати рециклінг відпрацьованого малогабаритного інструменту, як скомпонованого у витратні електроди, так і у вигляді некомпактної шихти, зі збереженням хімічного складу металу та отриманням злитків з поверхнею високої якості.

*Робота виконувалась під керівництвом проф., д.т.н. Л.Б. Медовара та за участю проф., д.т.н. Г.П. Стовпченко.

MODELLING OF HEAT TRANSFER AND FLUID FLOW IN THE METAL BEING WELDED DURING DC AND HFPC TIG SPOT WELDING

O. Semenov[1], I. Krivtsun[1], V. Demchenko[1], U. Reisgen[2], O. Mokrov[2], R. Sharma[2], V. Sydoruk[3]
[1]E.O. Paton Electric Welding Institute of the NASU, Kyiv
[2]RWTH Aachen University, ISF-Welding and Joining Institute, Aachen, Germany
[3]V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of NASU, Kyiv

A mathematical model of non-stationary electromagnetic, heat and mass transfer processes in the metal being welded during high frequency pulsed current (HFPC) TIG spot welding has been proposed. A computational algorithm realizing the numerical solution of appropriate mathematical problems has been developed and implemented in Wolfram Mathematica. Comparative analysis of heat transfer and hydrodynamic processes in the specimen of steel S-235JR during HFPC TIG spot welding with 10 kHz square wave pulse current modulation and direct current (DC) TIG spot welding with arc current equals to time-averaged value of HFPC has been carried out. As simulations showed, application of HFPC modulation in TIG spot welding enables to increase metal penetration with slight grows of weld spot diameter in comparison with those obtained in DC mode. One of the reasons of such effect is the convective heat transfer intensification from the central region of weld pool surface towards the pool bottom due to increase of Lorentz force acting on the melt.

РОЗРОБКА САМОЗАХИСНИХ ПОРОШКОВИХ ДРОТІВ ДЛЯ РЕМОНТНО-ВІДНОВЛЮВАЛЬНОГО ЗВАРЮВАННЯ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЧНОГО, МАГІСТРАЛЬНОГО ТА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТРАНСПОРТУ

В.М. Шлепаков, О.С. Котельчук, В.В. Головко
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Впровадження механізованого зварювання самозахисним дротом на підприємствах гірничо-металургійного комплексу та залізничного транспорту показало підвищення продуктивності зварювальних робіт більш ніж в 2 рази при економії електроенергії, підвищенні стійкості зварних з'єднань проти утворення гарячих і холодних тріщин та експлуатаційних властивостей зварних з'єднань за рахунок нормалізації зварного шва й зони сплавлення. При цьому покращуються умови праці робітників завдяки зниженню трудомісткості основних і допоміжних операцій, що дозволяє також суттєво збільшити економічний ефект.

ЗАСТОСУВАННЯ ВІБРОДІАГНОСТИЧНИХ СИСТЕМ ВІДБОРУ ТА ОБРОБКИ ВІБРАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПРОМИСЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ

Р.М. Юзефович[1,2], І.М. Яворський[1,3], О.В. Личак[1], І.Г. Стецько[1], М.З. Варивода[1]
[1]Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАНУ, Львів
[2] Національний університет «Львівська політехніка», Львів
[3]Бидгощська політехніка, інститут телекомунікацій, Бидгощ, Польща

У більшості випадків відмови у роботі машин супроводжують певні явища, що вказують на можливість виникнення дефекту чи аварії. Характерним явищем, яке майже завжди характеризує несправну машину, є підвищений рівень механічних коливань. Планово-попереджувальний ремонт, зазвичай, відбувається в певні проміжки часу, які визначаються орієнтовним терміном експлуатації деталей та вузлів, що підлягають зношенню. Як наслідок, ремонт можна відтермінувати до часу, коли результати вимірювання вібраційного стану машини покажуть на його необхідність. Періодичний контроль за технічним станом обладнання,

який базується на аналізі механічних коливань при використанні методів неруйнівного контролю, гарантує відсутність будь-яких порушень функціонування обладнання в процесі та після завершення контролю, і вигідний саме з економічної точки зору, так як дає можливість збільшити середній час між відмовами і направлений на підвищення надійності та довговічності обладнання, збільшення термінів експлуатації, тим самим зменшує витрати на технічне обслуговування та дороговартістний ремонт.

У відділі методів і засобів відбору та обробки діагностичних сигналів Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України розроблено інноваційні методи аналізу сигналів вібрації на основі теорії періодично нестаціонарних випадкових процесів, що дозволяють виявити діагностичні ознаки несправностей вузлів механізмів, у тому числі на стадії зародження. Розроблено ряд вібродіагностичних систем для відбору, експрес-аналізу та обробки вібраційних сигналів, що забезпечують періодичний контроль обладнання, визначають у режимі реального часу середнє квадратичне значення віброприскорення та віброшвидкості, спектри та огинаючі сигналів, генерують відповідні звіти та архівують їх для наступного аналізу. Серед інших аналогічних систем їх вирізняє мобільність, точність вимірювання, спеціалізоване прикладне програмне забезпечення, можливість оцінки вібраційного стану механізмів згідно ДСТУ ISO 10816-1:2007, підвищена завадостійкість, низька потужність споживання, малі маса та габарити, простота в експлуатації. Прийняті конструкторські та схемно-технологічні рішення дозволяють без надмірних зусиль адаптувати розроблені системи під потреби замовника.

МОЖЛИВОСТІ СУЧАСНИХ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ОТРИМАННЯ НОВИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ

К.Ю. Яковчук

Державне підприємство «Міжнародний центр електронно-променевих технологій ІЕЗ ім. Є.О.Патона НАНУ», Київ

Розглянуто існуючі галузі застосування електронно-променевих технологій випаровування та конденсації у вакуумі (EB-PVD), наведені основні типи захисних покриттів та матеріалів, які використовуються, їх склад та структура.

Представлені результати вдосконалення хімічного складу та мікроструктури металевого шару типу NiAlDy товщиною 40–50 мкм та його використання в термобар`єрних покриттях. Розглянуто варіант термобар`єрного покриття NiCoCrAlY + AlCr товщиною 80–120 мкм з зовнішнім керамічним шаром типу ZrO_2–Y_2O_3 або ZrO_2–Y_2O_3/$Zr_2Gd_2O_7$ товщиною 130–160 мкм. Наведені результати досліджень розподілу хімічних елементів у системі підкладка/покриття та мікроструктури після осадження та після термічної обробки. Представлені результати пічних термоциклічних випробувань при 1150 °С зразків з жароміцного сплаву СМ88 з такими покриттями, які мають в 1,8–3 рази більш високу довговічність у порівнянні з традиційними покриттями з металевим шаром NiCoCrAlY або NiAl.

В якості проміжного варіанту представлені результати вдосконалення існуючої традиційної технології нанесення покриттів типу CoCrAlY/ZrO_2–Y_2O_3 шляхом насичення поверхні металевого шару алюмінієм із шлікеру.

Пропонується EB-PVD технологія для нанесення наноструктурних покриттів на порошки та гранули з розміром частинок від 50 мкм до 5 мм, представлені схеми оснащення та мікроструктури отриманих порошків зі швидкістю конденсації до 1–2 нм/хв.

Розглянути особливості конструкції та характеристики розроблених електронно-променевих установок типу UE-211 з прямим електронно-променевим та радіаційним нагрівом деталей, а також удосконалення їх основних вузлів.

СТЕНДОВІ ДОПОВІДІ

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОРОШКІВ, ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ ПЛАЗМОВО-ДУГОВОЇ СФЕРОЇДИЗАЦІЇ ПОРОШКОВОГО ДРОТУ ІЗ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ З АЛЮМІНІЄВИМ НАПОВНЮВАЧЕМ, ДЛЯ ТРИВИМІРНОГО ДРУКУ МЕТАЛЕВИХ ВИРОБІВ

Л.І. Адєєва, А.Ю. Тунік, В.А. Костін, В.М. Коржик, Д.В. Строгонов, В.І. Кривко, В.І. Сиренко

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

Розвиток адитивних технологій тривимірного друку металевих виробів вимагає створення нових матеріалів у вигляді сферичних порошків із складно легованих сплавів, тугоплавких матеріалів, інтерметалідів та ін. Цю проблему можна вирішити шляхом отримання порошків або гранул методом плазмово-дугового розпилення (ПДР) дроту з оболонкою із низьковуглецевої сталі Ст08КП та порошковим наповнювачем (алюмінію марки ПА-4). Склад порошкового дроту 86Fe + 14Al мас. %, відповідає формулі інтерметаліду Fe_3Al, коефіцієнт заповнення становить 16 %. При ПДР аргоном і повітрям на різних технологічних режимах (сила струму –270, 220 та 180 А) були отримані порошки та розділені по фракціям –315+200; –200+100; –100+75. Порошки були досліджені методами металографічного, дюрометричного аналізів, рентгеноструктурного фазового (РСФА) та рентгеноспектрального мікроаналізів (РСМА). За допомогою оптичної і растрової мікроскопії досліджено морфологію, розмір, виявлено елементи структури і пористість часток. Дюрометричним аналізом при навантажені 25 г визначена їх мікротвердість. Залежність фазового складу порошків від технологічних режимів ПДР встановлено методами РСФА, РСМА і дюрометричного аналізу.

При розпилені як аргоном так і повітрям на всіх технологічних режимах отриманні порошки, в своїй більшості, мають сферичну форму. Іноді реєструються гантелеподібні та округлі частки подовженої форми (~10 %).

Металографічним методом була досліджена структура порошків до і після хімічного травлення (склад реактиву в мл: 30HF + 30HCl + 40H_2O). В нетравленому стані металеві частки мають чіткий ободок товщиною ~5 мкм. Після травлення виявлена лита структура металевих часток, яка складається з дрібних дендритів алюмінідів в матриці α-заліза. Поряд з металевими частками в порошках виявлені оксидні частки сірого кольору. В оксидних частках спостерігається внутрішні порожнини і пористість. Найбільша кількість оксидних часток реєструється в порошках, розпилених повітрям. В результаті дюрометричний досліджень встановлено, що мікротвердість металевих часток знаходиться в інтервалі 3,1–4,6 ГПа. За літературними даними, значенням твердості алюмінідів, які утворюються в металевих частках ближчі до AlFe (*HV* = 6 ГПа) ніж до Fe_3Al (*HV* = 2,7 ГПа). Оксидні частки мають біль високу мікротвердість — 4,8–8,2 ГПа.

За результатами РСФА встановлено, що методом ПДР можливо отримати порошки оптимального складу, які містять дисперсні алюмініди в залізній матриці. Утворюються два найбільш багатих залізом з'єднання FeAl і Fe_3Al з наступними структурами: FeAl — кубічна примітивна структура типу CsCl, a = 2,903 Å; Fe_3Al — кубічна гранецентрована структура типу DO3 ($BiFe_3$), a = 5,78 Å. Порошки, розпилені аргоном мають стабільний фазовий склад. Основною фазою є AlFe (або суміш AlFe + Fe_3Al, так як рентгенівські максимуми цих фаз співпадають). Другою фазою є α-Fe, його кількість знаходиться в інтервалі 7,8–42,2 %. Також реєструються оксиди заліза Fe_3O_4, γ-Fe_2O_3 в кількості 7.09…10,18, а при використанні сили струму 180А — ще оксид алюмінію σ-Al_2O_3 ~8,11 мас.%. При використанні сили струму 270 та 220А порошки, отримані розпиленням аргону, мають максимальну кількість алюмініду заліза (~75–86 мас%), при цьому кількість оксидів мінімальна. При використанні повітря, в якості розпилювача, ведучою фазою становиться оксидна. Сумарна кількість оксидів заліза (Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , FeO) і алюмінію σ-Al_2O_3 становить 72…91 %. Відсоток алюмінідів заліза значно зменшується. Максимальне значення AlFe — 28,3 % реєструється у фракції –315+200 при силі струму 270 А.

Найкращій матеріал за фазовим складом, структурою, показниками твердості та фактором форми був отриманий при ПДР порошкового дроту аргоном. Структура часток, в своїй більшості, виявляла собою дисперсні алюмініди заліза в матриці α-заліза. При використанні повітря протікають процеси інтенсивного окислювання матеріалу.

Отримані матеріали будуть використовуватись для виготовлення тривимірних виробів складної форми методами 3D друку для енергетики і газотурбінних двигунів, автотранспорту, для отримання композиційних матеріалів авіаційного призначення та матеріалів для хімічної промисловості.

ТЕХНОЛОГІЯ КОНТАКТНОГО СТИКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ОПЛАВЛЕННЯ РЕЙОК З КЕРОВАНИМ РЕЖИМОМ ОХОЛОДЖЕННЯ

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

При контактному стиковому зварюванні оплавленням (КСЗО) залізничних рейок у зоні термічного впливу з'єднань з'являються ділянки із зниженою і підвищеною твердістю та існує вірогідність формування гартівних структур, які не допускаються вимогами діючих стандартів. Тому, актуальним є удосконалення технології КСЗО залізничних рейок за рахунок дозованого енерговкладення у процесі оплавлення та керованого охолодження зони з'єднання після зварювання.

З попередніх досліджень відомо, що для отримання мінімальної протяжності ділянки зі зниженою твердістю рекомендовано зварювання рейок на режимах зі зниженим енерговкладенням, а для виключення утворення дефектів у вигляді гартівних структур можливе керування процесом охолодження зварного з'єднання за допомогою контактного нагрівання. Як джерело живлення для контактного нагріву пропонується використовувати трансформатор рейкозварювальної машини, на якій безпосередньо проводиться зварювання.

Контактне нагрівання стиків виконується після етапу осадки за рахунок пропускання імпульсів струму при досягнення заданої температури охолодження. У процесі керованого охолодження задається і контролюється кількість імпульсів нагріву, тривалість імпульсу нагріву і паузи між імпульсами, вторинна напруга імпульсу, модуляція фронту і амплітуди напруги імпульсу нагріву.

Розроблено алгоритм контролю та удосконалено систему управління рейкозварювальної машини, яка виконує пряме цифрове керування процесами КСЗО і керованого охолодження зварних стиків.

ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВА ПЛАВКА СПЛАВІВ ТИТАНУ МЕДИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

С.В. Ахонін[1], В.О. Березос[1], О.М. Пікулін[1], А.Ю. Северин[1], О.Г. Єрохін[2]
[1]Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ
[2]ДП «НВЦ «Титан» ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України

Матеріали, що застосовуються в медицині (особливо ті, які використовують для виготовлення ендопротезів, імплантатів) повинні забезпечувати тривалий термін служби деталей, що виготовляються з них, і тому, повинні бути леговані тільки біологічно-сумісними, нетоксичними елементами, в той час, як такі легуючі елементи як ванадій, кобальт і нікель можуть утворювати в організмі людини токсичні сполуки.

При очевидних перевагах титанових сплавів їх більш широке використання в медицині стримується низкою проблем, таких як: низька якість напівфабрикатів через порушення або недосконалість технологій їх виробництва; складність і трудомісткість технології виробництва; низькі механічні властивості литих напівфабрикатів. Реальна потреба в імплантатах (стоматологічних, травматологічних, ортопедичних) перевищує існуючу пропозицію в 3–5 разів. При цьому ринок таких виробів займають в основному зарубіжні компанії. Тому освоєння технології отримання напівфабрикатів зі сплавів титану медичного призначення у промислових умовах вимагає розробки і впровадження принципово нових технологій і обладнання для виплавки зливків та виготовлення деформованих напівфабрикатів.

Теоретичні та експериментальні роботи, виконані в Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, були спрямовані на одержання зливків сплавів титану медичного призначення методом ЕПП. Вони являли собою комплекс досліджень, що включає математичне моделювання процесів тепло- масопереносу в залежності від параметрів ЕПП і статистичний аналіз результатів експериментальних плавок. Так, було встановлено кількісний взаємозв'язок втрат легуючих елементів, в першу чергу алюмінію, від режимів плавки, типу шихти, хімічного складу сплаву, що виплавляється. На підставі отриманих залежностей було створено технологію виробництва методом електронно-променевої плавки високоякісних бездефектних зливків титанових сплавів медичного призначення з гарантованим хімічним складом.

ОТРИМАННЯ ДЕФОРМОВАНИХ НАПІВФАБРИКАТІВ ЖАРОМІЦНИХ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ СИСТЕМИ Ti–Al–Zr–Si–Mo–Nb–Sn

С.В. Ахонін[1], В.О. Березос[1], О.М. Пікулін[1], А.Ю. Северин[1], О.О. Котенко[1], М.М. Кузьменко[2], Л.Д. Кулак[2]

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

[2]Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України

Сучасна авіаційна техніка потребує матеріали, які зможуть доповнити або повністю замінити традиційно використовувані в даній області жароміцні сплави на основі нікелю, кобальту та заліза. Жароміцні сплави на основі титану — один із шляхів заміни цих сплавів. Наразі, робочі температури промислових титанових сплавів не перевищують 600 °С, що дуже обмежує їх використання. Тому проблема поліпшення механічних властивостей титанових сплавів при температурах вищих за 600 °С є дуже актуальною на даний момент. Одним із напрямків підвищення робочих температур — створення титанових композитів на основі системи Ti–Al–Zr–Si–Mo–Nb–Sn з досить високим вмістом кремнію, що перевищує термодинамічно стабільну величину у твердому розчині. В таких сплавах зміцнення титанової матриці відбувається у процесі кристалізації, завдяки утворенню тугоплавких з'єднань Ti_5Si_3. Сплави даної системи є перспективними для створення нового класу матеріалів із високим рівнем жароміцних та жаростійких характеристик.

На основі технології ЕПП проведено комплекс дослідницьких робіт по виплавці жароміцних складнолегованих титанових сплавів системи Ti–Al–Zr–Si–Mo–Nb–Sn. Показано, що ЕПП дозволяє отримувати зливки жароміцних титанових сплавів які характеризуються достатньою хімічною однорідністю та відсутністю дефектів литого походження. Встановлено, що присутність олова знижує розчинність кремнію у дослідних сплавах і посилює виділення силіцидів, при цьому також подрібнюється структура. Встановлено, що на розчинність кремнію у титані впливають додаткові легуючі елементи, утворюючи в дослідних сплавах складні силіциди типу $(Zr, Ti)_5Si$ $(Ti, Zr)_3Si$.

Проведено роботи по дослідженню структур та механічних властивостей жароміцного титанового сплаву системи Ti–Al–Zr–Si–Mo–Nb–Sn після гарячої деформаційної обробки за різними режимами. Досліджено вплив температур деформаційної обробки на структуру та властивості металу. Встановлено, що деформаційна обробка металу, яка проведена у верхній частини області існування (α+β)-фаз забезпечує підвищення пластичності матеріалу, в порівнянні з литим, майже в 30 разів та забезпечує високі показники міцності як при кімнатній, так і при робочих температурах 600 °С.

ВПЛИВ ПОПЕРЕДНЬОГО ПІДІГРІВУ НА ТЕРМІЧНИЙ ЦИКЛ АРГОНО-ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ЖАРОМІЦНИХ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ НОВОГО ПОКОЛІННЯ

С.В. Ахонін, В.Ю. Білоус, Р.В. Селін

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

Жароміцні титанові сплави завдяки унікальному поєднанню фізичних та механічних характеристик у двигунобудуванні є матеріалами, що замінюють традиційно використовувані тут жароміцні сплави на основі нікелю, кобальту та заліза. Жароміцні титанові сплави нового покоління містять кремній, що є найбільш ефективною добавкою для підвищення тривалої міцності та опору повзучості. Але, навіть невеликий вміст кремнію, може сильно ускладнити отримання бездефектних зварних з'єднань при аргоно-дуговому зварюванні вольфрамовим електродом. Це пов'язано із утворенням метастабільних та крихких фаз під час зварювання. Тому, сплави системи Ti–Al–Si–X, дуже залежні від термічного циклу зварювання та швидкості охолодження. Один із прийомів, який дозволяє зменшити кількість метастабільних та крихких фаз — використання попереднього підігріву. Тому, в цій роботі, методом математичного моделювання досліджували вплив попереднього підігріву на термічний цикл аргоно-дугового зварювання жароміцних титанових сплавів нового покоління системи Ti–Al–Si–X. Проводилось моделювання на двох режимах: а) $I = 310$ А, $U = 12$ В, $V_{св} = 10$ м/г; б) $I = 310$ А, $U = 12$ В, $V_{св} = 10$ м/г, $T_{пп} = 350$ °С. На режимі б вдалось отримати повне проплавлення зразка, ширина наплавленого валику на 17 % більше, ніж на режимі а, площа — на 96 % більше. Було проведено дослідження структурно-фазових перетворень при аргоно-дуговому зварюванні на режимі. Встановлено, що метал шва та ЗТВ зварного з'єднання отриманого на обох режимах буде складатись с β-, метастабільної β→α+β- та двофазної α+β-фази, але при застосуванні попереднього підігріву, обсяг β-фази та метастабільної β→α+β-фази буде значно менший, ніж без підігріву. Також, на межі ЗТВ та основного металу, при застосуванні підігріву, може виникати інтерметалідна фаза Ti_3Al.

ЗНОСО- ТА ТЕРМОСТІЙКІСТЬ НАПЛАВЛЕНОГО МЕТАЛУ ТИПУ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ СТАЛЕЙ, МІКРОЛЕГОВАНИХ БОРОМ

А.А. Бабінець, І.О. Рябцев, І. П. Лентюгов
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Зносостійкість металу при підвищених температурах та його термічна стійкість є основними характеристиками інструментів для гарячого деформування металів та сплавів, що значною мірою визначають термін їх експлуатації. У цій роботі досліджено можливість управління структурою та експлуатаційними властивостями наплавленого металу типу інструментальних сталей 25Х5ФМС та 35В9Х3СФ за рахунок їх мікролегування та модифікування бором.

В якості мікролегуючої добавки використовували лігатуру ФХБ-1, яку додавали у шихту порошкових дротів із таким розрахунком, щоб отримати вміст бору в наплавленому металі до 0,05 %.

Встановлено, що мікролегування бором наплавленого металу обох типів у кількості 0,007–0,05 % приводить до подрібнення мікроструктури металу та збільшення мікротвердості його матриці. Проте, при вмісті бору в наплавленому металі ≥ 0,02 %, в ньому з'являтися мікротріщини, тому максимальний вміст бору у наплавленому металу було обмежено на рівні 0,01 %.

Експериментально визначено, що додавання бору у кількості 0,007…0,01 %, дозволило підвищити термостійкість наплавленого металу типу 25Х5ФМС у 1,20…1,75 рази, а у наплавленого металу 35В9Х3СФ у 1,5–2,0 рази та підняти до рівня більш термостійкої сталі 25Х5ФМС.

Також відзначений позитивний вплив мікролегування бором і на зносостійкість наплавленого металу 25Х5ФМС та 35В9Х3СФ при терті метал по металу при підвищених температурах — втрати маси зразків, мікролегованих бором знижуються у 1,2 та 2,0 рази, відповідно.

Отримані результати можуть бути використані при розробці матеріалів для наплавлення з метою підвищення довговічності деталей машин та механізмів, які працюють в складних умовах термомеханічного циклічного навантаження.

ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОЦЕСІВ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕННЯ МЕТАЛЕВИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ПЕРСПЕКТИВ ЙОГО ВИКОРИСТАННЯ

А.В. Бернацький, М.В. Соколовський, О.В. Сіора, В.А. Лукашенко, О.О. Данилейко, Т.М. Набок, В.І. Бондарєва, Н.О. Шамсутдінова
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

У даній роботі з метою визначення актуальних напрямків дослідження різних наукових складових процесу селективного лазерного плавлення металів, а також технологічних заходів, які впливають на кінцеву структуру, механічні та експлуатаційні характеристики виготовленої деталі, було проведено літературний огляд матеріалів, присвячених різним напрямкам дослідження технології селективного лазерного плавлення металів. Напрямками наукових робіт, розглянутих у даному огляді, були: дослідження та поглиблення знань щодо впливу енергетичної складової процесу селективного лазерного плавлення металів; можливості модифікації процесу селективного лазерного плавлення металів шляхом контролю величини розфокусування лазера; вивчення режимів та методів обробки, а також кінцевої мікроструктури зразків; вивчення корозійної стійкості виробів, виготовлених за допомогою селективного лазерного плавлення металів. На підставі результатів літературного аналізу показано проблеми та перспективи вивчення процесів селективного лазерного плавлення металів для матеріалів аерокосмічної індустрії, а також аргументовано необхідність створення систематизованого комплексного підходу до вивчення складових процесу селективного лазерного плавлення металів, а також поглиблення знань щодо технологічних можливостей його використання.

ВЛАСТИВОСТІ ЗЛИВКІВ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОГО ТИТАНУ З ПІДВИЩЕННИМ ВМІСТОМ КИСНЮ ТА АЗОТУ

Д.І. Білоник, О.Є. Капустян, В.Т. Рубан, І.М. Білоник
Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя

Досліджували механічні та технологічні властивості зливка титану діаметром 85 мм, отриманого із застосуванням електрошлакового переплаву у відкритому кристалізаторі. Витратні електроди виготовляли з відходів листової обрізі кондиційного титану ВТ1-0. Для виключення розігріву поверхні витратного титанового електроду та взаємодії його поверхні з киснем та азотом повітря застосували ковзний струмопідвід, який встановили на верхньому фланці кристалізатора. Поверхню шлакової ванни захищали аргоном.

