

З А В Т О М А Т И Ч Н Е 8 С В А Р Ю В А Н Н Я 2021

Автоматическая сварка

Видається 12 разів на рік з 1948 р.

Automatic Welding

Published 12 times per year since 1948

ЗМІСТ

МЕТАЛУРГІЯ І ТЕХНОЛОГІЯ ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ТА НАПЛАВЛЕННЯ

- Книш В.В., Соловей С.О., Рябцев І.О., Бабінець А.А. Втомна довговічність зразків зі сталі 40Х після зносостійкого наплавлення з підшаром з низьколегованої сталі.....3
- Размишляев О.Д., Агеева М.В., Білик О.Г., Халед Е. Вплив поздовжнього керуючого магнітного поля на ефективність процесу дугового наплавлення.....9
- Лещинський Л.К., Іванов В.П., Матвієнко В.М., Степнов К.К., Воз'янов Є.І. Розробка технології наплавлення робочого шару змінного складу на обтискні прокатні валки.....14
- Стефанів Б.В. Розробка технології виготовлення бурових доліт із захисним покриттям робочих органів.....18

ПРОЦЕСИ ПАЙКИ

- Максимова С.В., Зволінський І.В., Іванченко Е.В. Вплив легуючих елементів на температури солідусу і ліквідусу сплавів системи Cu–Mn–Ni–Si.....24

3D ДРУК

- Сенченков І.К., Юрженко М.В., Червінко О.П., Масючок О.П., Кораб М.Г. Чисельне моделювання напружено-деформованого стану елементів, які виготовляються за допомогою 3D друку.....29

ЗВАРЮВАННЯ В ТВЕРДІЙ ФАЗІ

- Кучук-Яценко С.І., Гушин К.В., Зягор І.В., Самоотрясов С.М., Завертанний М.С., Левчук А.М. Структура та механічні властивості з'єднань алюмінієвого сплаву 2219-T87, отриманих контактним стиковим зварюванням опаленням.....35
- Добрушин Л.Д., Бризгалін А.Г., Шльонський П.С., Пекар Є.Д., Венцев С.Д. Розробка технології виготовлення апаратних затискачів з використанням зварювання вибухом.....41

ЗВАРЮВАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

- Костін О.М., Ярослав О.О., Ярослав Ю.О., Савенко О.В. Комплекс УПЕ-500 для визначення зварювально-технологічних характеристик покритих електродів.....47

ЗВАРЮВАННЯ ЗА КОРДОНОМ

- Welding in the World № 7–8, 2021.....53

СПАДЩИНА Б.Є. ПАТОНА

- Усе залишається людям.....54

ІНФОРМАЦІЯ

- Пристрій «ВВК/ТВА-1» для швидкого і точного візуального контролю протяжних металоконструкцій.....56
- До 100-річчя Дудка Д.А.58
- Пам'яті В.Д. Шелягіна.....60

CONTENT

METALLURGY AND TECHNOLOGY OF WELDING AND SURFACING

- Knysh V.V., Solovej S.O., Ryabtsev I.O., Babinets A.A. Fatigue life of specimens from 40Kh steel after wear-resistant surfacing with a low-alloy steel sublayer3
- Razmyshlyayev O.D., Ageeva M.V., Bilyk O.G., Khaled E. Influence of longitudinal controlling magnetic field on the effectiveness of arc surfacing process9
- Leshchinskiy L.K., Ivanov V.P., Matviyenko V.M., Stepnov K.K., Vozyanov E.I. Development of surfacing technology for the working layer of variable composition on the blooming rolls14
- Stefaniv B.V. Development of technology of manufacture of drill bits with protective coating of working bodies.....18

BRAZING

- Maksymova S.V., Zvolinskyi I.V., Ivanchenko E.V. Influence of alloying elements on solidus and liquidus temperatures of Cu–Mn–Ni–Si system alloys.....24

3D PRINTING

- Senchenkov I.K., Iurzhenko M.V., Chervinko O.P., Masiuchok O.P., Korab M.G. Numerical modelling of stress-strain state of elements manufactured by 3D printing.....29

SOLID PHASE WELDING

- Kuchuk-Yatsenko S.I., Hushchyn K.V., Ziakhov I.V., Samotryasov S.M., Zavertannyi M.S., Levchuk A.M. Structure and mechanical properties of 2219-T87 aluminum alloy joints produced by flash butt welding35
- Dobrushin L.D., Bryzgalin A.G., Shlonskiy P.S., Pekar E.D., Ventsev S.D. Development of the technology of manufacturing hardware clamps, using explosion welding41