Хімічний склад отриманого зливка: Ti — основа; C = 0,024 %; Fe = 0,06 %; Si = 0,05 %; O_2 = 0,25 %; N_2 = = 0,058 %; H_2 = 0,0016 %. Але, не зважаючи на вищезгадані застосовані заходи захисту титану, вміст кисню та азоту в отриманому зливку перевищував стандартні вимоги.

Механічні властивості $\sigma_в$ = 590 МПа, $\sigma_{0,2}$ = 560 МПа, δ = 7,5 % та ψ = 13,5 % майже однакові з аналогічними властивостями сплавів ТЛ-3 та ВТ5Л.

З технологічних властивостей досліджували оброблюваність різанням, тиском та зварюваність. Встановлено:

● титан добре піддається механічній обробці різанням (точінню, свердлінню та нарізанню різьби), про що свідчили характер стружкоутворення та можливість отримання шорсткості поверхні з першого по шостий клас;

● при зварюванні методом TIG зразків дослідного титану 55×55×2 мм не виникало ніяких відхилень від стандартної технології. Кипіння зварювальної ванни було відсутнє, не зважаючи на підвищений вміст кисню та азоту. Зварний шов формувався щільним. Макроструктурі зварного з'єднання притаманна монолітність та однорідність. Механічні властивості на рівні основного металу.

● в процесі гарячого кування зразків діаметром 83 мм та висотою 50 мм не виникали технологічні труднощі. Були отримані дві поковки з коефіцієнтами деформації 40 та 90 %. Контроль поковок зовнішнім оглядом та ультразвуковим методом дефектів не виявив.

СПОСІБ ДИСТАНЦІЙНОЇ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПРОМИСЛОВИХ ДИМОВИХ ТРУБ ПАСИВНИМ ТЕПЛОВІЗІЙНИМ МЕТОДОМ

О.Г. Бондаренко, В.Ю. Глуховський
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

На сьогоднішній день в Україні експлуатується понад 3000 димових труб та технологічних газоходів, які були побудовані в період 60-80-х років минулого століття. При цьому строк експлуатації деяких з них добіг або добігає кінця. Тому виникає необхідність або зносити старі і будувати нові, або проводити роботи з подовження ресурсу їх експлуатації.

Одним із шляхів подовження ресурсу таких об'єктів є проведення їх діагностування методами неруйнівного контролю. Серед таких методів, на сьогоднішній день, є візуальне діагностування із залученням промислових альпіністів, що унеможливлює проведення робіт без виведення зазначених об'єктів з експлуатації. Інший методом, що дозволяє дистанційно проводити діагностування технічного стану не виводячи об'єкт контролю з експлуатації, є тепловізійний контроль, до переваг якого можна віднести дистанційність, високу інформативність та безпеку для контролюючого персоналу.

Можливості дистанційного обстеження та діагностування технічного стану димових труб значно розширилися з використанням інфрачервоної техніки, серед якої найбільше розповсюдження отримали різні типи теплові зорів, які дозволяють оперативно фіксувати аномалії температурного поля на зовнішній поверхні контрольованого об'єкту у вигляді термограм. Такі аномалії формуються під дією потенціалу температури газів при наявності змін теплофізичних характеристик в елементах конструкції труби. Такі зміни можуть свідчити про виникнення внутрішніх несуцільностей, зон зволоження тощо. Але роботи зі встановлення зв'язку між зареєстрованими тепловізором аномаліями температурного поля на поверхні труби та параметрами її внутрішньої структури до сьогоднішнього часу не проводились. Це пов'язано в першу чергу з тим, що кожен тип труби має свої особливості

аномального розподілення температури на її поверхні, які залежать від конструкції труби, теплофізичних властивостей матеріалів, умов теплопередачі та теплообміну на зовнішніх межах тощо.

Для отримання інформації про температурні аномалії на зовнішній поверхні димової труби та визначення за їх допомогою геометричних розмірів, товщини та глибини залягання несуцільності було розроблено лазерно-термографічну систему, спосіб термографування зовнішньої поверхні димової труби та процедуру оцінки її технічного стану пасивним тепловізійним методом.

До складу лазерно-термографічної системи входить тепловізійної-вимірювалний прилад (тепловізор, лазерний далекомір, система просторової орієнтації) та персональний комп'ютер з розробленим програмним забезпеченням, що дозволяє проводити обробку отриманих від тепловізійної-вимірювального приладу сигналів

Сутність способу термографування полягає в тому, що процес термографування зовнішньої поверхні димової труби доповнено процедурою визначення його просторових параметрів (дистанція контролю, кути візування тощо). Такий підхід дозволяє визначати істині геометричні параметри контрольованого об'єкту та температурних аномалій на його поверхні, спотворених перспективою.

Під процедурою оцінки технічного стану димової труби розуміють аналіз отриманих термограм її зовнішньої поверхні з метою визначення теплофізичних характеристик температурних аномалій, порогового рівня виявлених дефектів, розраховувати їх геометричні параметри та визначати їх тип.

Застосування такого способу дистанційної оцінки технічного стану димової труби пасивним тепловізійним методом дозволяє отримати інформацію про технічний стан її стовбуру, визначити об'єми ремонтних робіт та провести подальшу оцінку її залишкового ресурсу.

НОВІ ВИСОТИ В ПРОФЕСІЇ ДЕФЕКТОСКОПІСТА

О.С. Бородай

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

Сьогодні наша країна та наш народ переживає найважчий час. Руйнуються не лише дороги, міста, заводи, найважливіші об'єкти інфраструктури. Руйнуються життя людей! А це найцінніше, що є в державі — розумність його народу та бажання жити та розвиватися у кожній сфері діяльності людини. У таких умовах головне завдання не розчаруватися у собі, зберегти весь свій потенціал та рушити далі до нових висот. Зібрати все найкраще з минулого і покласти нові цеглини для нового будівництва!

Завдання, які наразі є перед нами — це відновлення потужності та сили наших заводів. Але це можливе лише після ретельної діагностики технічного стану постраждалих конструкцій та відновлення психофізіологічного сприйняття персоналу, який проводитиме оцінку цього стану. Ці фактори так тісно пов'язані між собою, що складно сказати, який із них важливіший. Фахівці, які приходять на місця аварій часто піддаються паніці і разом із інструктажами з охорони праці, специфіки роботи підприємства та ін. виникає необхідність проведення тестів на психічне сприйняття. І багато хто, на жаль, не може приступити до роботи, яка потребує холодного розуму, точності виконання контролю та об'єктивне трактування результатів пошкоджень конструкцій. І це перша проблема, з якою ми зіткнулися під час діагностики ємностей, які постраждали від пожежі, викликаної обстрілом.

Іншою проблемою при діагностиці виявились верхолазні роботи. Для роботи всередині вертикальної ємності заввишки 20–35 м дефектоскопіст повинен мати посвідчення, що підтверджує його можливість роботи на висоті. Більшість дефектоскопістів не змогла виконати ці вимоги. Персонал, який мав посвідчення на таку роботу, не мав жодного уявлення про роботу дефектоскопіста і навпаки.

І третє питання було у технічному оснащенні дефектоскопіста — верхолаза. Спускаючись у ємність, фахівець повинен мати можливості не тільки взяти з собою всі необхідні прилади для проведення вимірів візуального, ультразвукового та ін. видів контролю, прописаних у програмі обстеження., але ще й переміщатися по всьому діаметру ємності (7–15 м), щоб не пропустити жодної дефектної ділянки. І тут переваги отримали прилади, з малими габаритами та певними кольоровими індикаторами. Як виявилося, ринок дефектоскопічних приладів до вирішення таких завдань поки що не готовий, так як багато приладів підходять лише для «зручних» польових умов.

Після 5 місяців підготовки як технічної, так і документальної, — ми змогли зробити свій перший спуск в ємність. Перед нами величезний простір для нових методик контролю та подальшого ремонту, технічних пристроїв та нових програм та кадрів у професії дефектоскопіста. Але перший крок зроблено і це буде новими сторінками в методичних посібниках з дефектоскопії!

КОНЦЕПЦІЯ ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ ЕНДОПРОТЕЗУВАННЯ З НИЗЬКОМОДУЛЬНИХ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ СИСТЕМИ Ti–Zr–Nb–Sn МЕТОДОМ WAAM

М.М. Ворон[1], С.Л. Шваб[2], Р.В. Селін[2]
[1]Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України
[2]Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Відомі біомедичні сплави на основі титану, які досі широко використовуються для ендопротезування, мають у своєму складі токсичні компоненти — Al, V, Fe, Cr та Co. Очевидно, що максимальна біосумісність досягається завдяки легуванню титану нетоксичними елементами, до переліку яких серед неблагородних металів відносяться лише Zr, Nb, Ta, Sn та в найменшій мірі — Mo.

Поєднання задачі забезпечення максимальної біосумісності та оптимального рівня механічних властивостей відповідно вимагає знаходження оптимальних хімічних складів сплавів. При цьому варто слідувати важливій сучасній умові забезпечення високої міцності та мінімального модуля пружності сплаву, з якого виготовляється ендопротез. Наближення значень модуля пружності біомедичного сплаву та кістки суттєво підвищує безпечність і довговічність експлуатації ендопротезу. Даним вимогам найбільшою мірою відповідають сплави Ti–13Nb–13Zr, Ti–24Nb–12Zr та Ti–(24–26)Nb–(4–8)Zr–(7–8Sn). Їх межа міцності знаходиться в межах 800–1000 МПа, а модуль пружності — на рівні 45–65 ГПа.

Виробництво готових виробів та якісних напівфабрикатів з таких сплавів є складною задачею, яка вирішується частіше за все способом механічної обробки заготовок, литтям, або за допомогою адитивних технологій. Останні передбачають застосування дисперсних порошків ≤ 20–50 мкм, шо обумовлює високу вартість такого виробництва. Доцільність застосування 3D-друку для ряду задач є низькою через малу продуктивність та завищення модуля пружності металу виробу через особливості формування структури при спіканні порошку. В якості прикладу можна навести ендопротези, які передбачають наявність стрижня-основи, який фіксується в порожнині кістки.

Метод адитивного наплавлення титанових сплавів WAAM є значно більш продуктивним за SLM-спікання порошків та дозволяє отримувати товстостінні деталі (від 2 мм) з більш щільною будовою металу і структурою, які наближаються до показників дрібнозернистого литого металу. Метод WAAM передбачає застосування металопорошкового дроту, тому його реалізація для одержання таких складних сплавів як Ti–13Zr–13Nb, Ti–26Nb–8Zr–8Sn, Ti–20Nb–12Zr–12Sn, тощо потребує застосування порошків-наповнювачів складного хімічного складу.

Проаналізувавши актуальність використання низькомодульних титанових сплавів для ендопротезування, технології виготовлення з них готових виробів, які передбачають наявність стрижнів для фіксації, або інших навантажених та масивних частин, було зроблено висновок про доцільність методу WAAM як альтернативи існуючим адитивним способам виробництва. Спосіб має ряд економічних і технологічних переваг, але потребує оптимального підходу в питаннях створення складнолегованих дротів для одержання сплавів з високим вмістом ніобію, цирконію та олова. Оптимальним рішенням представляється в даному випадку одержання сплавів на основі цирконію та ніобію з титаном, приготування з них порошків і формування наплавочного дроту.

OPTIMIZATION OF PULSE ARC WELDING PARAMETERS FOR LOW-ALLOY WELDING MATERIALS: WELD FORMATION AND ITS GEOMETRIC PARAMETERS

A. Gaivoronskiy, V. Pozniakov, A. Zavdoveev, A. Denisenko, S. Jdanov
E.O. Paton Electric Welding Institute of the NASU, Kyiv

The main difficulties in welding new low-carbon high-strength alloy steels are related to the need to prevent the possibility of formation in the metal HAZ and weld metal cold cracks, as well as structures that reduce the resistance of welds to brittle fracture. The solution of these problems is complicated by the condition according to which the necessary indicators of service and technological properties of welded joints must be in a state after welding without additional heat treatment. The structure, mechanical properties and viscosity of the HAZ metal of welded joints of thermally hardened steels are significantly affected by the parameters of heating and cooling of the specified area in the thermal cycle of welding. Given this, the study of the influence of pulse-arc welding on the formation of the seam and its geometric parameters and as a consequence of the structure and mechanical properties of welded joints of thermally hardened steels is of some interest.

When pulse-arc welding (PA-GMAW), there are four variable mode parameters — pause current, pulse current, frequency and duty cycle. A large number of experiments are required to select the optimal mode. The criterion for the optimal welding mode is to obtain the required values of the geometric parameters of the seam, namely the depth of penetration, the width of the HAZ, the width of the seam. Taguchi experimental calculation method, which allows to estimate the influence of each of the parameters of the mode on the formation of the welded joint, with a minimum number of experiments.

АДАПТАЦІЯ МЕТОДУ EB-PVD ДЛЯ ОТРИМАННЯ ПЕРЕВ'ЯЗОЧНИХ МАТЕРІАЛІВ З НАНОЧАСТИНКАМИ СРІБЛА

О.В. Горностай

ДП «Міжнародний центр електронно променевих технологій Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України» , Київ

Перев'язочні матеріали виконують комплексну задачу, тому сучасні перев'язочні матеріали є багатошаровими виробами з, так званою сендвіч-структурою, які володіють рядом властивостей: атравматичними, абсорбуючими, біосумісними, протимікробними. В багатошаровій структурі пов'язки протимікробний шар відповідає за забезпечення ефективного захисту від контамінації патогенними мікроорганізмами з навколишнього середовища і від мікробів присутніх у рані, знижуючи ризик її вторинного інфікування, сприяючи таким чином, як найшвидшому загоєнню рани.

Протимікробний шар насичується антибіотичними препаратами. Постійне застосування місцевих антибіотиків призводить до прогресуючого зниження терапевтичної ефективності цих антибіотиків через антимікробну резистентність. Також, інфекції, які переростають у хронічний стан важко піддаються лікуванню за допомогою антибіотиків.

Перспективним розглядається підхід насичення протимікробного шару наночастинками срібла Ag з біологічною активністю проти широкого спектру бактерій та вірусів. Дослідження у цьому напрямку призвели до розробки двохстадійного — так званого «мокрого» методу. Який полягає в наступному: спочатку отримуються наночастиноки срібла у вигляді дисперсної системи на основі ізопропанолу та інших дисперсних середовищ. За допомогою якого, на другому етапі, шляхом пропитування, відбувалось нанесення наночастинок на поверхню перев'язочного матеріалу. На думку автора даної роботи зазначений підхід не забезпечує надійну фіксацію наночастинок, що може викликати ризики пов'язані з потенційною цитотоксичністю наночастинок. Тому, більш перспективний є інший підхід, одностадійний: безпосереднє осадження парового потоку на поверхню перев'язочного матеріалу, що забезпечить надійну фіксацію наночастинок. Таким чином, ризики пов'язані з цитотоксичністю наночастинок Ag будуть зведені до мінімуму.

Метод електронно-променевого випаровування і фізичної конденсації пари (метод EB-PVD). Він добре себе зарекомендував при виробництві твердих неорганічних композитів, матеріалів та покриттів, тому з легкістю може бути адаптований для синтезу нанорозмірних структур.

Проведені результати дослідження в роботі демонструють можливість застосування електронно-променевої технології осадження дискретних нанорозмірних покриттів срібла із середнім розміром частинок 25 нм і дисперсністю 10–120 нм на поверхні стерильних марлевих бинтів. Встановлені закономірності формування структури можуть бути основою для технічно керованого синтезу наночастинок металів на поверхні текстильних матеріалів з заданою концентрацією. Існуюче дослідно-промислове і промислове електронно-променеве обладнання може бути легко адаптоване до виробництва зазначених матеріалів. Слід особливо відзначити, що всі процеси здійснюються у вакуумі і не призводять до можливого пошкодження структури підкладки та не супроводжуються викидами шкідливих парів та газів у навколишнє середовище.

FEATURES OF PHASE FORMATION IN THE STRUCTURE OF EXPERIMENTAL LOW-COST TITANIUM ALLOYS

S. Hryhorenko, O. Berdnikova, O. Kushnarova, V. Kostin, L. Yeremeieva, Ye. Titkov, M. Ivanov, A. Kibkalo

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

Titanium alloys are widely used in various branches of modern industry. One of the promising areas at present is the development and production of low cost titanium alloys. The production of such alloys is carried out primarily for their use in the aerospace, chemical, energy, engineering, military and medical industries. The urgent task is to provide the necessary set of mechanical properties and crack resistance of titanium alloys. This in turn requires the establishment of patterns of structure formation and the establishment of structural criteria that provide these properties. An important task is to study the effect of alloying on structural-phase composition and phase-forming processes of titanium alloys. This allows us to assess the impact of these processes on the properties of the metal at the structural level.

The paper presents a study of experimental low cost titanium alloys of different alloying systems, obtained by electron beam melting: Ti–1.5Fe–0.4O (all and Ti–2.8Al–5.1Mo–4.9Fe.

Studies by X-ray diffraction analysis have shown that the low cost titanium alloy Ti–2.8Al–5.1Mo–4.9Fe is a two-phase pseudo-β alloy. It consists of beta-phase titanium (β–Ti) in the amount of 89.02 % (lattice parameters a = 2.9400, c = 4.670) and alpha-phase titanium (α-Ti) in the amount of 10.98 % a = 3.2225). Titanium alloy Ti–1.5Fe–O is a two-phase pseudo-α titanium alloy in which the share of alpha-phase (α-Ti) is 90.42 % (lattice parameters a = 2.9501 c = 4.6785) and beta-phase (β-Ti) — 9.58 % (lattice parameters a = 3.2137).

Transmission electron microscopy was used to study the phase components, their substructure and parameters, dislocation structure and features of phase formation in the studied experimental alloys. The stoichiometric composition of dispersed phase separations in the internal volumes of the alloy structure, which differ in alloying systems, was studied in detail with the help of TEM microdiffraction patterns.

Studies have shown that in the structure of the titanium alloy Ti–2.8Al–5.1Mo–4.9Fe there are dispersed intermetallic nanoparticles different in morphology and stoichiometric composition. These are the phases: Ti3Al with a size of 10–110 nm; Fe_2Ti — 10–40 nm and Mo_9Ti_4 — 20–120 nm.

Studies of the structure of the titanium alloy Ti–1.5Fe–O showed the presence of mainly nanoparticles of oxides: Ti_3O_5 size 10–80 nm and Ti_4Fe_2O, $FeTiO_5$ size 70–210 nm and intermetallics Fe_2Ti size 10–40 nm.

It is shown that the fine-plate structure of the investigated experimental low cost titanium alloys is characterized by the formation of nanoparticles of intermetallic and oxide phases with uniform dislocation density distribution.

СТРУКТУРНИЙ СТАН І ПОШКОДЖУВАНІСТЬ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ПАРОПРОВОДІВ ПІСЛЯ 280 тис. год. НАПРАЦЮВАННЯ

В.В. Дмитрик, І.В. Касьяненко

Національний Технічний Університет «Харківський Політехнічний Інститут», м. Харків

Після напрацювання зварних з'єднань паропроводів понад 280 тис. год. особливості структурно-фазових змін їх металу і пошкоджуваність набувають нових особливостей. Вихідна структура ділянки перегріву зони термічного впливу (ЗТВ) з найбільшою швидкістю, в порівнянні зі структурами інших ділянок, перетворюється у ферито-карбідну суміш. Додатково збільшується коагуляція перлітних складових на ділянці неповної перекристалізації ЗТВ. Наведені структурні перетворення набувають нових особливостей: ефект самодифузії молібдену із α-фази підсилюється, а самодифузія хрому — уповільнюється. Карбідні реакції $M_7C_3 \rightarrow M_{23}C_6$ проходять більш інтенсивно. Також більш інтенсивно утворюються нові карбіди VC і Mo_2C. Відбувається коагуляція карбідів І-ї групи, здебільшого тих, що розташовані на границях зерен α-фази. Наведені процеси приводять до зниження механічних властивостей металу зварних з'єднань, а також до його пошкоджуваності. Наприклад межа міцності $\sigma_в$ ділянки неповної перекристалізації ЗТВ зварних з'єднань зі сталі 15Х1М1Ф, стосовно їх напрацювання в умовах повзучості близько 283 тис. год., зменшується на 12–15 %, а ударна в'язкість на 10–15 %. Метал зазначеної ділянки характеризується зростаючим зменшенням опору повзучості.

Після напрацювання 280 тис. год. метал елементів паропровідного тракту пошкоджується корозійно-втомними тріщинами. Такі тріщини виникають внаслідок циклічних, або близьких до циклічних високих термічних напружень. Розвитку тріщин сприяє корозійна дія водяного середовища. Тріщини переважно утворюються на внутрішній поверхні паропроводів в зонах технологічних і конструктивних концентраторів напружень. Наприклад біля підкладних кілець, в місцях контакту елементів паропроводів різних товщин і в місцях приварювання штуцерів. Наведені тріщини розповсюджуються впродовж шва, а також впоперек шва. Зазначимо, що після 280 тис. год. напрацювання зварних з'єднань паропроводів їх пошкоджуваність за механізмом втоми підсилюється.

Таким чином дослідження структурно-фазового стану і пошкоджуваності зварних з'єднань дозволяє визначити надійність їх роботи і залишковий ресурс.

РОЗРАХУНКОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМІЧНИХ ЦИКЛІВ КОНТАКТНОГО СТИКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ОПЛАВЛЕННЯМ ЗАЛІЗНИЧНИХ ХРЕСТОВИН

І.В. Зяхор, О.В. Кавуніченко, Є.В. Антіпін, А.М. Левчук, Ю.А. Шило
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Однією з важливих частин верхньої будови залізничної колії є хрестовина, осердя якої виготовлене із зносостійкої сталі 110Г13Л, до якого приварюються рейкові закінчення із рейкової сталі через проміжну вставку із аустенітної хромонікелевої сталі. Технологічний цикл виготовлення сучасних зварних хрестовини передбачає КСЗО рейкової сталі К76Ф конверторного виробництва з проміжною вставкою із литої сталі 08Х18Н10Т (стик 1) і проміжної вставки з осердям із сталі 110Г13Л (стик 2).

Розрахунковим шляхом досліджували температурно-часові умови формування з'єднань сталь К76Ф/сталь 08Х18Н10Т/сталь 110Г13Л. За допомогою алгоритму чисельного вирішення тривимірного рівняння теплопровідності при початкових і граничних умовах відповідних до реальних умов зварювання зразків отримано термічні цикли при КСЗО сталі К76Ф із аустенітною сталлю 08Х18Н10Т і сталі 08Х18Н10Т із сталлю 110Г13Л при різній ширині проміжної вставки ($h_{вст}$ = 10–40 мм).

На основі отриманих результатів розрахунків проведено оцінку впливу процесу КСЗО на структурні зміни сталей у зоні з'єднання 1-го і 2-го стиків. Виходячи з отриманих розрахункових даних визначено діапазони зміни основних технологічних параметрів процесу КСЗО, при яких у процесі зварювання рейок із сталей К76Ф, 08Х18Н10Т та 110Г13Л забезпечується їх рівномірне нагрівання по перерізу та довжині, достатнє для виконання деформації на задану величину при осадці. Визначено термічний вплив процесу КСЗО сталей 08Х18Н10Т і 110Г13Л на зварне з'єднання із сталей К76Ф та 08Х18Н10Т (стик 1).

Отримані дані будуть використані для удосконалення технології КСЗО осердя хрестовин із сталі 110Г13Л з рейковими закінченнями із сучасних сталей конверторного виробництва через проміжну вставку із литої аустенітної хромонікелевої сталі.

СУЧАСНІ ЗВАРЮВАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ МІДІ ТА ЇЇ СПЛАВІВ РОЗРОБКИ ІЕЗ ім. Є.О. ПАТОНА

В.М. Ілюшенко, Т.Б. Майданчук, А.М. Бондаренко, Є.П. Лук'янченко, М.В. Скорина
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Завдяки особливим фізико-технічним властивостям: високій електро- і теплопровідності, високим показникам пластичності, міцності, корозійній стійкості, антифрикційним властивостям та ін., мідь та її сплави широко використовуються в різних галузях промисловості та будівництва. При виготовленні зварних деталей та конструкцій з цих металів найбільш вживаним технологічним процесом є дугове зварювання та наплавлення. Технологія дугового зварювання та наплавлення міді та її сплавів постійно удосконалюється, адже зростають вимоги до якості і службових властивостей зварних швів та наплавок. Показано, що ці вимоги можуть бути забезпечені перш за все за рахунок створення надійних зварювальних матеріалів: електродних і присадних дротів, флюсів (в т.ч. і активуючих флюс-паст), а також спеціальних покритих електродів.

Для автоматичного зварювання під флюсом міді та хромової бронзи великих (≥ 10–15 мм) товщин розроблені зварювальний дріт марки БрХТ0,6-0,5 та спеціальний плавлений флюс сухої грануляції марки АН-М13, які забезпечують необхідну металургійну якість зварних швів (відсутність пор і тріщин) та високі показники тепло- і електропровідності (≥ 85–90 % від міді). При використанні для зварювання стандартних плавлених флюсів (наприклад, АН-60), для підвищення стійкості швів проти пористості розроблено керамічний флюс-домішку марки АНК-51.