WELDING CONSUMABLES

- Kostin O.M., Yaros O.O., Yaros Y.O., Savenko O.V. UPE-500 complex for determining welding and technological characteristics of coated electrodes47

WELDING ABROAD

- Welding in the World № 7–8, 2021.....53

B.E. PATON'S HERITAGE

- Everything remains for people.....54

INFORMATIONS

- VIK/TVA-1 device for fast and accurate visual inspection of stretched metal structures56
- To the 100th anniversary of D.A. Dudko.....58
- In memory of V.D. Shelyagin.....60



Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАНУ представляє Україну
в Міжнародному інституті зварювання
та в Європейській зварювальній федерації
The E.O. Paton Electric Welding Institute of the NASU represents Ukraine
in International Institute of Welding
and in European Federation for Welding



Автоматичне зварювання Автоматическая сварка Automatic Welding

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Вчені ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАНУ:
І.В. Кривцун (головний редактор),
В.М. Ліподаєв (штатний заст. гол. ред.)
О.М. Берднікова, Ю.С. Борисов,
В.В. Книш, В.М. Коржик,
Ю.М. Ланкін, Л.М. Лобанов,
С.Ю. Максимов, М.О. Пашчин,
В.Д. Позняков, І.О. Рябцев,
К.А. Ющенко;
В.В. Дмитрик, НТУ «ХПІ», Харків;
В.В. Квасницький, Є.П. Чвертко,
НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», Київ;
М.М. Студент, Фізико-механічний інститут
ім. Г.В. Карпенка НАНУ, Львів;
М. Зініград, Аріельський університет, Ізраїль;
У. Райсген, Інститут зварювання та з'єднань,
Аахен, Німеччина;
Я. Пілярчик, Інститут зварювання, Глівіце, Польща

Засновники

Національна академія наук України,
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАНУ,
Міжнародна Асоціація «Зварювання» (видавець)

Адреса

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАНУ
03150, Україна, Київ-150,
вул. Казимира Малевича, 11
Тел.: (38044) 200 2302, 200 8277
Факс: (38044) 200 8277
E-mail: journal@paton.kiev.ua
www.patonpublishinghouse.com/ukr/journal/as

Журнал входить до переліку затверджених
Міністерством освіти і науки України видань
для публікації праць здобувачів наукових ступенів за
спеціальностями 131, 132, 151
Наказ МОН України № 409 від 17.03.2020.

Рекомендовано до друку
редакційною колегією журналу

Свідоцтво про державну
реєстрацію KB 4788 від 09.01.2001

ISSN 0005-111X
DOI: <http://dx.doi.org/10.37434/as>

Передплата 2021

Передплатний індекс 70031.

12 випусків на рік (видається щомісячно).

Друкована версія: 2880 грн. за річний комплект
з урахуванням доставки рекомендованою банделроллю.

Електронна версія: 2880 грн. за річний комплект
(випуски журналу надсилаються електронною поштою
у форматі .pdf або для IP-адреси комп'ютера
передплатника надається доступ до архіву журналу).
Передплата можлива на попередні випуски за будь-який рік.

Журнал «Автоматичне зварювання» перевидается
англійською мовою під назвою
«The Paton Welding Journal»:
www.patonpublishinghouse.com/eng/journals/tpwj

За зміст рекламних матеріалів
редакція журналу відповідальності не несе.

EDITORIAL BOARD

Scientists of E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU:

I.V. Krivtsun (Editor-in-Chief),
V.M. Lipodaev (Staff Deputy Editor-in-Chief)
O.M. Berdnikova, Yu.S. Borisov,
V.V. Knysh, V.M. Korzhik,
Yu.M. Lankin, L.M. Lobanov,
S.Yu. Maksimov, M.O. Pashchin,
V.D. Poznyakov, I.O. Ryabtsev,
K.A. Yushchenko;
V.V. Dmitrik, NTU «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv;
V.V. Kvasnytskyi, E.P. Chvertko, NTUU «Igor Sykorsky
Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv;
M.M. Student, Karpenko Physico-Mechanical Institute
of NASU, Lviv;
M. Zinigrad, Ariel University, Israel;
U. Reisgen, Welding and Joining Institute, Aachen, Germany;
Ja. Pilarczyk, Welding Institute, Gliwice, Poland

Founders

National Academy of Sciences of Ukraine,
E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU,
International Association «Welding» (Publisher)

Address

E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU
03150, Ukraine, Kyiv-150,
11 Kazymyr Malevych Str.
Tel.: (38044) 200 2302, 200 8277
Fax: (38044) 200 8277
E-mail: journal@paton.kiev.ua
www.patonpublishinghouse.com/eng/journal/as

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.