Для зварювання в захисних газах розроблені як низьколеговані зварювальні дроти суцільного перерізу (в співпраці з рядом інших організацій), так і присадні порошкові дроти. Введення в склад дроту таких ефективних розкислювачів як бор, літій, магній та ін. в незначній кількості (десяті відсотків) забезпечує необхідні зварювально-технологічні властивості дротів та високі показники електро- і теплопровідності виконаних ними з'єднань (≥ 87–95 %).

Однак у зв'язку зі складністю виготовлення дротів суцільного перерізу (плавлення в вакуумних печах, складний цикл прокатки та волочіння) більш доступним присадним матеріалом для TIG- процесу є металопорошковий дріт (ТТУ ІЕЗ).

З метою підвищення використання тепла дуги і забезпечення високої металургійної якості швів при TIG- процесі зварювання міді та її сплавів розроблені спеціальні флюси-пасти на основі галогенідів лужних та лужно-земельних металів. Показано, що застосування таких флюсів-паст розширяє технологічні можливості TIG- процесу — збільшується діапазон товщин, що зварюються за один прохід, підвищується швидкість зварювання.

Для розширення можливостей застосування технологій механізованого наплавлення ливарних бронз з метою як відновлення зношених деталей, так і виготовлення біметалевих сталь + бронза виробів розроблено ряд марок бронзових порошкових дротів, які, як правило, порівняно просто вирішують проблему отримання необхідного складу наплавленого металу, а, відповідно, і його службових властивостей.

Показано також, що розроблені спеціальні покриті електроди (марок АНЦ — для міді, АНБА та АНБО — для бронз) мають суттєві переваги зварювально-технологічних властивостей в порівнянні з існуючими електродами як вітчизняними, так і імпортними.

Розроблені в ІЕЗ ім. Є.О. Патона технології зварювання та наплавлення міді та її сплавів з застосуванням нових зварювальних матеріалів дають можливість суттєво покращити якість зварних швів та наплавок, забезпечити необхідний рівень їх службових властивостей. Приведені приклади використання сучасних зварювальних матеріалів для міді та її сплавів при виготовленні та ремонті зварних вузлів та конструкцій в електротехнічній, металургійній, хімічній та ін. галузях промисловості.

ВИЯВЛЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ДЕФЕКТІВ АВІАКОНСТРУКЦІЙ

М.Л. Казакевич[1], О.І. Семенец[2], В.М. Казакевич[1], О.О. Шестаков[2], О.О. Чирва[2]
[1]ДП КОЛОРАН ІФХ ім. Л.В. Писаржевського НАН України
[2]ДП АНТОНОВ

Головним завданням неруйнівного контролю є створення екологічно-безпечних засобів виявлення дефектів, з яких починається руйнація конструкцій. Моніторинг та своєчасне усунення причин аварійних ситуацій дає можливість знизити технічні ризики та подовжити ресурс авіаконструкцій.

Вдосконалення технічної діагностики методами неруйнівний контролю в даний час здійснює ДП КОЛОРАН та впроваджує технології на базі ДП АНТОНОВ у напрямках:

- підвищення якості дефектоскопічних матеріалів для методу проникаючих речовин, спрямоване на розширення діапазону чутливості;
- впровадження екологічно нешкідливих та корозійно безпечних матеріалів контролю;
- забезпечення ефективних засобів діагностики зварних з'єднань, лопаток турбін та пошкоджень зовнішньої поверхні літального апарату;
- експрес-діагностика виявлення місць ударів птахів чи гравію ґрунтових аеродромів;
- розробка технології неруйнівного контролю композитних матеріалів в складі електронагрівальних елементів протиобліднювальної системи літальних апаратів.

Наприклад, запропоновано методику виявлення дефектів капілярним люмінесцкетним контролем, а саме введення в штатну поліуретанову фарбу твердих частинок люмінофора «флуоресцеина» розміром 1–3 мкм. Її реалізація

включає пошкодження спеціального індикаторного матеріалу у складі фарби в результаті механічного удару. Люмінофор досягає пошкодженої поверхні та спостерігається в УФ-світлі.

Контроль якості поверхні композиційного покриття нагрівального елемента виконують візуальним методом для перевірки цілісності та рівномірності нанесення шарів матеріалів. На кінцевому етапі вже готових та підключення до електричної системи нагрівальних елементів використовують тепловий неруйнівний контроль. Він базується на реєстрації температурних полів об'єкту контролю у вигляді термограм, які представляють собою видиме зображення температурного розподілу та фіксують рівномірність нагрівання, відсутність тріщин та інші характеристики якості і робочу температуру.

Перспективним є також запропонований нами комплексний метод, який об'єднує магнітний метод та метод проникаючих речовин. Використання рідини з магнітними наночастинками та люмінесцентним пенетрантом підвищує чутливість методу проникаючих речовин в магнітному полі з причини виникнення додаткового капілярного ефекту при діагностуванні конструкцій.

ЦИФРОВИЙ ГРАФІЧНИЙ МАГНІТОМЕТР

М.М. Карманов, В.О. Шалаєв, В.М. Горбик, М.В. Лукашев
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

В Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона розроблено 10-ти канальний цифровий графічний магнітометр, який призначений для магнітної діагностики зовнішньої поверхні феромагнітних трубопроводів і судин без зняття ізолюючого покриття. Робота магнітометра заснована на реєстрації розподілених магнітних полів розсіювання від дефектів і тріщин довільної орієнтації, що виходять на поверхню об'єкта контролю.

Основним діагностичним параметром є градієнт напруженості магнітного поля розсіювання $H_p(dH/dx)$, що фіксується при скануванні датчиком Холла вздовж поверхні об'єкта, яка досліджується. Цей параметр відображає енергетичний стан поверхневих та глибинних шарів металу у зоні концентрацій механічних напруженостей металу. При цьому максимальне значення градієнта поля визначається на поверхні металу з точністю до 1 мм і відповідає координатам тріщини.

Магнітометр складається з 10-ти канального датчика–реєстратора магнітного поля та ітдикаторно-вимірювального блоку. Датчик магнітного поля (вимірювальна головка) є лінійкою з 10-ти датчиків Холла і забезпечує одночасної зняття інформації по всій її довжині при зміни напруженості магнітного поля в різних місцях досліджуваного об'єкта. Було розроблено два варіанти індикаторно-вимірювального блоку: на операційних підсилювачах та мікроконтролері.

Сигнали з датчиків Холла, пройшовши ланцюжок 10-ти ідентичних каналів підсилювачів, надходять на схему індикації. У першому варіанті рівень сигналу відображається на світлодіодному індикаторі у вигляді червоних або синіх сегментів, що спалахують, залежно від градієнта та полярності поля.

Розроблений цифровий мікроконтролерний індикатор є аналог зазначеного магнітометра з відображенням результатів контролю на рідкокристалічному індикаторі (РКІ). Для оцифрування сигналів від датчиків Холла та подальшої їх обробки використовується мікроконтролер ARDUINO MEGA 2560 з 16-канальним 10-розрядним АЦП, частота дискретизації до 10 кГц. Графік відхилень напруженості магнітного поля, отриманих від датчиків Холла, відображається на РКІ. В результаті, на РКІ отримуємо гістограму напруженості поля по лінії вимірювання вздовж вимірювальної головки у вигляді графіка відхилення від номінального значення (умовний нуль) із зазначенням перевищення допустимого рівня.

Розроблено дві версії програми. Перша, 16-канальна, з візуалізацією результатів на зовнішньому комп'ютері, і друга, 10-канальна, мікроконтролерна з візуалізацією результатів РКІ 2.4 дюйма, який встановлюється безпосередньо на плату мікроконтролера ARDUINO MEGA 2560.

АДИТИВНИЙ СИНТЕЗ ВИРОБІВ З КРЕМНІЄВОЇ БРОНЗИ ТИПУ CuSi3 MIG-CMT ТА PULSE ПРОЦЕСАМИ ДУГОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ

В.В. Квасницький, А.О. Перепічай, О.В. Прохоренко, І.М. Лагодзінський, В.В. Буріка
Національний технічний університет «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,
Навчально-науковий ІМЗ ім. Є.О. Патона, Київ

Інтенсивний розвиток WAAM технологій для 3D друку та використання спеціальних дугових процесів дозволив значно розширити номенклатуру кольорових металів, що застосовуються для виготовлення просторових виробів різноманітного призначення. Застосування таких матеріалів, як кремнієва бронза БрКМц3 (CuSi3) створює певні вимоги щодо припустимого рівня термічних напружень, які виникають під час процесу пошарового адитивного наплавлення.

Оскільки рівень напружень пов'язаний з умовами нагріву та охолодження проблему надлишкового тепловкладення можливо вирішити використанням процесів холодного металопереносу (CMT) та застосуванням імпульсно-дугового процесу (Pulse) наплавлення. Це дозволяє контролювати рівень тепловкладення і регулювати термічний цикл у досить широких межах з одночасним суттєвим зменшенням розбризкування металу.

Дослідження з адитивного синтезу за допомогою зварювального джерела Fronius TransPulse Synergic 2700 у парі зі спеціалізованим пальником PullMig CMT MHP 400i W PM при використанні CMT процесу підтвердили можливість застосування мідного сплаву CuSi3 як основного матеріалу для побудови просторових виробів. Тріщини та несплавлення на дослідних зразках відсутні. Протилежний результат отриманий при застосуванні дугового Pulse процесу на однакових швидкостях наплавлення (600 мм/хв) та подавання присадного дроту (3,5 м/хв). Незважаючи на зменшене у порівнянні з класичним процесом MIG тепловкладення, фіксується виникнення поперечних тріщин по всій довжині зразка після досягнення 20-го наплавленого шару і вище. Геометрична форма отриманих шарів, у порівнянні з CMT процесом, характеризується збільшеною шириною та зменшеною висотою сформованих валиків.

Дослідження розподілу напружень у найгірших випадках, зі змінами траєкторії формування шарів, виконані на моделі рівностороннього трикутника. Результати розрахунків вказують, що при досягненні 17–20 шарів збільшується рівень поздовжніх нормальних напружень у передостанніх наплавлених шарах. Це явище відбувається внаслідок повторного нагріву попередньо наплавлених шарів теплом електричної дуги при наплавленні наступного шару. Аналіз залежності величини та розподілу напружень від температури та часу свідчить, що нормальні поздовжні напруження досягають границі міцності матеріалу у діапазоні температур 550–490 °C, що може призводити до виникнення виявлених при дослідженнях структури металу тріщин.

Аналіз мікроструктури металу отриманих за обома технологіями наплавлення зразків вказує на формування однофазної структури α-твердого розчину складного хімічного складу. В основному, структура обох наплавлень являє собою масивні зерна з різним ступенем травлення, що відрізняються субструктурною будовою і твердістю.

Встановлено, що структура металу дослідних зразків характерна для багатошарових наплавлень. У отриманих виробах спостерігається стовбчаста структура литого металу, яка вказує на направленість кристалізації із рідкого стану, також наявна певна кількість неметалевих включень. У верхніх шарах виконаних CMT процесом зразків спостерігаються ділянки з дендритною структурою, тоді як для Pulse процесу подібна ділянка не спостерігається, однак наявна велика кількість поперечних мікротріщин по усьому перерізу шліфів. Структура останніх шарів складається із залишків структури литого металу у вигляді переривчастих смуг і світлої матриці. В обох зразках на деяких ділянках світлої матриці спостерігається субструктура у вигляді пластин з орієнтацією «кошикове плетіння». Мікротвердість зерен відрізняється на різних ділянках наплавлення та знаходиться в межах від 876–1280 МПа для CMT та 1160–1460 МПа для Pulse процесу.

CURRENT PRACTICES OF NONDESTRUCTIVE TESTING OF STEEL WELDED STRUCTURES

R. Klishch, Ye. Chvertko
E.O. Paton Institute of Materials Science and Welding of Igor Sikorsky KPI

The requirements for conformity assessment of main indicators according to the characteristics of steel and aluminum components of structures, as well as those of sets placed on the market as construction products are determined by DSTU B EN 1090 series of state standards. Conformity assessment also covers technological characteristics, typical applications, design characteristics of structures, etc.

To confirm the quality of welded structures manufactured according to the specified standards, a wide range of control methods are used, including non-destructive ones.

Non-destructive testing is a quality control method in which the product's fitness for purpose must not be spoiled and the functions established from the beginning must also be preserved.

Analysis of modern non-destructive testing methods currently used in practice in the fabrication of metal welded structures was carried out from the point of view of organizational and resource requirements for them.

Comparison of up-to-date world practices was carried out in relation to the scope of control for various types of structures, time norms for performing the actual control and drawing up required documentation (e.g. reports, testing technique descriptions, etc.). Qualification requirements and admissions of personnel directly performing testing (the so-called defectoscopists) and those with the right of responsible decision making regarding the structure's fitness for purpose are also shown.

For the main control methods, an analysis of typical applications, modern standards that regulates testing techniques and methods, general recommendations for the use of individual methods and their combination has been performed.

ОПІР РУЙНУВАННЮ ПРИ СТАТИЧНОМУ, ДИНАМІЧНОМУ ТА ЦИКЛІЧНОМУ НАВАНТАЖЕННЯХ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ 2219, ОТРИМАНИХ АДЗНЕ

В.В. Книш, І.М. Клочков, В.М. Мірянін, А.О. Гришанов, В.М. Булаш, С.І. Мотруніч
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Алюмінієві сплави, системи легування Al–Cu, що відрізняються високою питомою міцністю, стійкістю до корозійного розтріскування під напруженням, високими характеристиками циклічної тріщиностійкості і довговічності широко використовуються в надзвукових літальних апаратах та космічній техніці. Використання зварних з'єднань в конструкціях може значно знизити металомісткість виробів та покращити їх техніко-економічні характеристики. Проте отримання якісних зварних з'єднань високоміцних термічнозміцнюваних алюмінієвих сплавів ускладнюється формуванням литої структури в металі шва і розміцненням металу в зоні з'єднання, що в результаті може негативно вплинути на механічні характеристики та опір втомі. В залежності від призначення та умов експлуатації зварних конструкцій формулюються вимоги до їх експлуатаційних характеристик, тому перед проектуванням конструкції і вибором матеріалу та способу зварювання необхідно провести комплекс випробувань, що дозволить оцінити закономірності опору руйнуванню зварних з'єднань при статичному, динамічному та циклічному навантаженнях.

Проведені дослідження структурних особливостей зварних з'єднань високоміцного алюмінієвого сплаву 2219, системи легування Al–Cu, отриманих аргонодуговим зварюванням неплавким електродом (АДЗНЕ). Визначені основні механічні характеристики та ударна в'язкість основного метлу металу шва отриманих зварних з'єднань, товщиною 10 мм. Показано, що границя міцності з'єднань складає 62–67 % від відповідних значень основного металу. Досліджені характеристики статичної та циклічної тріщиностійкості основного металу та металу шва цих з'єднань. Побудовані кінетичні діаграми втомного руйнування основного металу та металу шва з'єднань. Показано, що критичні значення розмаху коефіцієнту інтенсивності напружень при руйнуванні металу шва лише на 7–10 % нижчі відповідних показників для основного металу. Експериментально отримані криві втоми для основного металу та зварних з'єднань досліджуваного сплаву при асиметрії циклу напружень 0,1. Показано, що границя обмеженої витривалості в області багатоциклової втоми 10^5–$2{\cdot}10^6$ циклів для зварних з'єднань отриманих АДЗНЕ складає близько 75 % від відповідних значень основного металу.

ОЦІНКА ЯКОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ Д16Б ОТРИМАНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ АДАПТОВАНОГО ПРОЦЕСУ АВТОМАТИЧНОГО ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ПЛАВКИМ ЕЛЕКТРОДОМ

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

На основі робіт, проведених у 60–70-х роках минулого століття, було загальновизнано, що сплав Д16 системи AL–Cu–Mg не придатний для зварювання плавленням через високу схильність до утворення кристалізаційних тріщин. У 2010 році у відділі № 7 ІЕЗ ім. Є.О. Патона проводилась робота по розробці та впровадженню технології ремонтного ручного зварювання неплавким електродом каркасів зі сплаву Д16Т. Було отримано позитивні результати — відсутність глибоких і наскрізних кристалізаційних тріщин. Це обумовлено використанням присадних дротів з відповідним хімічним складом і оптимальними режимами зварювання. Ця робота згодом дозволила створити концепцію та методику подальшого розвитку промислового технологічного процесу автоматичного зварювання плавленням конструкцій зі сплаву Д16.

Проведена розробка і модифікація обладнання, яке дозволяє здійснювати процес дугового зварювання плавленням з легуванням зварної ванни додатковим присадним дротом.

Здійснено зварювання зразків сплаву Д16 з використанням присадкових дротів різного хімічного складу на повторних режимах.

Ведуться роботи з остаточного вибору зварювальних матеріалів, оптимізації режимів та вдосконалення обладнання.

Отримані результати, зокрема відсутність кристалізаційних тріщин і міцність металу шва близька до основного металу, а також допустима кількість і форма внутрішніх дефектів дають підстави для продовження роботи в цьому напрямку.

ІНТЕРМЕТАЛІДНІ ПОКРИТТЯ СИСТЕМИ Fe–Al, ЯКІ ОТРИМАНІ МЕТОДАМИ ГАЗОТЕРМІЧНОГО НАПИЛЕННЯ

В.М. Коржик, О.М. Бурлаченко, Н.В. Вігілянська, О.П. Грищенко, М.В. Коломицев, Д.В. Строгонов, І.А. Дем'янов
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Використання сплавів на основі алюмініду заліза в якості захисних покриттів обумовлена можливістю підвищення терміну служби деталей, що працюють в умовах зношення та корозії, в тому числі при підвищеній температурі, і скороченням вартості виробів з покриттями в порівнянні з жароміцними нікелевими сплавами та високолегованими сталями, а також можливістю використання простої та недорогої технології їх напилення.

В ІЕЗ ім. Е.О.Патона розроблено технологію отримання захисних покриттів на основі інтерметалідів Fe_3Al та FeAl, що наносяться методами газотермічного напилення (аргоно-дугове плазмове, надзвукове повітряно-газове плазмове, високошвидкісне плазмово-дугове напилення, електродугове напилення). В якості матеріалів для напилення використовували композиційні порошки інтерметалідів Fe–Al, які отримані методом механохімічного синтезу суміші порошків заліза та алюмінію, та порошкові дроти, що складаються з залізної оболонки та наповнювача — порошку алюмінію.

Отримані покриття характеризуються щільною ламілярною структурою з низькою пористістю (≤ 4 %), основними фазами в яких є інтерметаліди Fe_3Al та FeAl.

Дослідження властивостей отриманих покриттів показало їх високу стійкість до окислення при температурі 700 °С та зносостійкість при газоабразивному зношенні, яка в 2 рази перевищує зносостійкість сталі марки 15Х1М1Ф. Встановлено, що плазмові покриття на основі інтерметалідів FeAl підвищують корозійну тривкість вуглецевої сталі в 10–12 у 3%-ому розчині NaCl та у 2–5 разів у 10%-ому розчині H_2SO_4.

За комплексом характеристик розроблені інтерметалідні Fe-Al-покриття можуть бути рекомендовані для практичного використання для захисту та підвищення стійкості деталей та вузлів, що працюють в умовах газоабразивного зношення та агресивних середовищах, в тому числі при температурах до 700 °С.

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПЛАЗМОВОГО-ДУГОВОГО РОЗПИЛЕННЯ ПРУТКІВ ТА ДРОТЯНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ЗВОРОТНІЙ ПОЛЯРНОСТІ

В.М. Коржик, Д.В. Строгонов, О.М. Бурлаченко, О.М. Грищенко, В.О. Щерецький
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Інтенсивний розвиток адитивних технологій 3D друку металевих виробів вимагає створення нових матеріалів у вигляді сферичних гранул і порошків із складнолегованих сплавів, тугоплавких металів та інтерметалідів з заданим гранулометричним складом і строгими вимогами до форми часток (коефіцієнту сферичності) та наявністю мінімальної кількості дефектних часток. Відповідно до цього пред›являються певні вимоги до плазмового обладнання, яке повинно забезпечувати: високу стабільність процесу та ресурс внутрішніх деталей, високу теплову ефективність, високі газодинамічні та температурні характеристики плазмового струменя (надзвукову швидкість витікання та його максимально можливу температуру).

Ряд дослідників вважає, що, серед існуючих технологій плазмової сфеpодизації, технологія плазмово-дугового розпилення на зворотній полярності забезпечує усі вищеперелічені вимоги, що сприяє отриманню високоякісних сферичних порошків і тому викликає широкий практичний інтерес та потребує проведення подальших досліджень. До цих переваг слід віднести:

можливість збільшення електричної потужності (до 200 кВт) за рахунок «витягування» дуги (від 200 до 550 В) у порожніни мідного електроду за рахунок зміни газодинамічних характеристик струменя, на відміну від плазмотронів, працюючих на прямій полярності, де збільшення електричної потужності відбувається за рахунок збільшення величини робочого току (від 400 до 1000 А) з використанням більш потужних джерел живлення, що підвищує інтенсивність ерозії сопла та електроду або використанням плзмотронів складної конструкції (водоохолоджувані МЕВ, тощо);

можливість диспергування широкої номенклатури розпилюваних матеріалів (від суцільні та порошкові дроти до прутків товщиною 50 мм та більше, тощо);

конструкція плазмотронів дозволяє формувати надзвуковий плазмовий струмінь, швидкість якого знаходиться в межах $(1,5–4,0)\cdot10^3$ м/с, що значно інтенсифікує процесу диспрегування та підвищує кількість виробленої дрібнодисперсної (<80 мкм) фракції порошку;

досягається низька швидкість ерозії електроду (0,01 нг/С при 40 кВт), який не має обмежень щодо кількості його запусків у роботу, що також значно підвищує ресурс роботи плазмового обладнання;

– тепловий к.к.д. плазмотронів з мідним порожнім електродом знаходиться на рівні 0,80–0,85 при цьому потужність, що передається виробу плазмовим потоком $P_п$ при однакових режимах роботи в 1,2–1,5 рази більше, ніж на прямій полярності, внаслідок цього підвищується ефективність процесу, це дозволяє значно зменшити кількість енергії, що витрачається на плавлення одиниці об’єму дроту.

Було проведено модернізацію плазмотрону для різання на оберненій полярності під задачі розпилення струмопровідного дроту із низьковуглецевої сталі ER70S-6 діаметром 1,6 мм, виконано його розпилення на потужності 120 кВт. З’ясовано, що в загальному випадку при плазмово-дуговій сфеpодизації струмопровідного дроту з низьковуглецевої сталі основною фракцією є фракція 25–315 мкм, яка складає 90 % від загальної маси порошку, кількість часток фракції <25 мкм та 315-630 мкм знаходиться на досить низькому рівні і не перевищує 10 %. Загалом, більшість часток має правильну сферичну форму, коефіцієнт сферичності порошків складає в середньому S = 0,80,9. В загальній масі отриманих сферичних порошків доля сателітів та поодиноких часток неправильної форми складає біля 1–2 %.

ОДЕРЖАННЯ ТОНКОЛИСТОВИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗІ СТАЛЕЙ ТА АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ ЛАЗЕРНИМ ЗВАРЮВАННЯМ ІЗ СУПУТНІМ ПЛАЗМОВИМ ПІДІГРІВОМ

В.М. Коржик[1,2], В.Ю. Хаскін[1,2], А.А. Гринюк[1], С.І. Пелешенко[1,2], Є.В. Ілляшенко[1], А.Ю. Тунік[1], А.О. Альошин[1,2]

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

[2]Китайсько-український інститут зварювання Академії наук провінції Гуандун, Гуандунська ключова лабораторія передових зварювальних технологій, Гуанчжоу, Китай

При створенні нероз'ємних тонколистових конструкцій зі сталей та алюмінієвих сплавів актуальною є задача отримання якісних швів із міцністю, максимально наближеною до міцності основного металу, при одночасній мінімізації залишкових напружень і деформацій. Одним зі способів вирішення такої задачі є застосування лазерного зварювання. Знизити втрати випромінювання і підвищити термічний ККД при цьому можна за рахунок супутнього плазмового поверхневого плавлення.

Метою даної роботи було створення технологічних основ одержання тонкостінних (до 3–6 мм) конструкцій зі сталей та алюмінієвих сплавів зі зниженими залишковими деформаціями і підвищеною міцністю з'єднань шляхом використання лазерного випромінювання за умов мінімізацією його втрат.

Для мінімізації втрат лазерного випромінювання запропоновано використання супутнього локального плазмового підігріву зони його дії. Для попереднього визначення режимів зварювання було виконано необхідні розрахунки. Експериментальна перевірка розрахункових результатів проводилася з використанням сталей AISI304, Q235 і алюмінієвих сплавів 5083, 7075 і показала прийнятну точність обчислень (15–20 %). Встановлено, що запропонований технологічний прийом дозволяє збільшити глибину проплавлення на ~30 % і більше або аналогічно збільшити швидкість зварювання.