Recommended for printing editorial board of the Journal

Certificate of state registration
of KV 4788 dated 09.01.2001
ISSN 0005-111X

DOI: <http://dx.doi.org/10.37434/as>

Subscription 2021

Subscription index 70031.

12 issues per year (issued monthly), back issues available.

\$216, subscriptions for the printed (hard copy) version,
air postage and packaging included.

\$144, subscriptions for the electronic version
(sending issues of Journal in pdf format
or providing access to IP addresses).

Subscription is possible for previous issues for any year.

«Avtomatychne Zvaryuvannya» (Automatic Welding)
journal is republished in English under
the title «The Paton Welding Journal»:
www.patonpublishinghouse.com/eng/journals/tpwj

The editorial board is not responsible
for the content of the promotional material.

КОМПЛЕКС УПЕ-500 ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЗВАРЮВАЛЬНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОКРИТИХ ЕЛЕКТРОДІВ

О.М. Костін¹, О.О. Ярос², Ю.О. Ярос², О.В. Савенко³

¹Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова. 54025, м. Миколаїв, просп. Героїв України, 9.
E-mail: kostin.weld@gmail.com

²Товариство з обмеженою відповідальністю «АМІТ». 54028, м. Миколаїв, вул. Новозаводська, 42. E-mail:
yaros.amity.mk.ua@gmail.com

³Приватне акціонерне товариство «ПлазмаТек». 21036, м. Вінниця, вул. Максимовича, 18. E-mail: alexsv62@gmail.com

Представлено методику кількісної оцінки зварювально-технологічних характеристик покритих електродів з використанням комплексу УПЕ-500, який забезпечує високу стабільність процесу контрольованого зварювання в усіх просторових положеннях в автоматичному режимі. Комплекс оснащений вимірювальною системою PicoScore 4444 з програмним забезпеченням PicoScore 6, які фіксують та статистично обробляють з високою достовірністю параметри стабільності процесу зварювання, що забезпечує контроль в онлайн режимі якості виготовлення промислових партій електродів. Бібліогр. 8, табл. 1, рис. 3.

Ключові слова: електрод, стабільність плавлення, методика оцінки, автоматичний режим

Сучасна технологія виготовлення покритих електродів, з моменту їх винаходу Оскаром Кельбергом у 1904 р., пройшла складний шлях вдосконалення та забезпечує якісне зварювання широкого спектру конструкційних матеріалів. Переважна більшість властивостей електродів, такі як механічні характеристики наплавленого металу, його хімічний та структурний склад, вміст шкідливих домішок та газів, корозійна стійкість та інші, регламентуються та легко контролюються виробниками за кількісними показниками. Однак зварювально-технологічні характеристики покритих електродів, які мають вирішальне значення для забезпечення стабільності процесу зварювання, традиційно контролюють, покладаючись на суб'єктивну якісну оцінку висококваліфікованого зварника. Це не є в повній мірі об'єктивним та потребує вдосконалення.

Не зважаючи на те, що наукове середовище активно використовує кількісні показники стабільності горіння дуги при розробці нових складів покриттів та вдосконаленні технології виготовлення електродів, виробники не мають серійного обладнання, яке б могло за кількісними критеріями оцінювати зварювально-технологічні характеристики при виготовленні промислових партій покритих електродів. Використання такого обладнання в електродному виробництві дозволить в автоматичному режимі з високою точністю оцінювати якість виготовлення електродів, що є вкрай актуальним. В цьому зв'язку науково-промислова фірма ТОВ «АМІТ» (м. Миколаїв), за замовленням

компанії ПрАТ «ПлазмаТек» (м. Вінниця) спроектувала та виготовила лабораторний комплекс УПЕ-500 (ТУ У 27.9-20864642-003:2021), за допомогою якого виробник може в онлайн режимі контролювати якість продукції. Робота виконувалась за методичною допомогою експертів Українського атестаційного комітету зварників та за сприянням Товариства зварників України.