Технологічні дослідження показали, що при лазерному зварюванні із супутнім плазмовим підігрівом площа поперечного перетину проплавлення збільшується до 30 %. Це, зокрема, пов'язано із підвищенням поглинання лазерного випромінювання. Покращення поглинання випромінювання пов'язано із відстанню між центром анодної області стисненої дуги електрода, що не плавиться, і віссю лазерного випромінювання. Ця відстань не повинна перевищувати 1,0 мм. Для встановлення повноцінного гібридного лазерно-плазмового процесу ця відстань не повинна перевищувати 0,5 мм. Порівняння залишкових деформацій зразків при лазерному і лазерно-плазмовому зварюванні показало достатньо близькі значення, що пояснюється близькими значеннями погонних енергій цих процесів. Також наявність плазмової складової сприяє мінімізації таких характерних для лазерного зварювання дефектів формування з'єднань, як наявність внутрішніх пор, і усуненню таких дефектів формування верхнього валику шва, як підрізи та гребінь.

ВИКОРИСТАННЯ ЄМНІСНИХ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ СТВОРЕННЯ АВТОНОМНИХ ЗВАРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ

О.Є. Коротинський, М.І. Скопюк, І.В. Вертецька

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

Вступ. Автономна зварювальний система АЗС — це в першу чергу вирішення завдань пов'язаних з проведенням зварювальних робіт в умовах відсутності джерел електроживлення.

Проблематика. Одна з проблем, що ускладнює роботу АЗС полягає в тому, що в момент підпалу електричної дуги споживана потужність АЗС наростає лавиноподібно. І хоча після стабілізації дуги показник потужності нормалізується на рівні свого номінального (середнього) значення, в процесі зварювання такі моменти виникають постійно. Тому джерело, що живить АЗС повинно бути здатний витримувати ці короткочасні але часті і важкі перевантаження.

Мета. Обґрунтувати технічні та технологічні рішення, які отримані в результаті досліджень використання накопичувача енергії для підвищення енергоефективності в АЗС.

Матеріали та методи. Дослідження та відпрацювання технологій використання накопичувача енергії для підвищення енергоефективності в АЗС виконувалися в межах трьохпотокової гібридної схеми живлення зварювальн-

ного процесу, побудованої на основі паливних елементів в поєднанні з накопичувачами енергії, в якості яких можуть бути використані акумулятори в поєднанні з суперконденсаторами.

Результати. Результати приведених досліджень показали, що паливні елементи в системі живлення електричної дуги повинні бути розраховані на пікову потужність навантаження, термін служби і ефективність паливних елементів зменшуються з причини того, що навантаження електричною дугою постійно змінюється; енергія паливних елементів не може бути запасена для подальшого використання в періоди перерв зварювального процесу.

Висновки. Для широкого застосування паливних елементів в АЗС необхідні: значний технологічний прогрес; зниження їх вартості; можливість ефективного використання дешевого палива. При виконанні цих умов паливні елементи зроблять електричну і механічну енергію широко доступними в усьому світі. Вважається, що комерційно виправданим АЗС на паливних елементах стане, коли вона буде відповідати чотирьом основним критеріям: зниження вартості виробленої енергії, підвищення довговічності, зменшення розмірів установки та можливість експлуатації в широкому діапазоні температур.

ДЕМПФУЮЧА ЗДАТНІСТЬ СПЛАВІВ НА ОСНОВІ СИСТЕМИ Co–Fe

О.С. Кременчутський[1], А.І. Устінов[1], В.С. Скородзієвський[2]
[1]Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ
[2]Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАНУ, Київ

Надійність і довговічність різноманітних конструкцій та механізмів, які працюють в умовах знакозмінних навантажень, визначається їх можливістю пригнічення резонансних коливань. Одним з перспективних методів досягнення цього є нанесення на поверхню виробів покриттів з різноманітних високодемпфуючих матеріалів. До таких матеріалів можна віднести сплави на основі системи Co–Fe, які окрім високих дисипативних властивостей, володіють необхідним комплексом фізико-механічних характеристик, що дозволяє застосовувати їх, наприклад, в якості покриттів для лопаток газотурбінних двигунів.

Для визначення умов отримання високого рівня демпфування покриттів на основі системи Co–Fe в роботі досліджено їх дисипативні властивості в залежності від хімічного складу та умов осадження на підкладки з титанового сплаву ВТ9 електронно-променевим методом.

Встановлено, що демпфуюча здатність покриттів на основі системи Co-Fe немонотонно залежить від співвідношення компонентів, а також температури осадження. Найвищий рівень демпфування отримали у випадку покриттів з концентрацією заліза в діапазоні 26–37 % та температурою осадження 500–600 °С.

Висунуто припущення, що механізм затухання механічних коливань пов'язаний з втратою енергії на переміщення стінок магнітних доменів при знакозмінних деформаціях феромагнітного матеріалу покриття. Ця втрата енергії визначається величиною магнітострикції та щільністю границь магнітних доменів.

СТРУКТУРА ТА БІОМЕДИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАЛЬЦІЙ-ФОСФАТНИХ МАТЕРІАЛІВ ОТРИМАНИХ ЕВ PVD

Л.А. Крушинська[1], Я.А. Стельмах[1], Р.А. Ткач[2]
[1]Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ
[2]Державне підприємство «Міжнародний центр електронно-променевих технологій ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАНУ»

Різні види кальцій-фосфатних матеріалів залежно від їхніх фізико-хімічних властивостей (елементний і фазовий склад, стехіометрія, дисперсність, морфологія структури, розчинність в залежності від pH середовища, остеокондуктивні властивості) мають різну здатність підтримувати кісткоутворення. Фізико-хімічні та біомедичні властивості таких матеріалів взаємопов'язані та перебувають у тісній залежності від способу їх отримання. Метод ЕВ PVD має низку переваг, серед яких можливість варіювати елементний склад і структуру шляхом зміни параметрів процесу конденсації.

На підставі досліджень 50 зразків, отриманих із 10 різних експериментів по випаровуванню $Ca_3(PO_4)_2$, було встановлено, що отримані конденсати мають більш низьке співвідношення Ca/P — 1,3–1,5 порівняно

зі стехіометричним — 1,67. Такі матеріали становлять практичний інтерес, оскільки належать до біорезорбційних матеріалів, ефективних для фіксації матеріалів із кісткою. Вони здатні розчинятися в середовищі організму, поповнюючи місце фіксації кальцієм і фосфором.

Конденсати, сформовані в інтервалі температури підкладки $T_п$ — 50–400 °С перебувають у рентгеноаморфному стані. Термообробка за 700° С призводить до формування кристалічної фази гідроксиапатиту. У зразках, отриманих за $T_п$ — 400–500° С, з'являються піки, відповідні $Ca_3(PO_4)_2$, кількість аморфної фази зменшується. Починаючи з $T_п$ > 500° С основною фазою є вітлокіт, присутні рефлекси, титанатів кальцію. Розмір структурних складових 30–60 нм. Відомо, що утворені в процесі осадження титанати кальцію підвищують адгезію до підкладки при формуванні (конструюванні) багатошарового композитного матеріалу або протезного виробу, а перовскіт $CaTiO_3$ має високу біорезорбцію.

Матеріали, що застосовуються в регенеративній медицині, крім біосумісності, повинні мати також біоактивність або здатність резорбуватися. Оцінку біоактивності виконували поміщенням кальцій-фосфатних конденсатів у розчин, приготований на основі сироватки крові людини. Встановлено, що Са і Р переходять в іонізовану форму, що свідчить про найефективніший механізм резорбції, при цьому концентрація іонів Са і Р у розчині продовжує безперервно зростати впродовж усього експерименту 3 діб.

АВТОМАТИЧНЕ ДУГОВЕ НАПЛАВЛЕННЯ ПРИ РЕМОНТІ ТА ВІДНОВЛЕННІ НАПРАВЛЯЮЧИХ ПЛАВУЧИХ РИМІВ ТА РОБОЧИХ ШЛЯХІВ ПІДЙОМНО-ОПУСКНИХ ВОРІТ СУДНОПЛАВНИХ ШЛЮЗІВ ВОДОЙМИЩ ДНІПРОВСЬКОГО БАСЕЙНУ

Г.В. Кузьменко, В.М. Тагановський, І.О. Гончаров
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

В процесі повномасштабного вторгнення РФ в Україну значних руйнувань зазнають судноплавні шлюзи Дніпровського басейну. Особлива складність при цьому полягає в необхідності відновлення закладних частин робочих шляхів, виконаних у вигляді литих рейок довжиною 18 м зі сталі 45Л за ГОСТ 977, що забетоновані при їх монтажі у стінки направляючих пазів під´ємно-опускних воріт і які не підлягають демонтажу.

В результаті багаторічної експлуатації на поверхнях кочення рейок робочих шляхів накопичились пошкодження у вигляді нерівномірного механічного зносу та корозійних язв, глибина яких сягала 3–5 мм. Зважаючи на те, що тріщин в основному металі закладних частин та деформацій елементів не виявлено, було прийнято рішення відновити рейки робочих шляхів автоматичним наплавленням. Ручне дугове наплавлення цих рейок в монтажних умовах малопродуктивне, не дає можливості забезпечити якісне формування і стабільну товщину висоти наплавленого шару, а також ускладнене необхідністю їх підігріву для попередження утворення тріщин.

В Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона НАНУ було розроблено технологію та спеціалізоване дослідне обладнання для автоматичного дугового наплавлення, за допомогою якого у лабораторних умовах було відпрацьовано техніку та технологію наплавлення вертикальних поверхонь у захисних газах (CO_2, суміш Ar + 21 % CO_2) суцільним дротом марки Св-08Г2С Ø1 мм. Вказане обладнання дозволяє виконувати безперервне наплавлення вертикальних ділянок розмірами до 220 мм по ширині та до 600 мм по висоті, забезпечуючи товщину наплавленого шару у межах 2,5–4 мм за один прохід. Твердість металу, наплавленого на зразок із сталі 45, забезпечується в межах 180–220 *НВ*, що знаходиться на рівні твердості основного металу. Дану розробку було використано при ремонті робочих шляхів під´ємно-опускних воріт Канівського судноплавного шлюзу.

Після обмірів робочих шляхів та їх дефектації було виконано розмітку та автоматичну зачистку шліфувальними машинками з використанням сталевих щіток ділянок рейок, що підлягають наплавленню. Апарат закріплювали на відповідній ділянці рейки та виконували її наплавлення по всій ширині (190 мм) на режимі, що забезпечує необхідні геометричні параметри наплавленого шару. Сталь 45 через досить високий вміст вуглецю вважається такою, що важко зварюється та потребує попереднього підігріву, але завдяки безперервності процесу автоматичного наплавлення забезпечується автопідігрів основного металу. Це дозволило забезпечити високу якість наплавлення без застосування попереднього підігріву. Після завершення наплавлення апарат переставляли на наступну ділянку рейки.

Розроблені технологія та обладнання вперше дозволили автоматизувати ремонт закладних частин. Такі ремонтні роботи потрібно виконувати на інших судноплавних шлюзах Дніпровського басейну, а також на інших інфраструктурних об´єктах, де є необхідність наплавлення робочих поверхонь вузлів та деталей технологічного обладнання без демонтажу, що дозволить відновити їх працездатність та подовжити терміни експлуатації.

ЕЛЕКТРОШЛАКОВЕ НАПЛАВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ З ПІДВИЩЕНИМ ОПОРОМ АБРАЗИВНОМУ ТА УДАРНО АБРАЗИВНОМУ ЗНОШУВАННЮ

Ю.М. Кусков, І.О. Рябцев, В.М. Проскудін, А.В. Нетяга
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Електрошлакове наплавлення (ЕШН) відрізняється високою продуктивністю та можливістю наплавляти без дефектів високо зносостійкі матеріали типу високо хромистих чавунів. Для реалізації технології ЕШН деталей машин і механізмів ГЗК, що швидко зношуються, були розроблені струмопідвідні кристалізатори (СПК) круглого (Ø 80, 150, 180 мм) і квадратного (200×200 і 250×250 мм) перерізу.

У якості матеріалів для наплавлення використовували дріб або електроди великого перерізу з чавуну з вмістом хрому до 30 %, який є найбільш перспективним матеріалом для відновлення та зміцнення деталей, що експлуатуються при інтенсивному абразивному та ударно абразивному зношуванні.

З використанням ТПК круглого та квадратного перерізу було розроблено технології ЕШН робочих плит щокової дробарки СМД-111. Робочі плити дробарки виготовляють із сталі 110Г13Л, термін їх експлуатації при переробці твердих порід (базальт, граніт) не перевищує 5 місяців. Було запропоновано дві технології ЕШН при виготовленні робочих плит: з наплавленням на плиту зі сталі Ст3 товщиною 30 мм локальних елементів циліндричної форми діаметром 150 мм і товщиною 10–15 мм з високо хромистого чавуну; виготовлення біметалічних армуючих елементів перетином 200×200 мм зі сталі Ст3 товщиною 15 мм + зносостійкий наплавлений шар високо хромистого чавуну товщиною 10 мм з їх наступним приварюванням у певному порядку до сталевої плити.

Випробування армованих плит щокової дробарки СМД-111 при переробці базальту показали, що після 7 місяців експлуатації знос армуючих елементів не перевищив 30 %.

Було також розроблено технологію армування біметалевими елементами робочої (нижньої) поверхні ковша навантажувача «Caterpillar» ємністю 15 м^3. Робоча поверхня ковша має овальну поверхню, тому для її армування необхідно використовувати відносно вузькі армуючи плити. Для цього біметалічні армуючи елементи розмірами 30×200×200 мм нарізали на плитки розмірами 30×90×200 мм, які приварювали до зони нижньої поверхні ковша, що зношується. Після трьох місяців експлуатації (звичайний час експлуатації ковша) завдяки захисту армуючими елементами вдалося зберегти від зношування пластини зі сталі «Hardox», що встановлюються на ковші.

Використання ТПК більшого перерізу 250×250 мм, дозволить розширити застосування армуючих елементів для відновлення та зміцнення інших деталей машин та механізмів ГЗК.

СТРУКТУРНІ ОСОБЛИВОСТІ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ ШВИДКОРІЖУЧОЇ СТАЛІ ПІСЛЯ ІМПУЛЬСНО-ПЛАЗМОВОЇ ОБРОБКИ

О.С. Кушнарьова, О.М. Берднікова, Ю.М. Тюрін, О.В. Колісниченко, Є.П. Половецький, І.І. Алексеєнко, Є.Б. Андрійчук

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

В даний час актуальною проблемою сучасної машинобудівної промисловості є збільшення ресурсу працездатності інструментів із швидкоріжучої сталі. Для вирішення цієї проблеми необхідно забезпечити в робочих поверхнях виробів структуру, яка буде сприяти як зміцненню, так й тріщиностійкості металу. У даній роботі представлено результати досліджень закономірностей формування структури та властивостей поверхневих шарів сталі Р6М5 (після попередньої термічної обробки) з подальшим застосуванням різних режимів імпульсно-плазмової обробки поверхні (ІПО). Режим № 1 — пряма дія імпульсної дуги (відстань від плазмотрону до зразка 60 мм); Режим № 2 —-непряма дія (відстань від плазмотрону — 30 мм).

На основі комплексних досліджень одержано експериментальні дані на різних структурних рівнях (від зеренного та до дислокаційного), виконано аналітичну оцінку внеску структурно-фазових складових та їх параметрів, що формуються в поверхневих шарах сталі Р6М5 при ІПО у-рівень структурного зміцнення металу.

В основному металі сталі Р6М5 структура дрібноголчастого мартенситу (об'ємна частка $V_ч$ = 70 %) з величиною зерна $D_з$ = 2,5–10 мкм і щільністю дислокацій (ρ) до 10^{11} см$^{-2}$, залишкового аустеніту ($D_з$ = 2,5–10 мкм, $V_ч$ = 20 %, ρ = 10^8–10^9 см$^{-2}$) та карбідів ($D_з$ = 0,5–20 мкм, $V_ч$ = 10 %). Інтегральна мікротвердість сталі (*HV*) до 7010МПа.

Після ІПО на поверхні зразків сталі Р6М5 (по глибині до 40 мкм) відбуваються наступні структурно-фазові зміни. На режимі №1 у поверхневих шарах зразків формується аустенітно-мартенситна структура з укрупненням (у 2–2,5 рази) структурних складових при загальному зниженні (на 20 %) *HV* порівняно з основним металом та зменшенні ρ мартенситу до 10^9–10^{10} см$^{-2}$. ІПО зразків на режимі № 2 призводить до подрібнення (в 1,5–2 рази) аустенітно-мартенситної структури (до $D_з$ = 1,5–5 мкм). Виявлено збільшення на 20 % *HV* (до 9200 МПа), а також підвищення ρ до $2\cdot10^{11}$ см$^{-2}$ в мартенситі та до $4\cdot10^9$ см$^{-2}$ в аустеніті.

Встановлено, що ІПО на режимі прямої дії імпульсної дуги (№1) призводить до знеміцнення поверхневих шарів металу. На режимі непрямої дії імпульсної дуги (№ 2) загальний рівень зміцнення підвищується до 1400–2160 МПа. Це обумовлено переважно внеском субструктурного, зеренного та дислокаційного механізмів зміцнення. ІПО на режимі 2 покращує структурно-фазовий стан поверхні і підвищує властивості міцності металу, тому є рекомендованим для обробки швидкорізальної сталі Р6М5.

РОЗРОБКА ЧИСЕЛЬНОЇ МОДЕЛІ МОДЕЛЮВАННЯ ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЛАЗЕРНОГО ЗВАРЮВАННЯ

А.В. Лабарткава[1], М.В. Матвієнко[2], О.О. Бокій[1], М.В. Лєпілова[1]

[1]Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, Миколаїв

[2]Херсонський навчально-наукового інститут Національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова, Херсон, Україна

На теперішній час широкого поширення набуло лазерне зварювання конструкцій з тонколистових матеріалів. При цьому основними вимогами до таких зварних конструкцій є висока якість зварного шва і сталість їх геометричних розмірів. Для вдосконалення технології лазерного зварювання і більш ефективного її застосування на виробництві, враховуючи високу ціну експериментальних досліджень, виникає необхідність узагальнення впливу режимів зварювання на деформації зварної конструкції методами моделювання.

Питанням математичного моделювання теплових полів при лазерному зварюванні присвячено досить велику кількість робіт. Однак, питання впливу термічних процесів, що відбуваються при дуговому зварюванні, зокрема лазерному, на залишкові деформації зварної конструкції практично не розглянути.

В роботі, за допомогою програмного комплексу ANSYS, виконувалося моделювання процесу лазерного зварювання з глибоким проплавленням при виготовленні Т-подібних з'єднань із конструкційної сталі. Моделювання виконувалася у два етапи. Перший етап — теплова задача, у якій використовується тривимірний

перехідний аналіз з урахуванням теплопровідності та конвекції для розрахунку температурного поля при зварюванні з глибоким проплавленням. Другий етап — структурна задача. При її вирішені досліджувався вплив накладення отриманих теплових полів на деформаційні процеси у зварному з'єднанні з урахуванням пружних та пластичних властивостей матеріалу, що зварюється.

Математичні моделі були перевірені та відкалібровані на основі експериментальних даних отриманих авторами на базі зварювального факультету Jiangsu University of Science and Technology. Розроблена модель може бути використана для металургійного аналізу, прогнозування мікроструктурних властивостей або розрахунку залишкових напружень у зварних з'єднаннях.

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ РЕМОНТУ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ РАКЕТ-НОСІЇВ

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

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

Для посилення міцності конструкцій ракет-носіїв з алюмінієвого сплаву АМг6М використовують перехрестя або перекриття швів нероз'ємних з'єднань. При зварюванні плавленням, яке використовується в цехових умовах виробництва таких конструкцій, підчас кристалізації рідкого металу ванни виникає небезпека утворення технологічних дефектів. Вони виникають в результаті усадки металу під час кристалізації швів. Крім того, в зоні сплавлення шва з основним металом між дендритами може з'явитися мікрорихлота, куди переміщується водень зі сплаву, що призводить до утворення та розвитку пористості в швах. Зазначене пов'язано з фізичними особливостями процесу та системою легування сплаву. Ретельна підготовка поверхонь стиків деталей і присадних дротів перед зварюванням, а також підвищення швидкості зварювання частково усувають дефекти. При цьому традиційно використовують ручне або механізоване технологію ремонту неплавким електродом. Ступінь неоднорідності структури відновленої ділянки визначається ідентичністю режимів ремонту та способу зварювання, а також кількістю підварювання при пошкодженні.

В роботі вивчали можливість відновлення пошкоджених ділянок зварних з'єднань алюмінієвого сплаву АМг6М товщиною 2 мм, отриманих гібридним способом (лазер + імпульсно-дугове зварювання плавким електродом). Як показали дослідження швів, для усунення локальних дефектів в швах, розташованих вдовж і поперек відносно напрямку прокату напівфабрикату, доцільно застосувати як ручний, так й напівавтоматичний спосіб ремонту за режимом: $I_{зв}$ = 55–58А, $U_д$ = 16–18 В, $V_{зв}$ = 20–22 м/год. Для протяжних дефектних ділянок (незалежно від орієнтації прокату основного металу) бажано використовувати автоматичне підварювання за режимом $I_{зв}$ = 60–65 А, $U_д$ = 15,7–16,9 В, $V_{зв}$ = 30–35 м/год. У випадку, коли напрямок ремонтних робіт співпадає з орієнтацією напівфабрикату, висота технологічного посилення швів скорочується на 10…15%. У разі ремонтного підварювання у поперечному напрямку відносно прокату металу розміри кореня шва зростають на 7–10 %.

Встановлено, що для ремонту зазначеного сплаву можна застосовувати серійні дроти ЗвАМг6 і ЗвАМг63. За даними металографічного аналізу макроструктури швів сплаву АМг6М ступінь впливу хімічного складу присадного дроту, який використовують, на рівень властивостей з'єднань визначаються не тільки його часткою в об'ємі шва, але й системою легування, обраного дроту. Використання ЗвАМг63 завдяки утворенню дрібної кристалічної структури швів забезпечує підвищення міцності та пластичності стикових, кутових і напусткових з'єднань. Збільшення кількості підварювання зменшує рівень механічних властивостей виробів.

СУЦІЛЬНОЗВАРНА КОНСТРУКЦІЯ БОКОВОЇ РАМИ ВІЗКА ВАНТАЖНОГО ВАГОНУ

Л.М. Лобанов, О.В. Махненко, В.І. Павловський, Г.Ю. Саприкіна, О.М. Савицька
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Тези: Аварії, пов'язані з руйнуванням литих несучих елементів візків вантажних вагонів, зокрема бокових рам, відбуваються через невиявлені дефекти ливарного виробництва. Для підвищення надійності, характеристик опору втомлюваності та живучості бокових рам двовісного трьохелементного візка було розроблено альтернативний суцільнозварний варіант конструкції. Розробка суцільнозварної конструкції бокової рами ґрунтувалась на основі широкого застосування математичного моделювання для визначення напружено-деформованого стану під дією регламентованого спектру навантажень та оцінки міцності згідно чинних стандартів та сучасних світових підходів. Дослідні зразки нової суцільнозварної конструкції бокової рами візка вантажного вагону з осьовим навантаженням 25 тс, яка є взаємозамінна за габаритами з аналогічною литою конструкцією, пройшли прискорені лабораторні випробування на втому і експериментально довели, що циклічна довговічність зразків зварних бокових рам значно (у 2–4 рази) перевищує циклічну довговічність литих деталей. Крім підвищення надійності розробленої бокової рами за рахунок забезпечення високого рівня опору втомі та живучості, зварна конструкція дає можливість забезпечити точність базового розміру бокової рами і зменшити вагу непідресорних мас, тим самим покращити ходові характеристики візка і знизити знос коліс і рейок. Важливою перевагою розробки є зниження витратності впровадження у виробництво зварних бокових рам у порівнянні з технологією ливарного виробництва, при цьому собівартість виготовлення зварної конструкції бокової рами є конкурентоспроможною з литою конструкцією.

НЕРУЙНІВНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ У ЗВАРНИХ З'ЄДНАННЯХ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ІМПУЛЬСІВ СТРУМУ ВИСОКОЇ ЩІЛЬНОСТІ ТА ШИРОГРАФІЇ

Л.М. Лобанов, В.В. Савицький, О.П. Шуткевич, К.В. Шиян, І.В. Киянець
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Запропоновано інноваційну технологію для неруйнівного визначення залишкових напружень з використанням імпульсів струму високої щільності у поєднанні з методом ширографії, яка базується на введенні у досліджуваний об'єкт імпульсу струму високої щільності для локальної релаксації напружень в околі введення імпульсу. Після цього здійснюється реєстрація деформації поверхні за допомогою ширографічної установки. Метод ширографії у порівняні з методом спекл-інтерферометрії має наступні переваги: менший час для виконання експерименту, має суттєво менші вимоги до джерела когерентного освітлення, не потребує віброзахисту.

Для створення локальної релаксації напружень у досліджуваній ділянці об'єкта використовувались розроблені в Інституті електрозварювання та в Інституті електродинаміки джерело імпульсного струму та електродна система. У джерела живлення є широкі можливості регулювання основних електричних параметрів системи, що забезпечують необхідну форму імпульсів струму. Відбиток від електроду на поверхні досліджуваного об'єкта після введення імпульсу струму має розміри у діаметрі менше ніж 0,5 мм та глибина до 10 мкм, що дозволяє вважати даний метод неруйнівним.