Аналіз та методика досліджень. Стабільність процесу зварювання є складним та багатофакторним поняттям та не має стандартизованого визначення. Найбільш вдалим формулюванням цього фізичного явища, на думку багатьох авторів, є визначення Ю.М. Ланкіна, яке він навів в статті [1]: «Процес зварювання, відхилення параметрів якого від середніх значень не перевищує заданого рівня, називається стабільним. Мірою стабільності є відхилення від параметра середнього значення. Як відхилення параметра від середнього значення приймається його дисперсія, середньоквадратичне відхилення або коефіцієнт варіації». Таким чином, стабільність процесу зварювання можна контролювати цілком кількісними показниками.

В цьому зв'язку, основними параметрами режиму зварювання, які традиційно використовуються для оцінки стабільності масопереносу, є тривалість короткого замикання дугового проміжку ($\tau_{к.з.}$, мс), тривалість циклу – період утворення та перенесення краплі ($T_{к.з.}$, мс), значення струму (максимальне I_{max} та мінімальне I_{min} , А); швидкість наростання струму ($V_{наростання}$ та $V_{спадку}$, А/с) [1, 2]. При цьому, наприклад, в роботі [3] автори

Костін О.М. – <https://orsid.org/0000-0002-4739-660X>, Ярос О.О. – <https://orsid.org/0000-0002-5274-3514>,

Савенко О.В. – <https://orsid.org/0000-0001-9214-3014>

© О.М. Костін, О.О. Ярос, Ю.О. Ярос, О.В. Савенко, 2021

пропонують в якості критерію стабільності використовувати середньоквадратичні відхилення тривалості короткого замикання ($\sigma \tau_{к.з.}$) та їх частоти ($\sigma T_{к.з.}$), а авторами робіт [2, 4] – середньоквадратичне відхилення амплітудного значення струму ($\sigma I_{зв.}$), струму короткого замикання ($\sigma I_{зв.макс}$) та коефіцієнт варіації швидкості наростання струму короткого замикання ($K_v I_{зв.макс}$).

Вибір конкретних параметрів стабільності процесу залежить від виду масопереносу, оскільки стабільність масопереносу і є стабільністю процесу. Академік Патон Б.Є. чітко описав граничні види масопереносу як крупнокрапельний (з короткими замиканнями або без них) та туманоподібний [5]. Для кожного типу покриття електродів характерний свій вид масопереносу. Наприклад, для електродів з основним типом покриття характерне крупнокрапельне перенесення (як правило, з короткими замиканнями), тому критеріями стабільності процесу є критерії стабільності коротких замикань (перенесення краплі) – дисперсія і коефіцієнт варіації частоти коротких замикань або їх періоду. Для електродів з рутилово-целюлозним покриттям характерне дрібнокрапельне і навіть туманоподібне перенесення, при якому коротке замикання є виключенням і не може служити критерієм стабільності процесу і навпаки – малі відхилення зварювального струму є показником стабільного дрібнокрапельного переносу. Тому для оцінки стабільності процесу плавлення електродів з рутилово-целюлозним покриттям застосовують дисперсію та коефіцієнт варіації зварювального струму [4]. Таким чином, єдиної стандартизованої методології визначення стабільності процесу зварювання не існує і вибір методики досліджень залежить від параметрів об'єкту досліджень.

Перш за все, треба зауважити, що переважна більшість сертифікованих електродів, які забезпечують наплавлення металу з низьким вмістом шкідливих домішок та газів, гарантують працездатність зварних конструкцій, що працюють в умовах граничного динамічного навантаження, особливо при від'ємних температурах, мають покриття основного типу. В цьому зв'язку робота була зосереджена на дослідженні стабільності процесу зварювання електродами з основним типом покриття. На основі аналізу існуючих публікацій з цього приводу та попередніх досліджень нами були обрані наступні критерії оцінки стабільності процесу масопереносу: середня частота коротких замикань (масопереносу) – $f_{ср.}$; середньоквадратичне відхилення частоти коротких замикань (масопереносу) – σ ; коефіцієнт варіації частоти коротких замикань (масопереносу) – $K_{vf} = \sigma/f_{ср.}$; розрахункова маса краплі, що визначається як фізично очевидне відношення масової

швидкості плавлення до частоти масопереносу $m_{ср.} = dM/f_{ср.}$.