На зразках з алюмінієвого сплаву АМг6 проведені експериментальні дослідження, які дозволили отримати залежності деформацій, які вимірюються ширографічним приладом в зоні релаксації напружень, від одновісного напруженого стану для визначених параметрів електродної системи. На основі цих даних запропоновано підхід, який дозволить виконувати оцінку залишкових напружень у вузлах та елементах конструкцій.

ВІДНОВЛЕННЯ ЗРУЙНОВАНИХ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ ТА ДЕТАЛЕЙ МАШИН МЕТОДАМИ ОДНОПРОХІДНОГО ЗВАРЮВАННЯ І НАПЛАВЛЕННЯ З ПРИМУСОВИМ ФОРМУВАННЯМ ШВА

Т.Б. Майданчук[1], С.А. Рєзнік[1], І.І. Личко[1], С.М. Козулін[1], В.Г. Тюкалов[1], С.Ю. Мариненко[2]

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

[2]Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя

Відновлення за допомогою зварювання та наплавлення деталей машин та металоконструкцій, що вийшли з ладу в результаті поломки або зносу, є потужним резервом економії часу, матеріальних та енергетичних ресурсів.

Економічна ефективність ремонтних робіт забезпечується тим, що для відновлення працездатності зношених деталей потрібно у 5–8 разів менше технологічних операцій у порівнянні з виготовленням нових деталей.

Застосування ремонтних технологій з використанням зварювальних процесів дозволяє продовжити ресурс експлуатації багатьох деталей машин, зокрема імпортного виробництва.

В ІЕЗ ім. Є.О. Патона розроблено компактні зварювальні апарати АД348, АШ115М2, АШП113М та реалізовано у промисловому виробництві ряд технологічних процесів, що забезпечують ефективне відновлення зношених та поломаних деталей машин, що експлуатуються в цементній, вугільній, гірничодобувній, будівельній та інших галузях промисловості.

Є приклади зварювання прольотних будов мостів, опорних кілець конверторів, будівельних колон висотної будівлі, відновлення великомодульних вал-шестерень приводу платформи крокуючого екскаватора з використанням методів високопродуктивного дугового зварювання з примусовим формуванням шва, електрошлакового зварювання та наплавлення.

Обладнання та технології можуть бути використані для відновлення різних об’єктів інфраструктури, таких як циліндричні та сферичні резервуари, газгольдери, кожухи доменних печей та їх повітронагрівачі, обичайки випалювальних печей та сировинних млинів товщиною 8–160 мм, зношені або зламані великі деталі машин.

Для оперативного вирішення завдань по відновленню вищезазначених об’єктів доцільно на базі спеціалізованого автотранспорту організувати мобільні ділянки ремонту, що дозволить виконувати реставрацію дефектних металоконструкцій на місці їх експлуатації.

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЗВАРНИХ З’ЄДНАНЬ, ВИКОНАНИХ ПІД ВОДОЮ, ЗА РАХУНОК ЗОВНІШНЬОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВПЛИВУ

С.Ю. Максимов, О.М. Берднікова, О.О. Прилипко, Т.О. Алексеєнко

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

Процес зварювання сучасних підводних металоконструкцій відповідального призначення вимагає розробки нових технологій. Вони повинні забезпечувати отримання зварних з’єднань, які за рівнем властивостей не поступаються виконаним на суші, або незначно відрізнятися від них. Відомо, що фізико-хімічні та металургійні процеси при зварюванні під водою протікають у важких, екстремальних умовах, які зумовлюють складність вирішення технологічних завдань. Зміна умов зварювання істотно змінює структуру та механічні властивості зварного з’єднання. Процес зварювання супроводжується інтенсивним термодеформаційним впливом на метал. При чому умови кристалізації шва, високо- та низькотемпературна пластична деформація, значна хімічна неоднорідність металу чинять значний вплив на утворення та перерозподіл дефектів кристалічної будови у шві та зоні термічного впливу.

Для вирішення вказаної проблеми перспективним є використання зовнішнього електромагнітного впливу (ЗЕВ), що підтверджено попередніми дослідженнями як при зварюванні на повітрі, так і під водою. ЗЕВ чинить комплексний вплив на процеси, що протікають у зварювальній ванні, на всіх стадіях процесу криста-

лізації рідкого металу. При накладенні ЗЕВ змінюється дислокаційна структура металу у зварному з'єднанні за рахунок перерозподілу дислокацій, спостерігається диспергування структури при загальному зниженні густини дислокацій в об'ємі структурних складових, що забезпечує зниження рівня локальних внутрішніх напружень та тріщиностійкість металу. Керування рухом рідкого металу здійснюють шляхом вибору параметрів ЗЕВ, змінюючи умови динамічної рівноваги ванни і, як наслідок, формування шва.

Оскільки експериментальну перевірку всіх можливих варіантів поєднань технологічних режимів в умовах водного середовища здійснити дуже складно та досить трудомістко, доцільно використати механізм математичного моделювання. Розроблені математичні моделі ЗЕВ на рідкий метал при підводному дуговому зварюванні дозволили врахувати вплив як первинних факторів, а саме струм і напругу в зварювальному ланцюзі та індукторі, властивості матеріалів та умови протікання процесу, так і вторинних факторів – вихрових струмів і, як наслідок, створеного ними поля.

Для реалізації ЗЕВ під водою запропоновано конструювати спеціалізовані пристрої введення поля у зварювальну ванну. Головною розрахунковою характеристикою устаткування, що розробляється, є електродинамічні зусилля, що виникають в рідкометалевій ванні, з урахуванням фізики процесу зварювання під водою.

ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНЕ ПАЯННЯ ТОНКОСТІННИХ НЕЙТРОННИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ КАНАЛІВ

С.В. Максимова, В.В. Воронов, П.В. Ковальчук

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

Гермопроходи являють собою конструктивні елементи, які забезпечують повний двосторонній розподіл специфічних середовищ і застосовуються в різних галузях промисловості для забезпечення захисту об'єктів при затопленнях, в тунелях метро, для моніторингу пожежної безпеки. При застосуванні в атомній енергетиці вони запобігають витоку радіації і виконують функцію протипожежних мір в випадку проектної і запроектної аварії.

Одним з видів гермопроходів є канал нейтронний вимірювальний (КНВ), який відноситься до одного з основних елементів системи внутрішнього реакторного контролю (СВРК) реакторів типу ВВЕР і призначений для моніторингу густини нейтронного потоку за площею і висотою активної зони реактора.

До складу КНВ входять циліндрична (герметична) оболонка з корозійностійкої сталі (12Х18Н10Т), в якій у строго визначених місцях розташовані сім детекторів прямого заряду (тонкостінних багатошарових діаметром 0,95 мм) і один — в центральній зоні, які завдяки родієвому емітеру слугують детекторами густини нейтронного потоку. Оболонка каналу нейтронного вимірювального виконує функцію роздільника середовищ між теплоносієм всередині реактора і детекторами прямого заряду. Поєднання даних елементів в готовому виробі потребує одночасного циклу нагріву конструкції, отримання якісних бездефектних швів. При виготовленні такої конструкції найбільш перспективним методом є високотемпературне паяння, що може забезпечити цілісність тонкостінних каналів, повну їх герметизацію без розплавлення основного металу, збереження геометричних параметрів виробу та вихідної структури основного металу за умови правильного вибору температурного режиму процесу паяння і хімічного складу припою.

В даній роботі представлені результати досліджень з високотемпературного паяння каналу нейтронного вимірювального. Показано особливості змочування основного металу, формування паяних з'єднань, вплив діаметру тонкостінних каналів на величину капілярного зазору та структуру паяних швів.

ОРГАНІЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА АПАРАТІВ ДЛЯ ВЧ ЗВАРЮВАННЯ ТА ОБРОБКИ ЖИВИХ ТКАНИН В УМОВАХ ІНСТИТУТУ ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАННЯ ім. Є.О. ПАТОНА НАН УКРАЇНИ

Г.С. Маринський[1], В.А. Ткаченко[1], В.О. Бисько[1], С.Є. Подпрятов[1,2], С.Д. Грабовський[1], С.В. Ткаченко[1], Г.В. Жук[3], В.М. Коржик[1,4], І.Ю. Худецький[1]

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

[2]Київська міська клінічна лікарня № 1, Київ

[3]ДКТБ Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

[4]ТОВ НВЦ «ПЛАЗЕР», Київ

ОСОБЛИВОСТІ ДИФУЗІЙНОГО ЗВАРЮВАННЯ КОМПОЗИТУ SICp-AMг5 ЧЕРЕЗ ПРОМІЖНІ БАГАТОШАРОВІ ПРОШАРКИ Al–Si ТА Al–Cu

Т.В. Мельниченко, Л.В. Петрушинець, А.І. Устінов, Ю.В. Фальченко

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

Алюмоматричні композити є перспективними для використання в аерокосмічній галузі завдяки низькій питомій вазі та високій міцності. Однак, їх широке застосування стримується складністю отримання з'єднань конструкційних елементів виробів. Отримання з'єднань традиційними методами зварювання та паяння супроводжується значним та довготривалим термічним навантаженням на матеріал, що сприяє інтенсивній дифузії компонентів композиту та призводить до деградації структурних і механічних характеристик основного матеріалу та з'єднання. Прискорити процес отримання з'єднання та зменшити термічне навантаження на матеріал дозволяє використання проміжного багатошарового прошарку, отриманого методом вакуумного осадження парових фаз компонентів, що складається з шарів реакційних компонентів або компонентів систем з евтектикою. При нагріванні багатошарового прошарку відбуваються фазові та структурні перетворення, які забезпечують його низькотемпературну пластичну деформацію при термомеханічному навантаженні, що сприяє встановленню фізичного контакту між поверхнями, що з'єднуються, та інтенсивному масоперенесенню компонентів в стику.

В роботі на прикладі алюмоматричного композиту SiCp-AMг5 досліджено закономірності формування структури з'єднання при дифузійному зварюванні тиском через багатошарові проміжні прошарки на основі систем алюмінію з евтектикою Al–Si та Al–Cu, отримані методом електронно-променевого осадження в вакуумі. Показано, що проміжні багатошарові прошарки евтектичного складу забезпечують отримання нероз'ємних з'єднань без деградації властивостей основного матеріалу при температурі 500 °C, яка відповідає початку інтенсивної пластичної деформації прошарку під дією тиску. Встановлено, що структура з'єднання та хімічний склад ділянки стику визначається характером дифузійної взаємодії компонентів проміжного прошарку і композиту та фазовим складом евтектики. Умови, що запобігають формуванню бар'єрних шарів на границі прошарок/композит, а саме легування прошарку або формування в прошарку частинок інтерметаліду до початку процесу зварювання, сприяють інтенсивному масоперенесенню компонентів прошарку та композиту, що забезпечує однорідність структури та мікротвердості з'єднання. Запропоновано механізми формування з'єднання композиту SiCp-AMг5 через багатошарові проміжні прошарки на основі систем алюмінію з евтектикою різного типу — простої, що складається з компонентів системи (на прикладі Al–Si) та такої, що містить інтерметалід на основі компонентів (на прикладі Al–Cu).

ВПЛИВ ПРОМІЖНОГО БАГАТОШАРОВОГО ПРОШАРКУ ЕВТЕКТИЧНОГО СКЛАДУ НА ФОРМУВАННЯ З'ЄДНАННЯ ТИТАНОВОГО СПЛАВУ Ti6-4

Т.В. Мельниченко, А.І. Устінов, А.Ю. Клепко
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Титановий сплав Ti-6-4 завдяки низькій питомій вазі, високій міцності та корозійній стійкості є найбільш перспективним для використання в авіаційній промисловості при виготовленні двигуна, фюзеляжу, корпусу літака. Однак, отримання виробів складної форми та з тонкими стінками ускладнене відсутністю надійної технології з'єднання їх окремих елементів, оскільки зварювання та паяння традиційними методами супроводжується структурними перетвореннями та ростом зерна в сплаві Ti6-4, що призводить до зниження міцності та пластичності і залишковим деформаціям в з'єднанні. З цієї точки зору перспективним є метод дифузійного з'єднання в вакуумі через проміжний багатошаровий прошарок, який складається з шарів компонентів евтектичних систем. Такий підхід забезпечує умови з'єднання, подібні до паяння з використанням високотемпературного припою, та, завдяки прискоренню дифузійних процесів в стику за рахунок інтенсивних фазово-структурних перетворень в багатошаровому прошарку при нагріванні, дозволяє знизити рівень термічного впливу на основний метал та зону з'єднання.

Досліджено вплив багатошарових прошарків евтектичного складу на основі систем Ti–Cu, Ti–Ni, Ti–Ni–Cu, отриманих методом електронно-променевого осадження в вакуумі у вигляді фольги, на формування структури та механічних властивостей з'єднання сплаву Ti6-4 при дифузійному паянні. Встановлено, що при нагріванні в багатошаровій фользі відбуваються фазово-структурні перетворення з формуванням метастабільних прошарків легкотопкої евтектики, що сприяє формуванню в фользі рідкої фази при температурах значно нижчих температури плавлення рівноважної евтектики. Утворення в стику метастабільної рідкої фази при температурі ~900 °С забезпечує змочування поверхонь, що з'єднуються, а фазові та структурні перетворення в проміжному прошарку сприяють дифузійному перемішуванню компонентів сплаву та прошарку, що забезпечує формування рівноміцного з'єднання при температурі 920 °С та зусиллі стискання 70 кПа. Визначено, що формування з'єднання з міцністю >0,9 від міцності сплаву Ti6-4 забезпечується вмістом інтерметалідоутворюючого компонента (міді або нікелю) в стику <5 ат. % та рівномірним розподілом дисперсних частинок інтерметаліду в дифузійній зоні.

НОВІ АНАЛІТИЧНІ ФОРМУЛИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ КОНЦЕНТРАЦІЇ НАПРУЖЕНЬ З УРАХУВАННЯМ НЕСПІВПАДІННЯ ОСЕЙ СИМЕТРІЇ ЛИЦЬОВОГО ПІДСИЛЕННЯ ТА КОРЕНЯ ШВА СТИКОВОГО ЗВАРНОГО З'ЄДНАННЯ

А.В. Молтасов, В.І. Кир'ян, М.Г. Мальгін, В.Г. Кот, А.А. Кадишев
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Геометричні розміри та форма шва, які визначають гостроту концентратора та характер розподілу місцевих напружень, чинять суттєвий вплив на показники статичної та втомної міцності стикових з'єднань, отриманих зварюванням плавленням. В тонколистових з'єднаннях, для яких висота підсилення сумірна з товщиною зварюваних пластин, максимальне напруження, здебільшого, діє на лінії сплавлення кореня шва з основним металом. Наявні на сьогоднішній день аналітичні залежності для визначення коефіцієнту концентрації напружень (ККН) в околі кореня шва були отримані за припущення про те, що осі симетрії лицьового підсилення та кореня шва співпадають. Однак часто ці осі паралельно зміщенні одна відносно іншої. Тому на сьогоднішній день розробка методу розрахунку напружень, який буде враховувати відстань між осями симетрії лицьового підсилення та кореня стикового зварного шва, є актуальною задачею в області конструкційної міцності зварних з'єднань і конструкцій.

На базі гіпотези ламаних перерізів були встановлені функціональні залежності для визначення сумарних напружень від осьового навантаження та згинального моменту на контурі зон переходу від кореня шва до основного металу стикового зварного з'єднання, осі симетрії лицьового підсилення та кореня шва якого не

співпадають. Отримані математичні формули для визначення ККН, які включають відстань між осями симетрії лицьового підсилення та кореня шва.

Для стикового зварного з'єднання алюмінієвого сплаву АМг6 товщиною 1,5 мм, виконаного імпульсно-дуговим зварюванням плавким електродом в інертних газах, були розраховані напруження за формулами запропонованого методу та чисельним методом скінченних елементів. В результаті було встановлено, що якісно закономірності розподілу напружень та місцезнаходження небезпечної точки співпадають, а величина максимального напруження відрізняється менше ніж на 10 %.

НОРМУВАННЯ ПОВЕРХНЕВИХ НЕСУЦІЛЬНОСТЕЙ З ВЛАСТИВОСТЯМИ АБСОЛЮТНО ЧОРНОГО ТІЛА ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІЦНОСТІ ЗВАРНИХ ШВІВ

В.В. Несін

Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України, Київ

Властивості гладких металевих поверхонь відбивати світло видимого діапазону застосовується людством з часів оволодіння технологіями виготовлення бронзових люстерок. Кулеподібна внутрішня дзеркальна металева поверхня з незначним, порівняно з діаметром самої сфери отвором на поверхні певного металевого фрагменту є прикладом моделі абсолютно чорного тіла для електромагнітного випромінювання видимого діапазону. В зварних з'єднаннях пори не завжди мають ідеальну сферичну форму. За співвідношенням максимальної довжини (умовний розмір а) до величини максимального перерізу (умовний розмір в) порожнини в швах класифікуються як видовжені пори або ж як довгі порожнини. При співвідношенні $1 \leq (a/в) \leq 2$ — відхилення суцільності металу шва називають порою ($(a/в) \approx 1$), або видовженою порою ($1 < (a/в) \leq 2$). При співвідношенні $(a/в) > 2$ несуцільність металу чи сплаву вважають довгою порожниною.

Внутрішні пори є замкненими порожнинами в металі і під описану схему абсолютно чорного тіла щодо випромінювання видимого діапазону не підпадають. Пори, що утворилися на поверхнях швів при виході порції розпечених газів з рідкої зварювальної ванни при твердінні металу шва мають три варіанти утвореної форми.

Перший найпоширеніший варіант являє собою поверхневе заглиблення напівсферичного виду. Характеризується діаметром фіксації (d_f), який дорівнює фактичному діаметру пори. Глибина заглиблення (h) наближено рівна половині фактичного діаметра пори ($h \approx 0{,}5d$).

Доволі поширений другий варіант являє собою поверхневе заглиблення на поверхні від сферичного тіла, що, так би мовити, вислизнуло з розплавленої металевої ванни, залишивши округлий поверхневий слід. При цьому діаметр фіксації менший за фактичний діаметр пори ($d_f < d$), що утворила слід на поверхні шва. Глибина такої пори менша за половину фактичного діаметру пори, що утворила поверхневий слід ($h < 0{,}5d$).

Третій можливий, але не такий поширений як перші два варіант поверхневої пори, являє собою поверхневе заглиблення, в якому видимий діаметр фіксації суттєво менший за фактичний діаметр сфери. Глибина пори більша за половину діаметра, але менша за її діаметр ($0{,}5d < h < d$). Цей третій варіант поверхневої пори зварного шва і є моделлю абсолютно чорного тіла для електромагнітного випромінювання видимого діапазону. Максимально властивості виявляються при мінімальному розмірі діаметру фіксації, який значно менший за фактичний діаметр пори ($d >> d_f$). Візуально така пора сприймається точковим забрудненням поверхні.

Виявлення при огляді, ідентифікація поверхневої пори, визначення її розмірного показника (в нашому випадку діаметру фіксації d_f) та визначення його допустимості здійснюється відповідно до процедур візуально-оптичного методу неруйнівного контролю якості. Оцінка поверхневої пори за діаметром фіксації цілком виправдана для першого з описаних варіантів. Застосування такої оцінки для другого з описаних варіантів пори матиме надмірний коефіцієнт запасу міцності. Для третього описаного варіанту поверхневої пори діаметр фіксації буде некоректним, таким, що не враховує ризики можливого руйнування зварної конструкції під дією навантаження через зменшення робочого перерізу матеріалу, який фактично не враховується розмірним показником дефекту.

Міжнародний стандарт ISO 6520-1 визначає лише один неконкретизований варіант поверхневої пори зварного з'єднання під номером 2017. Пропонується конкретизувати третій з описаних варіантів поверхневої

пори в міжнародних стандартах серії ISO 6520 окремим дефектом або варіантом дефекту 2017, скажімо 2017-1. Пропонується, також, визначити окрему процедуру нормування дефекту 2017-1 в стандартах типу ISO 5817 та ISO 10042.

КОРОЗІЙНО-МЕХАНІЧНА МІЦНІСТЬ ПРИ КАТОДНОМУ ЗАХИСТІ МЕТАЛУ ТРУБ ТРИВАЛОЕКСПЛУАТОВАНОГО МАГІСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДУ

Л. Ниркова, С. Осадчук, Ю. Харченко, Л. Гончаренко, А. Клименко
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Корозійно-механічну міцність при катодному захисті у модельному грунтовому електроліті NS4 дослідили в лабораторних умовах для основного металу труб експлуатованого упродовж 40 років магістрального газопроводу зі сталі Х70 та аварійного запасу після зберігання упродовж такого самого періоду.

Встановлено зміну показників максимального навантаження у розчині, відносного подовження, відносного звуження та розрахованого на його основі коефіцієнту схильності до корозійного розтріскування K_S (який обчислювали, як відношення відносного звуження зразків у повітрі $\psi_п$ до відносного звуження у розчині $\psi_р$).

Встановили, що для металу тривалоексплуатованої труби під час корозійно-механічних випробувань властивий більш високий рівень максимального навантаження, ніж для зразків труби запасу, який, наприклад, за максимального захисного потенціалу –1,05 В, становив 581 та 511 МПа, відповідно.

Під час корозійно-механічного розтріскування в діапазоні захисних потенціалів (від –0,75 В до –1,05 В (відносно хлоридсрібного електроду порівняння), що відповідає потенціалам –0,85 В та –1,15 В (відносно мідносульфатного електроду згідно з ДСТУ 4219) відносне подовження зразків змінюється для досліджуваних труб по-різному, а саме: для експлуатованої труби зменшується від 17,1 до 14,8 %; для труби запасу змінюється в межах похибки вимірювань від 22,3 до 22,7 %. Встановлено, що в нормованому діапазоні захисних потенціалів в модельному ґрунтовому електроліті NS4, коефіцієнт схильності до корозійного розтріскування K_S для експлуатованої труби зростає від 1,28 до 2,44, для труби запасу K_S — від 1,0 до 1,5. Ступінь електролітичного наводнювання металу тривалоексплуатованої труби, оцінена методом Деванатхана–Стахурського, зростає із зміщенням потенціалу від мінімального захисного до максимального, відповідно від 0 до 0,024 моль/м^3.

Тенденція до підвищення схильності до корозійного розтріскування при зміщенні потенціалу до максимального захисного для експлуатованої труби та труби запасу однакова. Але визначені значення K_S більші для експлуатованої труби, що вказує на окрихчення сталі при тривалій дії зовнішньої катодної поляризації.

Таким чином, зростання схильності до корозійного розтріскування за максимального захисного потенціалу обумовлено участю водневого чинника у механізмі руйнування.

АСПЕКТИ КОРОЗІЇ ЕМАЛЬОВАНИХ ТРУБ У ВОДІ

С. Осадчук, Л. Ниркова, Л. Гончаренко
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Для захисту від внутрішньої корозії труб водопостачання рекомендується застосовувати силікатноемалеві покриви. Покрив є стійким до води, проте є не стійким проти удару через утворення мікротріщин і відколів, які сприяють доступу вологи та повітря до металу, внаслідок чого і починається корозія. Незважаючи на те, що силіктноемалевий покрив збільшує термін служби труби в 5–10 разів, іноді трапляються випадки пошкодження труб з цим покривом.

Досліджено пошкоджену під час експлуатації в системі холодного водопостачання громадської будівлі впродовж 5 років трубу зі сталі Ст1кп ферито-перлітного типу, діаметром 108 мм та товщиною стінки 4 мм, з внутрішнім силікатноемалевим покривом.

За результатами візуального огляду виявлено, що труба електрозварна та корозійні ураження у вигляді щілин утворилися після пошкодження захисного покриву на електрозварному шві.

Визначені фізико-механічні та захисні показники властивостей внутрішнього силікатноемалевого покриву труби після експлуатації такі: товщина покриву становить 0,223 мм, що відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.5-30 (товщина одного шару покриву не менше 0,2 мм). Однак міцність під час удару експлуатованої труби не відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.5-30 [1] (менше ніж 2,0 Дж). Низький перехідний питомий електричний опір на поверхні з електрозварним швом (1,5 Ом·м^2) вказує на відсутність його захисної властивості порівняно з цим показником на основному металі (907 Ом·м^2), що відповідає вимогам ТУ 1390-001-01297858 — не менше 500 Ом·м^2.

Металографічні дослідження показали, що причиною руйнування зразка труби є дефекти несплавлення кромок листа під час виготовлення. Ідентифіковано вид корозії – щілинна в місцях несплавлення кромок труби, що розвилася з внутрішньої поверхні. Механізм щілинної корозії характеризується, зокрема, зниженням pH до ~3,5 в щілині, яка є анодом, що локально прискорює корозійні процеси. Отже, за 5 років експлуатації, швидкість щілинної корозії становила 0,8 мм/рік та супроводжувалася утворенням наскрізних уражень, а корозійна тривкість в щілині, оцінена згідно з ГОСТ 9.502, «понижена» (від 0,5 до 1,0 мм/рік).

Таким чином, корозійна тривкість дослідженої емальованої труби визначається якістю виконання електрозварного з'єднання.

МІКРОСТРУКТУРА ЗЛИВКІВ КРЕМНІЮ, ОТРИМАНИХ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВИМ РАФІНУВАННЯМ МЕТАЛУРГІЙНОГО КРЕМНІЮ

В.О. Осокін, Я.А. Стельмах, Ю.А. Курапов, В.В. Борецький
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Дослідження можливостей використання електронно-променевого переплаву виконувалось з застосуванням вакуумного і окисного рафінування вихідного металургійного кремнію від, відповідно, домішок з високим та низьким парціальним тиском відносно кремнію.

Технологічно рафінування металургійного кремнію виконували при постійній потужності електронного променю, при порційній подачі розплавленого матеріалу до водоохолоджуваного тигля та витримкою в рідкому стані. Кристалізацію зливка виконували повільно з направленням об'ємного розширення Si до поверхні кристалізації.

Аналіз хімічного складу отриманих зливків підтверджує високу ефективність вакуумного рафінування домішок Cr, Al, Mg, Ca, Ti, N та можливість окисного рафінування домішок B та P.

Структура отриманих зливків є переважно стовпчастою, орієнтованою перпендикулярно до поверхні кристалізації, не залежить від виду рафінування, а визначається теплофізичними умовами їх твердження Розмір стовбчастих кристалітів по перерізу складає 0,2–0,5 мм, по довжині від 1–2 мм. Оже-спектроскопія поверхні границі та тіла зерна підтверджує, що сегрегація домішок на межах зерен в процесі кристалізації зливка при вакуумному та окисному рафінуванні відсутня.

В отриманих зливках відзначається присутність включень, що розташовані хаотично, переважно в середині зерен кремнію. Їх середній розмір складає 50 мкм для вакуумного рафінування та 80–120 мкм для окисного. Більшість включень являють собою автономні одноелементні фази залишкових домішкових елементів та малокомпонентні мікровключення зі співвідношенням елементів хімічного складу, подібних до вихідного металургійного кремнію.

КЕРУВАННЯ ВВЕДЕННЯМ ЗМІЦНЮВАЧІВ ПРИ ДУГОВОМУ НАПЛАВЛЕННІ

В.В. Перемітько, А.В. Євдокимов
Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське

З економічних та й технічних міркувань введення зміцнювачів (карбідів або карбідоутворювачів, наприклад) до металу, що наплавляється, повинне бути заощадливим. Це реалізується, зокрема, шляхом місцевого їх подавання на ті ділянки, яки потребують найбільшої опірності зносу або сприймають найвищий рівень навантаження. Для цього, крім банальної заміни наплавних матеріалів, можливе локальне попереднє нанесення додаткових компонентів. З точки зору збереження від вигоряння цінних зміцнювачів складає інтерес також їх введення у складі порошкових стрічок або дротів з буферним покриттям дисперсних частинок. Беручи до уваги швидкоплинність процесів у металевій ванні при дуговому наплавленні, було запропоновано наносити на поверхню частинок карбідоутворювачів шар пластика, зокрема фторопласту. У такий спосіб до шихти порошкової стрічки, за рецептурою наближеної до ПЛАН- Т 201, вносився ферохром.

Аналіз структури наплавленого оригінальною стрічкою шару металу виявив відмінність у формі, кількості та розподілі карбідів, у тому числі вторинних, а також підвищення вмісту вуглецю (на 0,5–0,8 %). Фіксується збільшення – у порівнянні з традиційною формою внесення — частинок карбідів у верхній частині сформованих шарів. Це розглядається як позитивний факт, що сприятиме опірності металу до зношування. Запропоновані оптимальний термічний цикл наплавлення, який буде забезпечувати максимальне збереження фунціональних компонентів шихти у складі наплавного матеріалу.

Розроблена стрічка пропонується до використання при відновленні деталей тягодуттьових пристроїв та інших деталей машин, що піддаються інтенсивному зношуванню за різними схемами.

ДОСВІД ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ В УМОВАХ БОЙОВИХ ДІЙ

А. Піддубченко[1,2], Ю. Лисенко[2,3], С. Глабець[2], Ю. Посипайко[4], О. Павлій[2]
[1]Збройні сили України , Київ
[2]НВФ «Діагностичні прилади» , Київ
[3]Національний технічний університет «КПІ ім. Ігоря Сікорського», Київ
[4]Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

У зв'язку з початком повномасштабних бойових дій на території України гостро виникла необхідність проведення швидкої експрес діагностики військової техніки. При цьому польові умови, відсутність постійного енергопостачання та недоступність спеціального обладнання діагностики накладають певні вимоги до підбору та використання давно відомих та добре розвинених методів неруйнівного контролю (НК). До найбільш раціональних методів НК в умовах, що склалися, відносять: метод проникаючих речовин (капілярний і контроль герметичності) і магнітопорошковий, які ефективні для виявлення дефектів зварних з'єднань і основного металу. Відомо, що найбільш часто виникають завдання контролю паливних баків на наявність течей і подальшого їх усунення. Крім того, необхідно виявляти дефекти та тріщини несучих рам бойових машин, кузовних деталей та інших металоконструкцій як при експлуатаційному зносі, так і після пошкоджень внаслідок бойових дій. Для подальшого ремонту та усунення пошкоджень також потрібне уточнення їх протяжності.

Капілярний контроль дозволяє виявити поверхневі та наскрізні дефекти. За розташуванням, протяжністю та формою індикаторних слідів можна судити про характер дефекту та причини його виникнення. Класичний процес контролю описаний у серії стандартів ДСТУ EN ISO 3452, частини 1–6.

Практичний досвід показав, що в польових умовах найбільш зручним до застосування є контрастний безводний процес із застосуванням кольороконтрастного або люмінесцентного пенетранту, очищувача та проявника на основі сольвентів (наприклад, сімейство матеріалів MR Chemie — MR -68C, MR-88, MR-70. Однак при аерозольному розпиленні покривається надмірна область контрольованого виробу. У багатьох випадках доцільним є застосування пенетранту у вигляді піни, наприклад MR-67PS, що дозволяє регульовано наносити пенетрант на контрольовану ділянку без забруднення інших зон виробу.

Для виявлення наскрізних дефектів (наприклад, течей паливних баків, резервуарів тощо) часто достатньо застосування пузиркового методу, використовуючи повітряні компресори, вакуумні насоси та накладні вакуумні камери. Іншим простим методом контролю герметичності є капілярний. При цьому проявник наноситься на хорошо видиму сторону контрольованого виробу, а пенетрант — на протилежну

При магнітопорошковому контролі може бути використаний аерозольний комплект з магнітної суспензії та фарби для ґрунтування для отримання контрастних індикацій.

Для намагнічування виробів застосовуються дефектоскопи, що створюють магнітне поле необхідної напруженості. Випускаються моделі дефектоскопів на постійних магнітах або з автономним живленням. В умовах слабкого освітлення або проведення робіт у темний час доби, рекомендується використання флуоресцентних магнітних суспензій (MR-76F), а також ультрафіолетового опромінювача з автономним живленням (наприклад MR-96D).

Застосування магнітопорошкового контролю можливе на феромагнітних матеріалах та характеризується високою швидкістю робіт та невеликою трудомісткістю. Методики проведення контролю регламентована серією стандартів ДСТУ EN ISO 9934.

Надалі ремонт та ліквідація теч, що виникли через дефект у зварювальному з'єднанні, виконується зварюванням, паянням, нанесенням герметика або клейких стрічок. Діагностування деталей та вузлів дозволяє прогнозувати їх залишковий ресурс і ресурс всього виробу в цілому, зробити ремонт негайно або запланувати його на потрібний для цього час.

Отримані дані можуть бути використані для прогнозування залишкового ресурсу та необхідності заміни дефектних деталей, що в умовах військових дій дозволяє заздалегідь подбати про наявність запасних частин або списання техніки.

СТРУКТУРА ТА ВЛАСТИВОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ БРОНЬОВОЇ СТАЛІ ПІСЛЯ ЗВАРЮВАННЯ ТА ВИСОКОЧАСТОТНОГО МЕХАНІЧНОГО ПРОКОВУВАННЯ

В.Д. Позняков, О.М. Берднікова, О.А. Гайворонський, О.С. Кушнарьова, Т.О. Алексеєнко, А.В. Завдовєєв, Ю.С. Газнюк

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

Досліджено фазовий склад, структурні параметри, мікротвердість та характер руйнування зварних з'єднань броньової сталі Ramor 500 після зварювання ($I_{зв}$ = 180 А; $U_д$ = 25–26 В; $V_{зв}$ = 18 м/год, дріт ХОРДА 307Ti) та високочастотного механічного проковування. Комплексними дослідженнями методами світлової та аналітичної растрової електронної мікроскопії встановлено наступне. Структура основного металу сталі Ramor 500 бейнітна з розміром пакетів $D_п$ = 25–70 мкм та мікротвердістю HV = 3510–4210 МПа. Метал зварних швів має аустенітну структуру. У зварному з'єднанні без обробки (вихідний стан) у верхньому проході шва мікротвердість HV = 2210–2450 МПа. У середньому та нижньому проходах HV збільшується в середньому у 1,3 рази. У зоні термічного впливу (ЗТВ) структура бейнітно-мартенситна зі збільшенням об'ємної частки та зменшенням розміру пакетів бейнітної складової при наближенні до основного металу (від $D_п$ = 40–200 мкм до $D_п$ = 10–35 мкм).

В зварному з'єднанні після високочастотного механічного проковування по лінії з'єднання у верхньому проході шва на глибину до 125мкм спостерігається подрібнення структури до $D_п$ = 10–30 мкм та підвищується HV (в середньому у 1,2 рази). В ЗТВ у порівняні з вихідним станом спостерігається зменшення (в середньому в 1,4 рази) $D_п$ до 25–50 мкм (I ЗТВ); 5–10 (IV ЗТВ) та підвищення HV = 4210–5140 МПа. На ділянці проковування основного металу на глибині до 125 мкм від поверхні структура також подрібнюється до $D_п$ = = 15–25 мкм мікротвердість складає HV = 4210–4880 МПа.

Фрактографічними дослідженнями зварних з'єднань броньової сталі Ramor 500 після навантаження вигином при різних температурах випробувань ($T_{випр}$ = +20 та –40 °С) встановлено, що для всіх досліджуваних варіантів зламів, руйнування проходило по металу ЗТВ. При цьому спостерігається в'язкий характер руйнування.

Такі структурні особливості як подрібнення бейнітної структури у поєднанні з в'язким характером руйнування металу після зварювання та високочастотного механічного проковування свідчать про забезпечення комплексу властивостей міцності та в'язкості руйнування зварних з'єднань броньової сталі Ramor 500.

ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЗВАРНИХ РЕЗЕРВУАРІВ, ЇХ РЕМОНТ І ВІДНОВЛЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Ю.М. Посипайко[1], Р.Ш. Назиров[2]
[1]Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ
[2]ТОВ «Інноваційний центр «Нове життя», Київ

Відновлення надійної і безпечної експлуатації резервуарних баз зберігання нафтопроду-ктів є важливим завданням сьогоднішнього дня в Україні.

Фахівці ІЕЗ ім. Є.О. Патона та наші партнери мають багаторічний досвід комплексного діагностування технічного стану та дефектоскопії зварних резервуарів для зберігання нафтоп-родуктів, рідкого аміаку, спиртів та інших рідин з метою визначення можливості подальшої безпечної експлуатації, програми і термінів ремонтів та випробувань.

Комплекс робіт з діагностування технічного стану резервуарів включає:

1) візуальний контроль внутрішньої та зовнішньої поверхні резервуарів, виявлення та оцінка нерівностей і деформацій стінки, і днища;

2) неруйнівний контроль зварних з’єднань і металу стінки різними видами випробувань, вимірювання товщини листів днища, стінки та покрівлі;

3) контроль герметичності зварних з’єднань днища;

4) вивчення корозійного стану листів днища, стінки та покрівлі;

5) вимірювання просідання днища шляхом нівелювання;

6) вимірювання відхилень стінки від вертикалі шляхом її теодолітної зйомки;

7) перевірку стану основи, вимощення, несучих конструкцій, понтону;

8) визначення механічних характеристик металу на зразках;

9) металографічні дослідження металу та зварних з’єднань стінки;

10) розрахунок внутрішніх механічних напруг у металі стінки;

11) аналіз технічної документації, дефектів та відхилень від нормативів елементів конс-трукцій резервуара;

12) складання обґрунтованого технічного висновку.

Нормативною базою комплексного технічного контролю резервуарів є міжнародні та національні стандарти, технічні регламенти, рекомендації та технічні умови, що діють на підп-риємстві Замовника.

При необхідності нами можуть бути виконані роботи, що виходять за рамки наведеного переліку, наприклад, аналіз акустичної емісії та магнітних полів об’єкта контролю тощо.

Ми також можемо виконати:

1) зачищення резервуарів від осадів хіміко-механічним способом;

2) капітальний або відновлюваний ремонт резервуарів з використання зварювання;

3) градуювання резервуарів методом лазерного 3D моделювання;

4) нанесення на металоконструкції багатошарового антикорозійного покриття, першим шаром якого є суспензія лускатого металевого цинку в розчині полімерних в’яжучих, так зване «холодне цинкування» матеріалом Liquid Zinc®. Наступними трьома шарами є двокомпонентне рідкокерамічне покриття «ZingaMetall CeramCoat CN1-N».

В останні 40 років нами виконано технічний контроль близько 400 різних резервуарів, що експлуатуються на підприємствах Держрезерву, Укрнафтопродукту, хімпрому, військово-промислового комплексу, на нафтопереробних заводах, нафтобазах, автозаправках тощо.

Ретельне технічне обстеження резервуарів та технологічних трубопроводів дозволяє оці-нити їх експлуатаційну надійність, розробити рекомендації щодо їх безаварійної експлуатації, своєчасно виявити дефекти та відхилення від встановлених нормативів.

ІНДУКЦІЙНЕ ЗВАРЮВАННЯ ТИСКОМ ТОНКОСТІННИХ КОНСТРУКЦІЙ ТЕПЛОТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

О.С. Прокоф'єв, Р.С. Губатюк, С.В. Римар, Є.О. Пантелеймонов, В.М. Абдулах, О.І. Петрієнко

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

При виготовленні конструкцій теплотехнічного обладнання передбачається застосування технологій дугового зварювання для виконання складних просторових зварних швів із наявністю кільцевих швів, як в поворотних, так і в неповоротних стиках, монтажних швів. При застосуванні тонкостінних листових матеріалів, та тонкостінних труб які виготовляються із вуглецевих, легованих, жаростійких і корозійностійких сталей і враховуючи тенденцію щодо мінімізації розмірів теплотехнічного обладнання перспективним вважається застосування технології індукційного зварювання тиском.

Технологія індукційного зварювання тиском розроблена в Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона. Технологія дозволяє отримати зварні з'єднання Т-подібних конструкцій та труб із фланцями і трубними дошками, при цьому зварювання здійснюється без розплавлення основного металу труб і фланців, при виконанні мінімального обсягу підготовчих операцій і без виконання операцій із забезпечення капілярних зазорів між з'єднувальними кромками, при осадженні нагрітих крайок з'єднувальних деталей із утворенням розвинутої поверхні шву та його кристалізації під тиском.

Процес розроблено для тонкостінних труб малого діаметру і з'єднань труб із фланцями і трубними дошками. Можливе поширення технології на з'єднання труб із фланцями в широкому діапазоні діаметрів труб.

До переваг способу індукційного зварювання тиском відносяться:

- відсутність необхідності забезпечення капілярних зазорів між крайками виробів;
- формування з'єднання без розплавлення основного металу крайок виробів;
- висока виробнича потужність процесу; можливість автоматизації процесу зварювання тиском;
- можливість з'єднання труб із скляним і емалевим внутрішнім покриттям в трубопроводи у цехових, монтажних і польових умовах.

ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЄЮ ВИСОКОЧАСТОТНОЇ МЕХАНІЧНОЇ ПРОКОВКИ ЗАЛИШКОВОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ ТАВРОВИХ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ З ЗАДАНИМ РІВНЕМ НАКОПИЧЕНИХ ВТОМНИХ ПОШКОДЖЕНЬ У 3 % РОЗЧИНІ NaCl

С.О. Соловей, В.В. Книш, А.О. Гришанов, М.Г. Мальгін, В.Г. Кот, А.А. Кадишев

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

Одним з поширених видів руйнування зварних металоконструкцій тривалої експлуатації, які зазнають змінних навантажень, є втома. З метою запобігання впливу корозії зварні металоконструкції захищають лакофарбовим покриттям. При несвоєчасному відновленні захисного лакофарбового покриття відбувається порушення його цілісності і до дії механічних навантажень додається вплив корозійного середовища, що суттєво знижує проектний строк служби конструкції. З метою підвищення характеристик опору втомі зварних з'єднань, які зазнали впливу корозії та змінних навантажень можуть застосовуватися різні методи поверхневого пластичного деформування металу, в тому числі технологію високочастотної механічної проковки (ВМП).

Проведено втомні випробування у 3% розчині NaCl зразків таврових зварних з'єднань низьколегованої сталі 15ХСНД після попереднього тривалого напрацювання та послідуючого зміцнення ВМП. Зразки таврового зварного з'єднання розміром 360×70×12 мм виготовляли ручним дуговим зварюванням штучними електродами УОНІ 13/55. Після зварювання для накопичення втомних пошкоджень до зразків прикладали віднульове змінне навантаження з максимальним напруженням 150 МПа до напрацювання 2 млн. циклів змін напружень на повітрі. В подальшому зразки зміцнювали ВМП та випробовували на втому у 3% розчині NaCl також при віднульовому змінному розтягуванні з частотою 5 Гц до повного руйнування.

Експериментально встановлено, що внаслідок застосування технології ВМП границя обмеженої витривалості на базі 2 млн. циклів змін напружень таврових зварних з'єднань з заданим рівнем накопичених втомних пошкоджень у 3% розчині NaCl підвищилася на 45 % (з 133 до 193 МПа), а залишкова циклічна довговічність збільшилася до 10 разів.

НАНЕСЕННЯ СТРУМОПРОВІДНИХ ПОКРИТТІВ СРІБЛА ТА МІДІ НА АЛЮМІНІЄВІ КОНТАКТИ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВИМ ОСАДЖЕННЯМ

Я.А. Стельмах[1], А.В. Микитчик[2], Ю.Е. Рудой[2], А.М. Старжинський[1]
[1]Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ
[2]Державне підприємство «Міжнародний центр електронно-променевих технологій ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАНУ» , Київ

Основною функціональною характеристикою поверхні електричних контактів, які виготовляють з алюмінію або алюмінієвих сплавів, є електропровідність. Відомо, що електропровідність контактних матеріалів може бути в значній мірі зменшена деградацією поверхневого шару, що призводить до збільшення контактного опору. Наприклад, фретинг-корозія, що виникає під час циклічного взаємного переміщення двох поверхонь, що контактують. У випадку алюмінію і алюмінієвих сплавів поверхневі пасивні оксидні плівки, що гальмують корозію, є досить товстими та збільшують перехідний електричний опір, що ускладнює якісний електричний контакт. З метою зниження перехідного електричного опору на поверхню контактів наносять антикорозійні покриття.

Для використання на деталях з істотною площею контактної поверхні, що функціонують в умовах регулярного циклічного переміщення, традиційно використовують покриття срібла. При цьому функціонально ефективність покриттів срібла, отриманих електроосадженням, обмежена не тільки зчепленням з поверхнею контакту, а й також їх пористістю та старінням, що проявляється в зниженні твердості з часом. Електронно-променеве осадження дозволяє вирішити дані проблеми системно.

В якості вихідних матеріалів покриттів на зразках (підкладках) алюмінію застосовували мідь (в якості модельного матеріалу) та срібло. Випаровування проводили з навісок металів масою 8.5 г, розміщених в графітовому тиглі діаметром 10 мм. При цьому, розподіл товщини покриття вздовж зразка діаметром 100 мм знаходився в інтервалі 12–15 мкм.

Температура зразка в процесі осадження на рівні 500–550 °С при прямому електронно-променевому нагріві забезпечує, за рахунок дифузії, зчеплення покриття з підкладкою та формування щільної безпористої структури. Випробування на згин з кутом 90° за трьохточковою схемою підтверджують відсутність відшарування сформованих покриттів.

Осаджені з парової фази у вакуумі покриття Ag на відміну від покриттів, отриманих електроосадженням, практично не містять домішок, що забезпечує стабільність механічних характеристик матеріалу покриття в часі. Покриття срібла, товщиною 10–15 мкм, осаджені на підкладках алюмінію, зберігають функціональну блискучу поверхню та значення мікротвердості на рівні 0,7–0,8 ГПа впродовж 2 років.

ДІАГНОСТУВАННЯ НЕСУЦІЛЬНОСТЕЙ ТА ІНШИХ УРАЖЕНЬ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ БЕЗ ЗАЧИСТКИ ЇХНЬОЇ ПОВЕРХНІ

В.О. Троїцький, В.А. Литвиненко
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Існує багато об'єктів які підлягають діагностиці але при цьому мають грубу поверхню об'єкту контролю (велика шорсткість або погано підготовлена поверхня виробу, корозійна поразка) зварних споруд, та інших металевих виробів. Метод ACFM поєднує в собі фізичні основи вихорострумового і магнітнітного методу неруйнівного контролю. ACFM прилади призначені в основному для виявлення протяжних несуцільностей у вигляді тріщини без зачистки поверхні об'єкта, еталонних зразків, а також для підводного контролю.

Метод ACFM (Вимірювання поля змінного струму) був розроблений компанією TSC Inspectionsystems (TSC) на початку 1990 для пошуку та виявлення протяжних несуцільностей морських споруд. На сьогодні використання цього методу використовується для трубопроводів та елементів конструкції, плавучих бурових установок, технологічних трубопроводів у нафтовій та газовій промисловості, мостів, кранів у польових умовах. При цьому перетворювач не вимагає прямого контакту з поверхнею виробу, працює через такі покриття, як фарба, іржа та захисні покриття виробів та не потребує еталонування.

ACFM метод подібний до вихрострумового методу але замість котушок індуктивності використовує магнітні датчики для виявлення сигналів магнітного поля, індукованих несуцільностями. За допомогою індуктора під дією електромагнітного поля струм індукується в об'єкт контролю, на поверхні деталі, де магнітне поле, що виходить від струму навантаження, може бути виявлено магнітними датчиками які можуть мати різну форму.

Безеталонне визначення розміру дефекту є важливою перевагою цього методу в порівнянні з іншими методами неруйнівного контролю. По виявленню протяжних тріщин він відповідає можливостям магнитопорошкового контролю. Однак, наразі визначають лише точну глибину не суцільності у виробі. На оцінку довжини жоден матеріал не впливає. Під час визначення розміру тріщин в інших матеріалах потрібна калібрувальна діаграма на основі дефектів відомої глибини. Потім діаграму можна використовувати для перетворення зазначених глибин ACFM у справжні глибини. Моделі розміру за допомогою ACFM легко застосовувати до несуцільностей типу тріщини із простою втомою але для несуцільносткй типу розгалужених тріщин (корозійне розтріскування під напругою) даний метод менш ефективний.

Спрощені методи оцінки стану довго експлуатованих об'єктів (пошук лише серйозних поразок та без зачистки) мають знайти застосування і в Україні, якщо буде створено відповідну нормативну базу, а наглядові структури країни освоїть цей швидкий, прагматичний метод оцінки стану важкодоступних об'єктів. Тому не слід забувати, що в НК немає універсального методу, за допомогою якого можна було проконтролювати і зробити висновок про його придатність. Кожен метод діагностики має свої переваги і в цей же час і недоліки. Тому для контролю особливо небезпечних об'єктів застосовують комплекс різних методів НК, щоб виключити пропуски дефектів.

ЗІСТАВЛЕННЯ СТРУКТУРНО-ТЕКСТУРНИХ ПАРАМЕТРІВ АКТУАЛЬНИХ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ З РІЗНИМИ ТИПАМИ КРИСТАЛІЧНИХ РЕШІТОК

В.В. Усов[1], Н.М. Шкатуляк[1], Н.І. Рибак[1], О.М. Ткачук[1], М.Д. Рабкіна[2], Б.О. Задерій[2]

[1]Пед. університет ім. Ушинського, Одеса

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

Основу металевих конструкцій складають метали та сплави з кубічни¬ми та гексагональними кристалічними решітками. Серед сплавів з ОЦК ґратками значне місце займають сплави на основі заліза (сталі). Сталі широко застосо-вують у трубопровідному транспорті, машинобудуванні, гражданському будів¬ництві тощо. Доступність використання сталі обумовлено відносно недорогою собівартістю її виробництва. В той же час напівфабрикати з ОЦК ґратками схильні до крихкого руйнування шляхом відриву, що часто не враховується у промисловості. Крихке руйнування обумовлено тим, що при обробці тиском (прокату, вальцюванні і т.і.) у стальному прокаті формується несприятлива кристалографічна текстура, при якій паралельно площині вальцювання в основ¬ному розташовуються кристалографічні площини куба (001), які є основними площинами відколу. Формування такої текстури супроводжується зниженням фрактальної розмірності зламів при крихкому руйнуванні. Ці явища спостерігаються й у зварних з'єднаннях, а також при випробуваннях на втому та ударну в'язкість. Але ефекти текстури та пов'язана з нею фрактальна розмірність часто не враховуються у промисловому виробництві. Крим того, вироби зі сталі мають високі вагові параметри, що обмежує їх використання у певних напрямках автомобілебудування, авіації, аерокосмічній техніці, тощо.