Розрахункова маса краплі необхідна для порівняння з критичною масою краплі $m_{кр.}$, що є одним із граничних критеріїв оцінки стабільності процесу. Критичною масою краплі автори прийняли масу краплі діаметром, який рівний діаметру електрода (наприклад, для електрода діаметром 4 мм $m_{кр.} = 0,26$ г). Фізично очевидно, що подальше перевищення розміру, а, отже, і маси краплі призводить до її недостатнього захисту шлаком, викликає підвищене розбризкування і повну дестабілізацію процесу зварювання. Отримані іншими авторами дані про вплив розміру краплі на стабільність процесу зварювання підтверджують правомірність застосування цього критерію [6]. Реальна маса краплі буде дещо менше розрахункової, враховуючи процеси вигорання, випаровування та часткового диспергування рідкого металу, що дає дослідникам запас в безпечну сторону. Таким чином, першою умовою стабільності процесу є нерівність $m_{ср.} < m_{кр.}$.

Наведені статистичні показники масопереносу (коротких замикань) характеризують стабільність процесу, однак не в повній мірі визначають зручність та якість зварювання. Всі попередні дослідники відзначають важливість збільшення частоти та зменшення маси краплі для підвищення зручності та якості зварювання, в тому числі й повноти протікання обмінних реакцій [6]. Таким чином, зварник, при однаковій стабільності процесу, інтуїтивно надає перевагу електродам, які забезпечують більш високу частоту масопереносу та менший розмір крапель. В цьому зв'язку, враховуючи той факт, що середня частота коротких замикань не може бути абсолютно об'єктивною для порівняння, оскільки вона змінюється в межах, що описується коефіцієнтом варіації, в роботі вперше введено новий показник – критична частота масопереносу, яка дорівнює різниці середньої частоти і середньоквадратичного відхилення частоти $f_{кр.} = f_{ср.} - \sigma$. Математично, критична частота масопереносу відповідає властивостям нормального розподілу, що описується конкретними значеннями середньої частоти коротких замикань та середньоквадратичного відхилення частоти коротких замикань, фізично – визначає нижню границю частоти масопереносу, при цьому 82 % переходу крапель відбувається з більшою частотою. Відповідно, в таких умовах можливо утворення крапель з середнім максимальним розміром $m_{макс} = dM/f_{кр.}$, що можна додатково враховувати для порівняння з критичною масою краплі $m_{кр.}$.

Достовірність отриманих результатів залежить в першу чергу від методів отримання та обробки результатів. В цьому зв'язку вимірювання та фіксацію електричних параметрів, а також їх

статистичних характеристик виконували за допомогою вимірювальної системи PicoScore 4444 та програмного забезпечення PicoScore 6. При вимірюваннях використовується вбудований в PicoScore 4444 цифровий частотний фільтр з частотою 40 Гц [4], що виключає вплив мережі 50 Гц. У порівнянні з більшістю вимірювальних систем PicoScore 4444 в комплекті з PicoScore 6 має ряд переваг. Розглянемо їх детально, оскільки це визначає якість та достовірність отриманих даних.

Вимірювальна система PicoScore 4444 та програмне забезпечення PicoScore 6 дозволяють в автоматичному режимі визначати середньоарифметичне значення і середньоквадратичне відхилення не тільки зварювального струму та напруги, а й частоти масопереносу. При цьому автоматичне застосування амплітудно-частотного аналізу, що засноване на перетворенні Фур'є і враховує застосований цифровий частотний фільтр, дозволяє в автоматичному режимі достовірно визначити частоту та інші характеристики масопереносу, навіть при частковій або повній відсутності коротких замикань при масопереносі, що особливо важливо для отримання характеристик при великій довжині дуги. Крім того, автоматичне визначення та реєстрація середньоарифметичного значення та середньоквадратичного відхилення частоти масопереносу дозволяють суттєво збільшити час процесу, що аналізується, чим істотно підвищується достовірність отриманих результатів. В нашому випадку ми обмежили час автоматичного аналізу до 50 с, що навіть при частоті 3 Гц забезпечує 150 циклів масопереносу. Достовірність отриманих даних підвищує також застосування автоматичної обробки осцилограм. Отримана достовірність результатів дозволяє в повній мірі застосовувати один з принципів математичної статистики: «Якщо значення коефіцієнта варіації не перевищує 33 %, то сукупність вважається однорідною, а якщо більше 33 %, то – неоднорідною». В нашому випадку: якщо значення коефіцієнта варіації частоти масопереносу не перевищує 33 %, то процес стабільний, а якщо більше 33 %, то – нестабільний. Таким чином, другою умовою стабільності процесу є нерівність $K_y < 33 \%$.

Для реалізації всіх переваг наведеної методики комплексної оцінки зварювально-технологічних характеристик покритих електродів було сконструйовано та виготовлено лабораторний комплекс УПЕ-500, який відповідає потребам сучасного виробництва зварювальних матеріалів.

Лабораторний комплекс УПЕ-500. Комплекс УПЕ-500 призначений для визначення та оптимізації зварювально-технологічних характеристик покритих електродів та зварювального дроту в комбінації із захисними газами при зварюванні в усіх просторових положеннях. В роботі комплексу реалізовано принцип Bi-Auto, який передбачає автома-

тичну фіксацію, обробку та реєстрацію отриманих даних з одночасною стабілізацією режимів зварювання, яке виконується також в автоматичному режимі. Такий принцип роботи дозволяє отримувати автентичні характеристики стабільності плавлення електродів, без суб'єктивного втручання оператора.

Комплекс дозволяє виконувати зварювання із застосуванням різних джерел живлення, як постійного, так і змінного струму. Категорично забороняється використовувати зварювальні джерела живлення з осциляторами, стабілізаторами або іншими імпульсними високовольтними пристроями для стабілізації дуги. Комплекс складається з трьох частин: пульта управління з портом для підключення персонального комп'ютера, блоку вимірювання і комутації, з можливістю підключення осцилографа і безпосередньо маніпулятора. Зовнішній вигляд маніпулятора показано на рис. 1.

Маніпулятор забезпечує в автоматичному режимі характерні для зварника переміщення зварювального інструмента поперек та уздовж шва і подачу електрода при зварюванні покритим електродом. При цьому функція динамічного регулювання швидкості його подачі із зворотним зв'язком стабілізує напругу дуги, що з високою точністю фіксує її довжину. В комплексі також передбачена цифрова фіксація параметрів і відеофіксація процесу зварювання. Крім того, комплекс підключено до центрального серверу підприємства, що дозволяє в онлайн режимі контролювати якість виготовлення електродів. Вся отримана інформація архівується, що дає можливість мати банк даних для подальшого статистичного аналізу з метою визначення оптимальних шляхів вдосконалення електродного виробництва.



Рис. 1. Зовнішній вигляд маніпулятора

Основні робочі характеристики комплексу УПЕ-500:

Габарити робочого місця:	
довжина, мм	450
ширина, мм	400
висота, мм	400
Подача покритого електрода в зону зварювання із плавним регулюванням напруги зварювання в діапазоні, В	12...50
Переміщення виробу або зварювального інструмента з плавним регулюванням швидкості в діапазоні, см/хв	0...87
Плавне регулювання переміщення зварювального інструмента поперек зварного шва: лінійний та круговий рух для всіх просторових положень	
амплітуда коливань, мм	0...55 (0...100 %)
окремо регульовані (ліво/право) затримки по краях, с	0...5 (0...100 %)
швидкість коливань, см/хв.....	17,8...178 (0 ... 100 %)
Позиціонування зварювального інструмента в усіх просторових положеннях:	
діапазон лінійного позиціонування поперек шва, мм.....	0...400
діапазон лінійного позиціонування по вертикалі, мм.....	0...400
діапазон кругового позиціонування в поперечній площині шва, град	0...360
діапазон нахилу в поздовжній площині шва, град.....	0...45
максимальна допустима довжина електрода, мм.....	500

Для забезпечення якісного тестового зварювання з використанням комплексу УПЕ-500 було розроблено специфікації процесів зварювання (WPS) для стикових та кутових зварних з'єднань, а також для наплавлення в усіх просторових положеннях. Специфікації процесів зварювання оформлено у відповідності до вимог стандарту ДСТУ ISO 15609-1:2019. Технології зварювання та наплавлення атестовано у відповідності до вимог стандартів ДСТУ EN ISO 15614-1:2019 та ДСТУ EN ISO 15614-7:2019. Характерний зовнішній вигляд зварних швів,

що були виконані з використанням комплексу УПЕ-500, наведено на рис. 2.