За існуючих високих цін на титан його застосовують переважно для військового обладнання, де головна роль належить не вартості, а технічним характеристикам. Мала питома вага і висока міцність (при підвищених температурах) титану та його сплавів роблять їх дуже цінними авіакосмічними матеріалами. Наприклад, створення в титанових оболонках тиску сприятливої текстури, при якій паралельно поверхні оболонки

розташовуються, в основному, кристалографічні площини (0001), дозволяє отримати так зване текстурне зміцнення до 20 % в умовах дії напружень нормальних до оболонки напрямках.

В той же час, текстурні перетворення в зварних з'єднаннях титану та його сплавах, особливості мікроструктурних змін та їх зв'язок з фрактальними характеристиками зламів залишаються практично не вивченими.

ВПЛИВ ФОРМИ ЕЛЕКТРОДА-УДАРНИКА НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ПЛАСТИНИ ПІСЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ ДИНАМІЧНОЇ СКЛАДОВОЇ ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНОЇ ОБРОБКИ

П.Р. Устименко[1], Ю.М. Сидоренко[1], М.О. Пащин[2]
[1]Національний технічний університет «КПІ ім. Ігоря Сікорського», Київ
[2]Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Зварювання є одною з найпоширеніших технологій з'єднань в усіх сферах машинобудування. В той же час ця технологія через термічний вплив призводить до створення в конструкціях небажаних залишкових напружень, максимальні значення яких можуть бути близькими до границі текучості матеріалу. Одним з перспективних методів регулювання залишкових напружень є електродинамічна обробка, яка дозволяє змінювати напружено-деформований стан зварних з'єднань за рахунок точкових ударів електрода-ударника в зоні зварного з'єднання з пропусканням електричного струму. Експериментально визначено, що найкращий вплив на напружено-деформований стан електродинамічна обробка створює на алюмінієві сплави. Тому, в даній роботі методом математичного моделювання у плоскій та вісесиметричній постановках проведено оцінку впливу форми електрода-ударника на напружено-деформований стан зварної пластини виготовленої з алюмінієвого сплаву АМг6 після застосування динамічної складової електродинамічної обробки. Описано особливості та відмінності створення та використання розроблених математичних моделей. Визначено розподіл значень по товщині пластини основних параметрів та компонент напружено-деформованого стану, зокрема величини зони пластичних деформацій та напружень, глибини та ширини вм'ятини в пластині, яка взаємодіє з електродом-ударником, що рухається зі швидкістю 5 м/с. Встановлено, що використання ударника циліндричної (вісесиметричної) форми з округлою голівкою у порівнянні з плоскою видовженою призводить до формування в пластині практично рівномірного розподілу обох компонент напруженого стану σ_x та σ_y як напружень стиску зі значеннями до –120 МПа, які повинні суттєво підвищити ефективність боротьби із залишковими зварними напруженнями у разі застосування динамічної складової ЕДО.

НАКЛАДНІ ВИХРОСТРУМОВІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ПОДВІЙНОГО ДИФЕРЕНЦІЮВАННЯ ЯК ЕФЕКТИВНИЙ ЗАСІБ ВИРІШЕННЯ НАЙСКЛАДНІШИХ ЗАДАЧ ВИХРОСТРУМОВОГО КОНТРОЛЮ

В.М. Учанін
Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАНУ, Львів

Розглянуто вихрострумові перетворювачі (ВСП) подвійного диференціювання. Подано особливості Їх побудови і основні параметри. Проаналізовано механізми формування сигналів від дефектів у ВСП подвійного диференціювання і результати досліджень по визначенню граничних значень глибини залягання дефектів, виявленню дефектів крізь шар діелектричних і електропровідних захисних покрить. Показана можливість виявлення і оцінки підповерхневих локальних дефектів у мідних виробах і реконструкції перерізу електропровідного об'єкта з дефектом методом вихрострумової томографії. Для оптимізації обмоток ВСП запропоновано параметр — коефіцієнт вихрострумової ефективності, та розроблено метод його визначення. Запропонований параметр використано для аналізу і оптимізації конструкцій ВСП з обмотками на феритових осердях.

Подано технології ручного НК із застосуванням ВСП подвійного диференціювання. Зокрема, розглянуто різні технології контролю зварних з'єднань, багатоелементних авіаційних конструкцій, лопаток турбін і отворів турбін теплових електростанцій, вузлів залізничного транспорту тощо.

Показано ефективність застосування ВСП подвійного диференціювання в автоматизованих системах НК, зокрема, призначених для контролю труб печей вторинного риформінгу, залізничних осей і колісних пар, прокату із алюмінієвих сплавів, торцевих зварних швів і труб.

Представлено нові багатоелементні ВСП подвійного диференціювання, які дозволяють суттєво (у 5–6 разів) збільшити продуктивність контролю та подано результати їх використання для контролю габаритних об'єктів, зокрема, поковок із феромагнітних і аустенітних сталей тощо.

ФІЗИКО-МЕХАНІЧНА ОЦІНКА МАТЕРІАЛІВ БРОНЕПАНЕЛЕЙ

М. Хохлов[1], Ю. Хохлова[1], Б. Ткаченко[2]
[1]Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ
[2]ТОВ ДВП «ЕлектроТерм»

Проведено дослідження фізико-механічних властивостей іноземних сертифікованих матеріалів панелей бронежилетів, які успішно використовуються в бойових діях на території України. Матеріали забезпечують захист від практично усіх видів ручної стрілецької зброї та здатні забезпечити захист від бронебійних куль американського патрона 7,62×63 мм зі сталевим або твердосплавним сердечником, також забезпечують захист від бронебійних куль патронів 5,56×45 мм NATO та 7,62×51 мм NATO при стрільбі практично впритул. Механізм дії матеріалів полягає в поглинанні та розсіюванні кінетичної енергії удару при локальному роздробленні пластини та притупленні матеріалу кулі об тверду поверхню. Згідно запатентованих властивостей матеріалів які можливо використовувати як броню, підвищення мікротвердості є ключовим критерієм оцінки покращення їх функціоналу, а визначення фактичних значень питомої ваги, щільності та модулю пружності дає уявлення про сукупні механізми формування міцності для розробки нових матеріалів броні вітчизняного виробництва. Тому, ціль роботи — на основі досліджень структури та фізико-механічних властивостей панелей, що пройшли балістичну експертизу, визначити параметри структури, які забезпечують ефективність цих матеріалів.

В роботі порівняли три матеріали: 2 типи кераміки удосконалених пластин ESAPI (Enhanced Small Arms Protective Insert) найвищого класу захисту NIJ VI (США або ДСТУ 8782:2018) на основі Al_2O_3 97,8 % ваг. та на основі SiC 99,6 ваг. % (Китай) та SAPI (Small Arms Protective Insert) класу захисту NIJ IV з низьколегованої рафінованої сталі Armox Advance (Швеція). Фізико-механічні властивості протестовані за методом «An Improved technique for determining the hardness (H) and elastic modulus (E) using load-displacement» згідно з ISO/FDIS 14577-1:2015; Metallic materials — Instrumented indentation test for hardness and materials parameters — Part 1: Test method. Методом растрової електронної мікроскопії визначили морфологію зламу, дисперсність мікроструктури та хімічний склад матеріалів.

Визначено, що найвищі значення твердості та модулю пружності має кераміка Al_2O_3: H = 22 ГПа, E = 294 ГПа, щільність ρ = 3,7 г/см^3. У кераміки SiC: H = 16 ГПа, E = 207 ГПа, щільність ρ = 3,2 г/см^3. У сталі Armox Advance: H = 5,6 ГПа, E = 76 ГПа та найбільша щільність ρ = 7,8 г/см^3. Питома вага Al_2O_3 — 31,42 Н/м^3, SiC — 31,5 Н/м^3 та сталі Armox Advance — 76,6 Н/м^3. Дисперсність частинок обох керамік подібна — 5–25 μм.

ОЦІНКА СТАНУ МЕТАЛУ 12Х18Н10Т ПІСЛЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ЙОГО ЗДАТНОСТІ ДО ЗВАРЮВАННЯ

М.О. Червяков[1], О.В. Яровицин[1], Г.В. Звягінцева[1], О.О. Наконечний[1], Г.Д. Хрущов[1], А.К. Байдацький[2]

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

[2]*ПрАТ «ПК «Поділля», Вінницька обл., смт. Крижопіль*

Досліджували можливості проведення ремонту експлуатаційних дефектів лопаток робочого колеса водокільцевого компресора зі сталі 12Х18Н10Т-М2б, що працюють в кислому середовищі живильна чиста вода + сатураційний газ з вмістом CO_2 — 32–38 %, який отриманий під час випалу вапняку в шахтних печах. Експлуатаційні дефекти представляють собою локальні руйнування металу зварного шву з виходом тріщин в основний метал; характер руйнування — переважно наскрізний.

Спектральний аналіз не виявив відхилень в хімічному складі матеріалу, що досліджували.

Випробування на статичний загин показали, що зразок основного металу загинається на 180° без утворення тріщин, що свідчить про достатній залишковий запас пластичності сталі 12Х18Н10Т-М2б після експлуатації лопаток робочого колеса водокільцевого компресора ВК-150. Випробування на ударний загин за ГОСТ 9454–78 показали, що визначена величина ударної в'язкості *KCU* = 167–184 Дж/см^2 знаходиться практично на рівні довідкових даних для реального хімічного складу наданого фрагменту виробу (*KCU* = = 187–206 Дж/см^2). Величина показника *KCU* та характер руйнування випробуваних зразків свідчить про високу залишкову в'язкість матеріалу, що співвідноситься зі збереженням стійкості проти втомних руйнувань.

Металографічні дослідження зразків основного металу, вирізаних поза зоною експлуатаційних пошкоджень лопаток, показали лише незначний ступінь деградації його структури. Ознак характерних типів корозійних пошкоджень в досліджених поперечних перерізах фрагментів лопатки не виявлено. Металографічний аналіз непошкоджених конструктивно заданих зварних з'єднань показав, що їх зона термічного впливу (ЗТВ) з боку основного металу після експлуатації характеризується наявністю деградованої структури зі зниженою деформаційною здатністю: зони подрібненого зерна в околі лінії сплавлення, а також розташованих нижче локальних зон з певними структурними аномаліями на границях зерен. Візуальний аналіз присутніх на виробі експлуатаційних дефектів, зокрема — за характером розповсюдження тріщин та їх зламів, свідчить про втомний характер руйнувань зварних швів та суміжних з ними зон основного металу. Металографічний аналіз пошкодженого основного металу в околі присутніх втомних тріщин показав наявність в суміжних з ними областях малопластичних зон структурної деградації: шару пошкоджених границь зерен та слідуючого за ним шару аустенітного зерна з ознаками перебігу мартенситного перетворення, що характеризується підвищеною твердістю порівняно зі звичайною структурою основного металу.

Таким чином, результати металографічних досліджень та оцінка механічних властивостей контрольного зварного з'єднання, виконаного на реальному фрагменті лопатки після експлуатації, засвідчили необхідність введення в технологію ремонту експлуатаційних дефектів робочого колеса водокільцевого компресора ВК-150: операцій з механічного видалення пошкодженого матеріалу навколо втомної тріщини; застосування при наступному ремонтному зварюванні таких його способів, що дають менші тепловкладення у виріб порівняно з ручним дуговим зварюванням покритими електродами і тим самим забезпечують достатньо високі значення показника *KCU* = 145–168 Дж/см^2 в ЗТВ зварного шву, а також застосування у якості присадного матеріалу зварювального дроту з підвищеними показниками ударної в'язкості *KCU* = 190–215 Дж/см^2, що значним чином переважає відповідний показник для покритих електродів типу ЦЛ-11, що використовувалися при виготовленні цієї зварної конструкції.

ЕЛЕКТРОШЛАКОВЕ ЗВАРЮВАННЯ ПЛИТ ТИТАНОВОГО СПЛАВУ ВТ6

В.О. Шаповалов, І.В. Протоковілов, В.Б. Порохонько
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Розроблено спосіб електрошлакового зварювання (ЕШЗ) надтовстих (до 350 мм) плит титанового сплаву ВТ5 (Ti–6Al–4V), який характеризується наступними перевагами: можливістю зварювання виробів великої товщини за один прохід без обробки кромок; високою продуктивністю процесу зварювання; щільною структурою металу шва без пор, шлакових включень, несплавленнь і інших дефектів; відсутністю випаровування в процесі зварювання легуючих компонентів сплаву; відсутністю кутових деформацій.

Наведено результати досліджень якості зварного з'єднання плит товщиною 100 мм з титанового сплаву ВТ6. ЕШЗ виконували з використанням плавкого мундштука зі сплаву ВТ6 з двома електродними дротами зі сплаву СПТ2. Дослідження властивостей зварного з'єднання включали рентгенографічний контроль, хімічний і газовий аналіз, оптичну металографію, механічні випробування на розтяг і ударну в'язкість, а також фрактографічний аналіз.

Рентгенографічний контроль та оптична металографія зварного з'єднання показали відсутність поверхневих та внутрішніх дефектів у металі шва та зоні термічного впливу.

Газовий аналіз показав, що вміст [O], [N] і [H] в металі шва відповідає вимогам нормативних документів для сплаву Ti–6Al–4V.

Мікроструктура металу шва характеризувалась двофазною α+β структурою з пластинами α-фази розділеними прошарками β-фази. Розмір зерен металу шва становив в середньому 2000–9400 мкм. Мікроструктура металу ЗТВ складалась з поліедричних (α+β) зерен з середнім розміром 300–640 мкм. Лінія сплавлення - розмита, з плавним переходом від поліедричних зерен ЗТВ до литих кристалів металу шва.

Міцність на розрив металу шва в середньому становила 90 % від міцності основного металу, а ударна в'язкість (*KCU*) була в 1,6 рази вище, ніж у основного металу.

Руйнування металу шва і ЗТВ мало транскристалітний характер змішаного типу з ділянками як пластичного, так і крихкого руйнування. Показано, що механічні властивості зварного з'єднання обумовлюються, в першу чергу, розміром зерен і мікроструктурою металу шва та ЗТВ, які формуються в умовах низької швидкості охолодження та високого тепловкладення, характерних для процесу ЕШЗ.

ВПРОВАДЖЕННЮ В УКРАЇНІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЮ ДАНО ЗЕЛЕНЕ СВІТЛО

А.Л. Шекеро, О.К. Курпас
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

В час, коли об'єкти критичної інфраструктури України зазнали значних руйнувань і пошкоджень, особливо гостро стоїть питання дослідження можливості і безпеки подальшої експлуатації відповідальних об'єктів та устаткування, відбувається зростання обсягів і темпів проведення робіт з обстеження їх технічного стану. Одним з основних способів забезпечення цих задач є застосування сучасних комп'ютеризованих технологій неруйнівного контролю, до яких відносяться технологія фазованих антенних решіток (PAUT — Phased Array Ultrasonic Testing) та технологія технологія повного матричного захоплення або повного фокусування (Full Matrix Capture/Total Focusing Method — FMC/TFM).

В міжнародній практиці ці технології найчастіше застосовується для контролю якості зварних швів і виявлення тріщин і тріщиноподібних дефектів у різних галузях промисловості — енергетичній, нафтохімічній, при виробництві металоконструкцій, під час будівництва та експлуатації газонафтопроводів та ін. Однак, незважаючи на комплекс переваг їх використання, насамперед: універсальності, інформативності та достовірності результатів, застосування зазначених технологій НК в Україні до останнього часу було проблемним, зважаючи на відсутність відповідної нормативної бази.

Тому актуальності набула необхідність якнайшвидшого прийняття в Україні європейських та міжнародних стандартів, що регламентують застосування перспективних методів PAUT і TFM на рівні нормативної бази.

За ініціативи і на замовлення ТОВ «АКВАПЛАСТ» (м. Кривий Ріг) було виконано комплекс робіт з прийняття в Україні відповідних стандартів, а саме:

● EN ISO 23864:2021. Неруйнівний контроль зварних швів. Ультразвуковий контроль. Застосування автоматизованого методу повного фокусування (TFM) та пов'язаних технологій;

● ISO 23865:2021. Неруйнівний контроль. Ультразвуковий контроль. Загальне застосування методу повного матричного захоплення/повного фокусування (FMC/TFM) та пов'язаних технологій;

● ISO 4761:2022. Неруйнівний контроль зварних швів. Ультразвуковий контроль тонкостінних сталевих виробів фазованою решіткою (UT-PA). Рівні приймання.

● EN ISO 19285:2017. Неруйнівний контроль зварних швів. Ультразвуковий контроль фазованою решіткою (PAUT). Рівні приймання.

● EN ISO 20601:2018. Неруйнівний контроль зварних швів. Ультразвуковий контроль. Застосування технології автоматизованої фазованої решітки для тонкостінних сталевих компонентів.

Наказом ДП «УкрНДНЦ» № 152 від 09.08.2022 р. дані стандарти введено в дію в Україні з 01.09.2022 року.

Технічний комітет стандартизації № 78 «Технічна діагностика і неруйнівний контроль», який звертається до зацікавлених організацій з метою формування пропозицій до Програми робіт з національної стандартизації на 2023 рік, до якої включають роботи з розроблення,

перегляду, скасування національних стандартів, кодексів усталеної практики та змін до них і пропонує надсилати пропозиції щодо цього на e-mail: usndt@ukr.net.

ОЦІНКА ЯКОСТІ СТРУКТУРИ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ МОНОКРИСТАЛІВ ЖАРОМІЦНИХ НІКЕЛЕВИХ СПЛАВІВ EBSD МЕТОДОМ

К.А. Ющенко, І.С. Гах, Б.О. Задерій, Г.В Звягінцева, А.В.Завдовєєв
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

З залученням методу electron backscattering diffraction (EBSD) аналізу розглянуті особливості структурних змін характерних зон зварних з'єднань монокристалів жароміцних нікелевих сплавів (ЖНС) різної кристалографічної орієнтації, виконаних електронно-променевим зварюванням. Шляхом комплексного аналізу карт орієнтувань, прямих та зворотніх полюсних фігур визначені кількісні і візуалізовані кристалографічні характеристики та розмірно-геометричні параметри. Визначена еволюція структури від довершеної монокристалічної, до багаторівневої при зварюванні. Визначено механізм формування структурних складових — кристалізаційних та деформаційних.

При вивченні карт фактору Шміда та контрастності Кікучі-картин виконана оцінка деформаційної здатності окремих складових структури зварних з'єднань з позицій можливості руйнування при навантаженні чи експлуатації та визначення критеріїв якості зварних конструкцій. Встановлено, що деформаційна здатність визначається розмірно-геометричною різноструктурністю та кристалографічною розорієнтацією окремих структурних елементів та ділянок. Превалююча деформація по окремим елементам структури з максимальним значенням фактору Шміда приводить до локалізації напружень, що сприяє зниженню механічних властивостей та тріщиностійкості зварних з'єднань в цілому.

Аналіз карт розподілу мікронапружень контрастів Кікучі-картин та орієнтацій дозволив виявити місця концентрації напружень та деформацій, які виявлені в основному в області поверхні сплавлення зварних з'єднань несприятливої кристалографічної орієнтації.

Результати досліджень дозволять обґрунтовано підійти до вибору конструкції, матеріалу, кристалографічної орієнтації та розробки технології створення зварних вузлів відповідального призначення з монокристалічних ЖНС та прогнозувати їх поведінку в процесі експлуатації.

РЕСУРСОЗБЕРІГЮЧА МЕТОДИКА ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ ВИПРОБУВАНЬ ТРИВАЛОЇ МІЦНОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ВАЖКОЗВАРЮВАНИХ ЖАРОМІЦНИХ НІКЕЛЕВИХ СПЛАВІВ

К.А. Ющенко, О.В. Яровицин, М.О. Черв'яков, О.О. Наконечний, О.Ф. Явдощина
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Попри освоєння на вітчизняних авіаремонтних підприємствах ряду серійних технологій відновлення мікроплазмовим порошковим наплавленням робочих лопаток з нікелевих жароміцних сплавів (НЖС) типу ЖС32, наразі актуальною задачею залишається уточнення та позиціонування механічних властивостей відповідних зварних з'єднань «основний–наплавлений метал», що компенсують втрати пошкодженого при експлуатації матеріалу деталей в їх локальних зонах бандажної полиці або торця пера відносно загальноприйнятних контрольованих параметрів, закладених в діючі ТУ на литі НЖС. Зокрема це стосується одного із найважливіших показників таких сплавів — тривалої міцності при 975–1000 °С.

Особливістю розробленої в ІЕЗ ім. Є.О. Патона ресурсозберігаючої методики високотемпературних випробувань тривалої міцності є застосування оптимізованих мініатюрних плоских пропорційних зразків з перерізом робочої частини 7,5–9,0 мм^2 та проміжних захватів-перехідників типу «ластівчин хвіст», чим досягається істотне зниження габаритів захватної частини зразка для механічних випробувань та, відповідно, значним чином зменшується об'єм витрат матеріалу НЖС.

Запропонований підхід щодо раціонального вибору форми і розмірів зразка для механічних випробувань, техніки підготовки та формування необхідних для нього зварних заготовок дозволяє суттєво зменшити кількість тепловкладень у виріб, наблизити потужність режимів наплавлення зразків-свідків до промислових режимів серійного відновлення кромок робочих лопаток авіаційних ГТД і тим самим, при обмеженій деформаційній здатності наплавленого металу НЖС, гарантовано уникати у зварних з'єднаннях «основний–наплавлений метал» сучасних НЖС типу ЖС32 проявів схильності до утворення тріщин як в процесі наплавлення так і наступної термічної обробки.

Встановлено, що зварне з'єднання «основний – наплавлений метал» з висотою наплавленого шару НЖС ЖС32 до 3 мм, що з боку основного металу також включає навколошовну зону, в районі лінії сплавлення має достатньо високі показники тривалої міцності — на рівні 0,5-0,6 при температурах 975–1000 °С відносно мінімально допустимих вимог технічних умов для литого сплаву ЖС32-ВІ; на рівні 0,77 при температурі 975 °С для литого сплаву ЖС26-ВІ відносно мінімальних вимог технічних умов. Попередня 15-ти річна практика експлуатації відновлених робочих лопаток ТВТ та ТСТ із сплавів ЖС32-ВІ та ЖС26-ВІ на сучасних авіаційних ГТД показала, що наявний рівень високотемпературної тривалої міцності їх локальних зон на торцях бандажних полиць та верхній кромці пера, заново сформованих мікроплазмовим порошковим наплавленням сплаву ЖС32, є цілком достатнім для надійного відпрацювання ними міжремонтного ресурсу.

Розроблена ресурсозберігаюча методика високотемпературних механічних випробувань в умовах обмеженого фінансування вітчизняної науки робить принципово можливими системні дослідження властивості високотемпературної тривалої міцності зварних з'єднань важкозварюваних НЖС і є в сучасних умовах важливим кроком вперед в матеріалознавчих дослідженнях, зокрема — з метою формування уявлень про відповідний «індивідуальний» безпосередній внесок типових локальних зон зварного з'єднання «основний–наплавлений метал» важкозварюваних НЖС з вмістом зміцнюючої γ′-фази більше 50 об. % у загальний комплекс властивості жароміцності.

SCIENTIFIC EVOLUTION OF PWI JOURNALS

S.V. Ivanenko, O.T. Zelnichenko[1,2], I.Yu. Romanova[1]

[1]E.O. Paton Electric Welding Institute of the NASU, Kyiv
[2]International Association «Welding», Kyiv

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine (PWI) publishes four scientific and technical journals: «Avtomatychne Zvaryuvannya» (Automatic Welding), «Suchasna Elektrometalurhiya» (Electrometallurgy Today), «Tekhnichna Diagnostyka ta Neruinivnyi Kontrol» (Tekhnichna Diagnostyka ta Neruinivnyi Kontrol) & «The Paton Welding Journal». The first three of which are published in Ukrainian, and the fourth in English. Journals «Avtomatychne Zvaryuvannya», «Suchasna Elektrometalurhiya», «Tekhnichna Diagnostyka ta Neruinivnyi Kontrol» are included in the list of publications approved by the Ministry of Education and Science of Ukraine for the publication of works of applicants for academic degrees in the different specialties. Before the formation of the publications «Avtomatychne Zvaryuvannya», «Suchasna Elektrometalurhiya», «Tekhnichna Diagnostyka ta Neruinivnyi Kontrol» as journals they were preceded by the publication of collections of works with other names on welding, special electrometallurgy and non-destructive testing.