Можливості комплексу дозволяють кількісно оцінювати показники стабільності плавлення електродів, які серійно виробляються, та порівнювати їх в автоматичному режимі з еталонними значеннями, що дозволяє забезпечувати потрібну якість виготовлення електродів. Крім того, лабораторний комплекс можна використовувати для оцінки ефективного діапазону параметрів режиму зварювання конкретних марок електродів, еластичності дуги (рекомендований діапазон довжини дуги при зварюванні), впливу складових покриття та їх стану на стабільність плавлення електродів, тестування нових марок електродів з метою запровадження їх у серійне виробництво, рішення питань рекламацийного характеру, які пов'язані із спірною оцінкою якості електродної продукції споживачем та багато іншого, що супроводжує сучасне електродне виробництво.

Приклад використання. Компанія ПрАТ «ПлазмаТек» з успіхом виробляє електроди УОНИ-13/55 «ПЛАЗМА», які мають великий попит у споживача завдяки збалансованому відношенню ціни до якості. Однією з переваг цих електродів, які відносяться до типу Е 7018 за стандартом AWS A5.1, є наявність в обмазці порошку заліза [7, 8], що підвищує ефективність їх використання на 20 %. При цьому компенсуються втрати металу на вигорання та розбризкування, знижуються витрати електродів на 10...15 %, збільшується продуктивність наплавлення на 8...10 % та поліпшується формування шва та відокремлення шлакової кірки. Традиційно для виготовлення цих електродів на підприємствах компанії використовували суміш порошків заліза

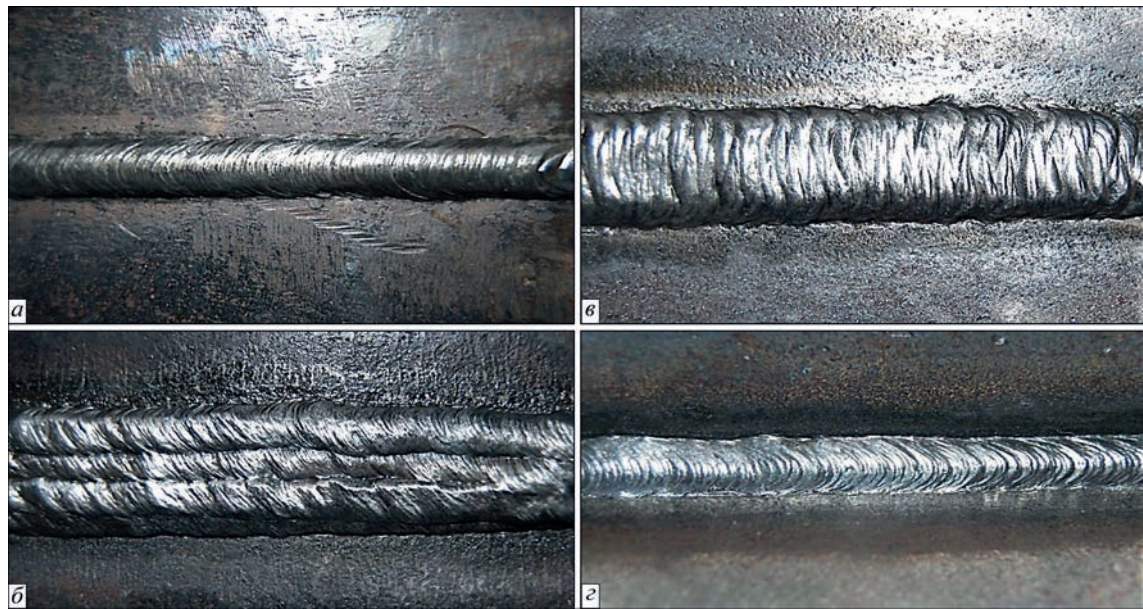


Рис. 2. Зовнішній вигляд стикових (а, б, в) та кутового (з) швів в просторових положеннях: а – нижнє; б – горизонтальне; в – стельове; з – горизонтально-стельове