«**Avtomatychne Zvaryuvannya**» (Automatic Welding)**.** «Avtomatychne Zvaryuvannya» journal began to be published in March 1948 as «Collection of works on automatic welding under flux». Since January 1958, the periodicity of the journal «Avtomatychne Zvaryuvannya» increases from 6 to 12 numbers per year and does not change to this day. The Journal is included in the list of publications approved by the Ministry of Education and Science of Ukraine for the publication of works of applicants for academic degrees in specialties 131, 132, 151: order of the MES of Ukraine № 409 of 17.03.2020. Certificate of state registration of KV 4788 dated 09.01.2001. ISSN 0005-111X. DOI: http://dx.doi.org/10.37434/as. Archives of the journal are presented in international scientometric databases Scopus (USA, 1975–1986, 1988, 2001–2005), Google Scholar (USA, since 2009), EBSCO (USA, since 2013), ULRICH'S (USA, since 2016), abstract journals «Zherelo» (Ukraine, since 2009) and «Welding Abstracts» (UK, since 2000). Since 2016, the journal has been indexed in Crossref (USA), assigning DOI indexes to each published scientific article.

«**Suchasna Elektrometalurhiya**» (Electrometallurgy Today)**.** «Suchasna Elektrometalurhiya» journal began to be published in 1975 as a collection of «Problems of special electrometallurgy» with a periodicity of four issues per year. The Journal is included in the list of publications approved by the Ministry of Education and Science of Ukraine for the publication of works of applicants for academic degrees in specialties 132, 151, 152: order of the MES of Ukraine № 409 of 17.03.2020. Certificate of state registration of KB 4787 dated 09.01.2001. DOI: http://dx.doi.org/10.37434/sem. Archives of the journal are presented in international scientometric databases Scopus (USA, 2001-2005), Google Scholar (USA, since 2009), EBSCO (USA, since 2013), ULRICH'S (USA, since 2016) and abstract journals «Zherelo» (Ukraine, since 2009). Since 2016, the journal has been indexed in Crossref (USA), assigning DOI indexes to each published scientific article.

«**Tekhnichna Diagnostyka ta Neruinivnyi Kontrol**» (**Tekhnichna Diagnostyka ta Neruinivnyi Kontrol).** «Tekhnichna Diagnostyka ta Neruinivnyi Kontrol» journal began to be published in 1985 as a compilation «Diagnosis and forecasting of the destruction of welded structures», from 1985 to 1988 seven collections were published. Since 1989, the joirnal has been published four times a year.The Journal is included in the list of publications approved by the Ministry of Education and Science of Ukraine for the publication of works of applicants for academic degrees in specialties 132, 151, 152: order of the MES of Ukraine № 409 of 17.03.2020. Certificate of state registration of KB 4787 dated 09.01.2001. DOI: http://dx.doi.org/10.37434/tdnk. Archives of the journal are presented in international scientometric databases Scopus (USA, 2001–2005), Google Scholar (USA, since 2009), EBSCO (USA, since 2013), ULRICH'S (USA, since 2016) and abstract journals «Zherelo» (Ukraine, since 2009 Since 2016, the journal has been indexed in Crossref (USA), assigning DOI indexes to each published scientific article.

«**The Paton Welding Journal**», as a complete translation of the journal «Avtomatychne Zvaryuvannya» into English, began to be republished from 1959 in UK and has been published continuously since 2000 by PWI. State Registration Certificate 24933-14873 ПР from 13.08.2021. ISSN 0957-798X, DOI: http://dx.doi.org/10.37434/tpwj. The content of the journal includes articles received from authors from around the world in the field of welding, special electrometallurgy, material science and selectively includes translations into English of articles from the following journals, published by PWI in Ukrainian: «Avtomatychne Zvaryuvannya», «Suchasna Elektrometalurhiya», «Tekhnichna Diagnostyka ta Neruinivnyi Kontrol». Archives of the journal are presented in international scientometric databases Google Scholar (USA, since 2009), EBSCO (USA, since 2013), INSPEC (UK, since 2013), ULRICH'S (USA, since 2016) & «Welding Abstracts» (UK, since 1985). Since 2014, the journal has been indexed

in Crossref (USA), assigning DOI indexes to each published scientific article. Since 2019, the journal has been indexed in the scientometric database Index Copernicus International (Poland). In 2022, documents were submitted to include the journal in the Compendex database of Elsevier (Netherlands).

The publisher of the journals (International Association «Welding») adhere to the Open Access policy and provide access to full texts on the Internet. Over the years, PWI journals have gone through many transformations, but they are developing, do not lose their relevance and have a stable international status and demand.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ МІКРОПЛАЗМОВОГО НАПИЛЕННЯ ЦИРКОНІЄВОГО ПОКРИТТЯ З КОНТРОЛЬОВАНОЮ ПОРИСТІСТЮ

С. Калюжний[1], С. Войнарович[1], О. Кислиця[1], Є. Кузьмич-Янчук[1], Д. Алонцева[2], Н. Прохоренкова[2]

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

[2]Східно-Казахстанський технічний університет, Д. Серікбаєва, Усть-Каменогорськ, Казахстан

В даний час проблема заміни та приживлення суглобів в організмі людини і, відповідно, проблема підвищення біосумісності поверхні імплантату знаходиться у центрі уваги досліджень у всьому світі. Результати попередніх досліджень авторів довели можливість отримання покриттів із біосумісних матеріалів (металів та кераміки) з контрольованою пористістю і задовільною адгезією до титанового імплантату за допомогою роботизованого мікроплазмового напилення (МПН). Нова методика МПН з використанням робота поряд із застосуванням для вибору необхідних параметрів напилення Скануючою Електронної Мікроскопії (СЕМ), аналізу цифрових зображень частинок і покриттів, що формуються та встановлення характеру взаємозв›язку між умовами напилення та властивостями одержуваних покриттів з використанням методу математичного планування експерименту, є перспективним рішенням для отримання покриттів на медичних імплантатах.

Мета дослідження: вивчення форми і розмірів напилюваних частинок, які дають можливість встановити закономірності впливу параметрів МПН на отриману пористість покриттів з біосумісних матеріалів.

Роботизоване мікроплазмове розпилення Zr дроту на основи з титанових сплавів здійснювали за допомогою мікроплазматрона МП-04 (Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона, Україна), встановленого на промисловому роботі-маніпуляторі Kawasaki (RS010L, Kawasaki Heavy Industries, Японія). СЕМ-зображення частинок були отримані з прискорюючою напругою променю 20 кВ, в режимі високого вакууму на обладнанні Philips SEM 515 (Philips, Нідерланди). СЕМ-зображення поперечних перерізів сплетів і покриттів були зняті з прискорюючою напругою променю 20 кВ в режимі низького вакууму через детектор зворотного розсіювання електронів на JSM-6390LV (JEOL, Японія) та оброблені за допомогою програми ImageJ. Для оцінки пористості були проведені вимірювання полірованого перерізу покриттів відповідно до ASTM E2109-01 (2021). Застосування напівреплiки 2^{4-1}, яка з точки зору побудови лінійної моделі має найкращу роздільну здатність, для оцінки впливу параметрів МПН на пористість покриття і розмір напилюваних частинок, дозволило отримати наступні рівняння регресії:

$$\text{Пористість (\%)} = 42{,}8 - 0{,}62\,\mathbf{I} - 0{,}06\,\mathbf{Q} - 0{,}01\,\mathbf{H} - 2{,}77\,\mathbf{V_w}$$

$$\text{D (Zr, мкм)} = 546{,}7 - 10{,}4\,\mathbf{I} + 0{,}79\,\mathbf{Q} + 0{,}07\,\mathbf{H} - 0{,}93\,\mathbf{V_w}.$$

Вплив параметрів напилення на розмір частинок, форму і, отже, пористість покриття було проаналізовано для вибору відповідних параметрів МПН.

Отримані результати мають цінність для широкого кола дослідників, які розробляють технології плазмового напилення біосумісних покриттів для медичних імплантатів.

КЛЮЧОВІ НАПРЯМИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА РОЗРОБОК У ГАЛУЗІ ЗВАРЮВАННЯ І СПОРІДНЕНИХ ПРОЦЕСАХ ПРОВІДНИХ НАУКОВИХ ЦЕНТРІВ СВІТУ ТА ВИРОБНИКІВ ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

О.К. Маковецька, Г.О. Полішко, С.В. Пустовойт, В.С. Петрук, Н.С. Онищенко
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Зварювання є однією із базових технологій індустріальної економіки, за допомогою якої створюється значна частка ВВП промислово розвинених країн. Для таких країн характерний сталий розвиток зварювального виробництва, що визначається зростанням споживання конструкційних матеріалів та зварювальної техніки, появою на ринку нових матеріалів, технологій та обладнання для зварювання.

Світовий ринок зварювальної техніки, основними сегментами якого є зварювальне обладнання та матеріали для зварювання, має стійку динаміку зростання з річним темпом понад 7 відсотків на рік та за оцінками експертів становить майже 30 млрд. доларів США, його основними драйверами є будівництво, автомобілебудування, енергетика, суднобудування та аерокосмічна промисловість.

В галузі технологій зварювання відбуваються прогресивні зміни, що пов'язують з загальносвітовими тенденціями розвитку індустріальних технологій — Industry 4.0, характерною рисою якої є повна автоматизація виробництва, коли управління всіма процесами здійснюється у режимі реального часу з урахуванням зміни зовнішніх умов і взаємодії людини і техніки, та техніки між собою без втручання людини, тобто відбувається оцифрування виробничих процесів у різних галузях промисловості. Використання досягнень Industry 4.0 надає можливість створення майбутнього гнучкого та доступного виробництва, що підтримується такими технологіями, як штучний інтелект та Інтернет речей (IoT), тривимірний друк, хмарні обчислення, мобільні пристрої, великі данні та ін.

Відбувається подальший розвиток зварювальних технологій, які базуються на використанні енергії високого рівня концентрації (лазерної, електронно-променевої) для вирішення проблем підвищення продуктивності і якості продукції у багатьох галузях промислового виробництва.

На основі лазерних технологій набувають подальшого використання у промисловості високопродуктивні і наукоємні гібридні технології зварювання — лазерно-дугова, лазерно-плазмова, лазерно-індукційна, світло-лазерна та лазерна-дугова під флюсом.

Однією з пріоритетних галузей, на якій фокусується увага розробників зварювальних технологій, матеріалів і устаткування є впровадження у виробничий процес інноваційних технологій, пов'язаних з безпекою здоров'я зварників і навколишнього середовища. Нині компанії-виробники демонструють активний підхід до запровадження систем безпеки виробництва і турботу про здоров'я і життя своїх працівників, що в свою чергу робить професію зварника більш привабливою.

ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ КУТА ЗСУВУ ФАЗ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЄМНОСТІ КОНДЕНСАТОРА У БІОЛОГІЧНО ЗМІНЕНИХ ТКАНИНАХ

Є.В. Сніцар, І.Ю. Худецький
Національний технічний університет «КПІ ім. Ігоря Сікорського», Київ
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

У більшості випадків хірургічні втручання здійснюються у зв'язку з виникненням тієї чи іншої патології. Це можуть бути травми, поранення чи захворювання. Ці патологічні процеси суттєво впливають на біофізичні характеристики тканин.

Метод вимірювання імпедансу використовують у медичних дослідженнях, а саме: при вивченні процесів у живих клітинах і тканинах за впливу випромінювання, ультразвуку та інших фізичних чинників, а також під час зміни фізіологічного стану. Наприклад, виявлено, що внаслідок запальних процесів на перших стадіях хвороби збільшується опір тканини. Це пояснюється тим, що під час запалення клітина набрякає, міжклітинні проміжки зменшуються, активний опір збільшується. На наступних стадіях запального процесу змінюються структура та хімічний склад клітин, що призводить до зменшення ємності та опору.

Отже, вимірювання електричних параметрів тканин може використовуватись як засіб діагностики стадій запальних процесів. Виявлено, що на різних стадіях утворення злоякісних пухлин ємнісний опір тканини змінюється. Тому цей показник можна використати для ранньої діагностики захворювання.

Були проведені наступні експерименти по визначенню кута зсуву фаз в залежності від ємності конденсатора. В якості патологічно зміненої тканини використовували живу тканину (рибу) та імітатор біологічної тканини. Зміною параметрів імітатора зімітовано різні параметри патологічно змінених тканин.

Експерименти проводили з п'ятьма видами еквівалентів біологічної тканини при частоті 200 кГц, причому на кожному з видів виміри проводились 4 рази.

Було знято осцилограми для імітатора з паралельним резистором 220 КОм, при частоті генератора 200 кГц, конденсаторами 10 нФ, 20 нФ, 51 нФ, 100 нФ, 200 нФ.

Різниця між фазою струму и фазою напруги (зсув фаз) залежить від активного та реактивного опорів.

За допомогою пакету електронних таблиць Excel з цифрових даних були побудовані графіки цих осцилограм та визначений зсув фаз φ.

Отриманні данні дають змогу на отримання об'єктивної інформації про стан біологічної тканини, що дозволило би ввести зворотній автоматичний зв'язок для регулювання процесу.

3D ТЕХНЛОГІЇ В АВІАБУДУВАННІ

І.Ю. Худецький, Ю.В. Антонова-Рафі, Дзюньвень ЦЗІ
Національний технічний університет «КПІ ім. Ігоря Сікорського», Київ

В Україні наразі понад 30 виробництв та ремонтних підприємств зайнятих розробкою, виробництвом та ремонтом авіаційної та іншої складної техніки з близькими вимогами. Розмір світового ринку 3D-друку деталей з нікелевих сплавів оцінюється в 15,2 мільярда доларів США до 2021 року, середній темп зростання на 21,75 % з 2022 по 2028 рік. На основі дослідження ринку та отриманих результатів нами запропоновано проєкт застосування 3D технлогії в авіабудуванні

Застосування економної технології 3D друку дорогих деталей з сплавів нікелю для аерокосмічної галузі методом контактного зварювання, які складно обробляти іншим способом.

Співвідношення міцності та ваги деталі є одвічною проблемою авіабудування.Її вирішення визначає місце виробника на ринку. Швидке виготовлення окремих деталей та малих партій складних точних компонентів в рамках ремонту, модернізації, досліджень.

Запропоноване наступне рішення проблеми, а саме застосування замкнутого циклу з CAD/CAM конструювання та 3D друку контактним зварюванням деталей з нікелевих сплавів для аерокосмічної техніки. Новітнім є саме застосування технології 3D друку складних просторово-формованих деталей безпосередньо з систем автоматизованого проектування у аерокосмічному виробництві. Технологія заснована на операції пошарового наплавлення щільних твердих сплавів на основі нікелю методом контактного зварювання.

Проведений порівняльний аналіз двох технологій. Виробництво з традиційних матеріалів традиційними технологіями: велика вага для необхідної міцності; процес займає близько півроку від розробки до виготовлення; висока собівартість; існують технологічні обмеження для виготовлення деталей з складною конструкцією. 3D друк з нікелевих сплавів технологією контактного зварювання: при достатньо низькій візі маємо високу міцність; процес від розробки до виготовлення триває дні чи навіть години; при низькій собівартості — виска ринкова ціна; не має обмежень по складності конструкції деталей, які виготовляються.

Перелічимо переваги запропонованої технології:

- короткий цикл досліджень і розробок нового аерокосмічного обладнання;
- підвищений рівень використання матеріалів;
- заощадження дорогих стратегічних матеріалів та зменшення витрати на виробництво;
- оптимізація структури деталей, зменшення ваги та збільшення терміну служби;
- ремонт і формування дослідних макетів деталей;
- співпрацює з традиційною технологією виробництва та доповнює її;
- низька собівартість при високій ринковій ціні.

Пропонується: Послуга з конструювання та 3D друку контактним зварюванням деталей з нікелевих сплавів для аерокосмічної та іншої техніки з подібними вимогами; Технологія 3D друку контактним зварюванням деталей з нікелевих сплавів.

Застосування технології 3D друку складних просторово-формованих деталей безпосередньо з систем автоматизованого проектування у аерокосмічному виробництві.

Технологія заснована на операції пошарового наплавлення щільних твердих сплавів на основі нікелю методом контактного зварювання.

Запропонований проєкт став фіналістом міжнародного конкурсу старт-ап проєктів Sikorsky Challenge-2022 р.

ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВІ 3D ТЕХНЛОГІЇ В ОРТОПЕДІЇ

І.Ю. Худецький, Ю.В. Антонова-Рафі, В.А. Матвійчук, В.М. Нестеренков, Дзюньвень ЦЗІ

Національний технічний університет «КПІ ім. Ігоря Сікорського», Київ

У світі понад 6 млн осіб щорічно потрапляють до клінік з великими пошкодженнями кісток після дорожніх аварій, вогнепальних поранень, травм в екстремальних видах спорту чи на виробництві. В Україні в мирний час 15, 9 % пацієнтів ортопедичних клінік, що оперуються мають відкриті або вогнепальні переломами. Як правило це здоровий працездатний контингент. Значна частина пацієнтів в результаті травм та ускладнень роками є непрацездатними чи стає інвалідами. Під час війни в Україні кількість таких пацієнтів зросла в рази.

Запровадження електронно-променевих технології 3D друку персоніфікованих елементів остеосинтезу, імплантатів та ендопротезів в практичну ортопедію

Інноваційним є використання технології виготовлення виробів з медичного титану методом 3D друку деталей складної просторової форми безпосередньо від системи автоматизованого проектування. В її основу покладено операцію пошарового сплавлення металевого порошку у вакуумі.

Проблеми пацієнтів з відкритими переломами та вогнепальними ураженнями кісток, які виникають при традиційному лікуванні: У пацієнта рана на різних стадіях інфекційного процесу з значною кількістю нежиттєздатних тканин, що потребує складної хірургічної обробки (лікування триває місяці). Завжди особливий дефект кістки при стандартних наборах елементів остеосинтезу. Тривале (1–3 роки) лікування з повторними реконструктивно-відновлювальними хірургічними втручаннями. Протезування за традиційними технологіями займає роки на проектування та виготовлення протеза. Ускладнення, інвалідизація, десоціалізація. Здорові працездатні люди внаслідок інциденту стають соціально залежними, потребують значних професійних ресурсів та фінансових витрат для свого утримання.

Рішенням проблем є застосування електронно-променевих 3D технології в ортопедії: 3D друк персоніфікованих елементів остеосинтезу, імплантатів, ендопротезів в рамках традиційних технологій ортопедичної допомоги. 3D друк персоніфікованих елементів остеосинтезу, імплантатів, ендопротезів як один з ключових елементів комплексних інноваційних реконструктивно-відновлювальних ортопедичних технологій, в складі кластеру «Реконструктивно-відновлювальні технології України».

Технологічні елементи функціонування цього кластеру: *Елемент 1.* Формування стерильної рани для проведення реконструктивно-відновлювальних операцій при вогнепальних пораненнях з великими дефектами кісток та при відкритих переломах включає в себе зупинку кровотечі з великих судин, паранхіметозних кровотечах та кровотечах з губчастих кісток, видалення нежиттєздатних тканин та фрагментів кістки, дезинфекція рани та з'єднання тканин найкраще ці маніпуляції здійснюються при застосуванні ВЧ-коагулятор, ВЧ-зварювання, багатофункціональних конвекційно-інфрачервоних хірургічних апаратів з функцією зварювання живих тканин. Окрема серія електротермо хірургічної апаратури пристосована для військово-польової хірургії *Елемент 2.* Технологія виготовлення персоніфікованих елементів остеосинтезу, імплантатів та ендопротезів з допомогою Електронно-променевого 3D принтеру. *Елемент 3.* Виготовлення синтетичних кісткових імплантатів з гідроксиапатиту трикальцій фосфату та біоситалів. *Елемент 4* кластеру був розроблений фахівцями КПІ ім. Ігоря Сікорського для прискорення біотрансформації синтетичних кісткових матеріалів за рахунок культивування, диференціювання та ре-культивування на синтетичному кістковому імплантаті мезенхімальних клітин пацієнта. *Елемент 5.* Спеціалізована клініка та ортопедичні методики. *Елемент 6.* Система підготовки кадрів.

Зменшення собівартості та підвищення якості надання ортопедичних послуг на 30–50 %; скорочення часу на лікування; зменшення кількості ускладнень та числа інвалідів; значний розрив між собівартістю та ринковою вартістю приладів, матеріалів та послуг у цьому сегменті ринку. Запропонований проєкт став фіналістом міжнародного конкурсу старт-ап проєктів Sikorsky Challenge-2022 р.

ПЕРЕДПЛАТА 2023

Журнали	Вартість передплати на друковані версії журналів*, грн.			
	місяць	квартал	півроку	рік
«Автоматичне зварювання», видається з 1948 р., 12 випусків на рік. ISSN 0005-111X. Передплатний індекс 70031.	280	840	1680	3360
«Сучасна електрометалургія», видається з 1985 р., 4 випуски на рік. ISSN 2415-8445. Передплатний індекс 70693.	–	280	560	1120
«Технічна діагностика та неруйнівний контроль», видається з 1989 р., 4 випуски на рік. ISSN 0235-3474. Передплатний індекс 74475.	–	280	560	1120
«The Paton Welding Journal»**, видається з 2000 р., 12 випусків на рік. ISSN 0957-798X. Передплатний індекс 21971.	560	1680	3360	6720

*Вартість з урахуванням доставки рекомендованою бандероллю.
** Журнал «The Paton Welding Journal» містить статті, отримані від авторів з усього світу і вибірково переклади на англійську мову статей з журналів «Автоматичне зварювання», «Сучасна електрометалургія», «Технічна діагностика та неруйнівний контроль».

Передплату на журнали можна оформити по каталогам передплатних агенцій «УКРПОШТА», «Преса», «Прес Центр», «АС Медіа» та у видавництві. Передплата через видавництво з любого місяця на любий термін, в т.ч. на попередні періоди та окремі статті, починаючи з першого року видання.

Передплата на електронну версію журналів.
Вартість передплати на електронну версію журналів дорівнює вартості передплати на друковану версію. Випуски журналу надсилаються електронною поштою у форматі pdf або для IP-адреси комп'ютера передплатника надається доступ до відповідних архівів журналу.

Передплата через сайт видавництва:
https://patonpublishinghouse.com/ukr/journals/as/subscription
https://patonpublishinghouse.com/ukr/journals/sem/subscription
https://patonpublishinghouse.com/ukr/journals/tdnk/subscription
https://patonpublishinghouse.com/eng/journals/tpwj/subscription

На сайті видавництва у 2022 р. доступні для вільного копіювання випуски журналів з 2007 по 2020 рр.

Журнал **«Автоматичне зварювання»** є міжнародним науково-технічним та виробничим журналом у галузі технічних наук. В журналі публікуються результати досліджень за напрямками: матеріалознавство та металургія зварювання, наплавлення та інших споріднених технологій; технології та матеріали для зварювання конструкційних матеріалів; виробництво зварних металоконструкцій для різних галузей промисловості; відновлювальний ремонт для подовження ресурсу зварних конструкцій і вузлів; проблеми міцності, конструювання та оптимізації зварних конструкцій; технології 3D друку, які базуються на зварювальних процесах; гібридні технології зварювання. В журналі публікується також інформація про нові зварювальні матеріали, джерела живлення та технології; звіти про виставки, конференції та семінари, анонси нових книг та винаходів, новини від відомих компаній та інше.

Журнал **«Сучасна електрометалургія»** є міжнародним науково-теоретичним та виробничим журналом у галузі технічних наук. В журналі публікуються результати досліджень у сферах: металургія чорних і кольорових металів та сплавів; спеціальна електрометалургія (електрошлакова, електронно-променева, плазмово- та вакуумно-дугова технології); нові матеріали; енерго- і ресурсозбереження; матеріалознавство, 3D технології у спеціальній електрометалургії. Публікується також допоміжна інформація з тематики журналу.

Журнал **«Технічна діагностика та неруйнівний контроль»** є міжнародним науково-технічним та виробничим журналом у галузі технічних наук. В журналі публікуються результати досліджень з діагностики матеріалів і конструкцій та методи неруйнівного контролю для оцінки стану матеріалів і конструкцій; теорія, методи і засоби технічної діагностики. Розміщуються матеріали з моніторингу конструкцій та подовження ресурсу та працездатності засобами НК. Публікується супутня інформація з тематики журналу, а також інформація про події та новини в Українському товаристві НК та ТД.

РЕКЛАМА В ЖУРНАЛАХ

Реклама публікується на обкладинках і внутрішніх вклейках журналів.
Перша сторінка обкладинки – 200x200 мм.
Друга, третя і четверта сторінки обкладинки – 200x290 мм.
Перша, друга, третя, четверта сторінки внутрішньої обкладинки – 200x290 мм.
Вклейка А4 – 200x290 мм. Розворот А3 – 400x290 мм. А5 – 185x130 мм.
Розміри журналів після обрізу 200x290 мм.
Всі файли в форматі IBM PC, кольорова модель CMYK, роздільна здатність 300 dpi.

ВАРТІСТЬ РЕКЛАМИ

Ціна договірна. Передбачена система знижок. Вартість публікації статті на правах реклами становить половину вартості рекламної площі. Публікується тільки профільна реклама з тематики журналів. Відносно вартості, знижок та термінів публікації прохання звертатися у видавництво.

ВИДАВНИЦТВО

Міжнародна Асоціація «Зварювання»
03150, Київ, вул. Казимира Малевича, 11
Тел./факс: 38044 205-23-90
E-mail: journal@paton.kiev.ua
https://patonpublishinghouse.com