Список літератури

1. Ланкин Ю.Н. (2011) Показатели стабильности процесса дуговой сварки плавящимся электродом. *Автоматическая сварка*, **1**, 7–15.
2. Походня И.К. (1990) *Металлургия дуговой сварки. Процессы в дуге и плавление электродов*. Киев, Наукова думка.
3. Ильященко Д.П. (2017) *Влияние энергетических параметров инверторных источников питания на структуру и свойства неразъемных соединений при ручной дуговой сварке*. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Томск, Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук.
4. Летягин И.Ю. (2010) *Разработка методов оперативной оценки стабильности горения и повторного возбуждения дуги при ручной дуговой сварке*. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Пермь, Пермский государственный технический университет.
5. Патон Б.Е. (ред.) (1974) *Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением*. Москва, Машиностроение.
6. Жизняков С.Н., Сидлин З.А. (2006) *Ручная дуговая сварка. Материалы. Оборудование. Технологии*. Киев, Экотехнология.
7. Didi Sumardiyanto, Sri Endah Susilowati (2019) Effect of Welding Parameters on Mechanical Properties of Low Carbon Steel API 5L Shielded Metal Arc Welds. *American Journal of Materials Science*, **9**(1), 15–21.
8. Santhosh, S., Jaganathan, S., Anantha Raman, L., Balmurugan, M. (2018) Experimentation and comparative study of E6013 and E7018 weldments using shielded metal arc welding. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, **8**, 169–174.

References

1. Lankin, Yu.N. (2011) Indicators of stability of the GMAW process. *The Paton Welding J.*, **1**, 6–13.
2. Pokhodnya, I.K. (1990) *Metallurgy of arc welding. Processes in arc and melting of electrodes*. Kiev, Naukova Dumka [in Russian].
3. Ilyashchenko, D.P. (2017) Influence energy parameters of inverter power sources on structure and properties of permanent joints in manual arc welding. In: *Syn. of Thesis for Cand. of Techn. Sci. Degree*. Tomsk, RF [in Russian].
4. Letyagin, I.Yu. (2010) Development of methods of rapid evaluation of arc burning stability and repeated arc ignition in manual arc welding. In: *Syn. of Thesis for Cand. of Techn. Sci. Degree*. Perm, PSTU [in Russian].
5. (1974) *Technology of electric fusion welding of metals and alloys*. Ed. by B.E. Paton. Moscow, Mashinostroyeniye [in Russian].
6. Zhiznyakov, S.N., Sidlin, Z.A. (2006) *Manual arc welding. Materials. Equipment. Technology*. Kiev, Ekotekhnologiya [in Russian].
7. Didi Sumardiyanto, Sri Endah Susilowati (2019) Effect of welding parameters on mechanical properties of low carbon steel API 5L shielded metal arc welds. *American J. of Materials Sci.*, **9**(1), 15–21.
8. Santhosh, S., Jaganathan, S., Anantha Raman, L., Balmurugan, M. (2018) Experimentation and comparative study of E6013 and E7018 weldments using shielded metal arc welding. *Int. J. of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, **8**, 169–174.

UPE-500 COMPLEX FOR DETERMINING WELDING AND TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS OF COATED ELECTRODES

O.M. Kostin¹, O.O. Yaros², Y.O. Yaros², O.V. Savenko³

¹Geroiv Ukraine Av., 54025, Mykolaiv, Ukraine. E-mail: kostin.weld@gmail.com

²42, Novozavodska Str., 54028, Mykolaiv, Ukraine. E-mail: yaros.amity.mk.ua@gmail.com

³18, Maksymovycha Str., 21036, Vinnytsia, Ukraine. E-mail: alexsv62@gmail.com

The article presents the methodology of quantitative evaluation of welding-technological characteristics of coated electrodes using the UPE-500 complex, which provides a high stability of the control welding process in all spatial positions in the automatic mode. The complex is equipped with the measuring system PicoScope 4444 with the software PicoScope 6 which fix and statistically process high reliability parameters of welding process stability that provides online-control of quality of manufacturing industrial batches of electrodes. 8 Ref., 1 Tabl., 3 Fig.

Keywords: electrode, melting stability, evaluation methodology, automatic mode

Надійшла до редакції 11.05.2021



Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Міжнародна Асоціація «Зварювання»

Десята міжнародна конференція ПРОМЕНЕВІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЗВАРЮВАННІ та ОБРОБЦІ МАТЕРІАЛІВ

6 – 11 вересня 2021 р., Україна, Одеса

Голова програмного комітету – академік І.В. Кривцун

Тематика конференції

- Лазерне та електронно-променеве зварювання, різання, наплавлення, термообробка, нанесення покриттів
- Електронно-променева плавка та рафінування
- Гібридні процеси
- 3D технології
- Моделювання променевих технологій. Неруйнівний контроль.
- Матеріалознавчі проблеми лазерних та електронно-променевих технологій

АДРЕСА ОРГКОМІТЕТУ

Україна, 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України
Тел./факс: (38044) 200-82-77

E-mail: journal@paton.kiev.ua | http://pwi-scientists.com/rus/ltwmp2021