

З А В Т О М А Т И Ч Н Е 2 З В А Р Ю В А Н Н Я 2025

«Автоматичне зварювання»

«Avtomatychne Zvaryuvannya» (Automatic Welding)

Видається з 1948 р.

www.patonpublishinghouse.com/ukr/journals/as

Published since 1948

ЗМІСТ

До 155 річчя від дня народження Є.О. Патона 3

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

Лобанов Л.М., Пащин М.О., Міходуй О.Л., Тимошенко О.М., Шиян К.В., Карлов О.М., Кондратенко І.П., Кришчук Р.С., Чопик В.В. Магнітоімпульсна обробка зварних з'єднань у процесі зварювання плавленням ... 7

Хаскін В.Ю., Сухий К.М., Овчинников О.В., Зайчук О.В. Застосування мікроплазмового наплавлення для 3D друку деталей двигунів аерокосмічної техніки 12

Гайворонський О.А., Позняков В.Д., Сафінський А.В., Завдовцев А.В., Алексєєнко Т.О., Ящук В.А. Шляхи підвищення опору втомному руйнуванню зварних з'єднань броньових сталей високої твердості 23

ВИРОБНИЧИЙ РОЗДІЛ

Царюк А.К., Скульський В.Ю., Єлагин В.П., Осипенко І.Г. Технологічна міцність з'єднань сталі 25ХНЗМФА при зварюванні під флюсом 29

Бабінець А.А., Рябцев І.О., Лентюгов І.П. Методика оцінки зварювально-технологічних властивостей порошкових дротів для дугового наплавлення 38

Шаповалов Є.В., Новодранов А.С., Ващенко В.М., Савицький О.М., Топчев Д.Д. Специфіка використання імпульсної дуги та дуги постійної потужності в 3D технологіях наплавлення 45

Кулешов В.А., Покляцький А.Г. Санітарно-гігієнічна оцінка рівня шуму при зварюванні тертям з перемішуванням алюмінієвих сплавів 51

ІНФОРМАЦІЯ

Порошкові дроти і стрічки для зварювання, наплавлення та різання 56

Розробки Асоціації «ОКО» для неруйнівного контролю рейок 64

Навчання зварюванню без зайвих зусиль 65

CONTENTS

On the 155th anniversary of E.O. Paton's birth 3

SCIENTIFIC AND TECHNICAL

Lobanov L.M., Pashchyn M.O., Mikhodui O.L., Timoshenko A.N., Shyian K.V., Karlov O.M., Kondratenko I.P., Kryshchuk R.S., Chopyk V.V. Magnetic pulse treatment of welded joints in the process of fusion welding 7

Khaskin V.Yu., Ovchynnykov O.V., Sukhyi K.M., Zaichuk O.V. Application of microplasma deposition for 3D printing of aerospace engine parts 12

Gaivoronsky O.A., Poznyakov V.D., Safinsky A.V., Zavdoveev A.V., Alekseenko T.O., Yashchuk V.A. Ways to increase the fatigue fracture resistance of welded joints of high-hardness armored steels 23

INDUSTRIAL

Tsaryuk A.K., Skulskyi V.Yu., Yelagin V.P., Osipenko I.G. Technological strength of 25KhN3MFA steel joints in submerged-arc welding 29

Babinets A.A., Ryabtsev I.O., Lentuygov I.P. Methodology for evaluating the welding and technological properties of flux-cored wires for arc surfacing 38

Shapovalov E.V., Novodranov A.S., Vashchenko V.M., Savytskyi O.M., Topchev D.D. Specifics of using pulsed arc and constant power arcs in 3D welding technologies 45

Kuleshov V.A., Poklyatskyi A.G. Sanitary and hygienic assessment of noise levels during friction stir welding of aluminium alloys 51

INFORMATION

Flux-cored wires and strips for welding, surfacing and cutting 56

Developments of the «OKO» Association for non-destructive testing of rails 64

Learning to weld without any effort 65



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



Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона Національної академії наук України
Міжнародний науково-технічний та виробничий журнал
E.O. Paton Electric Welding Institute of National Academy of Sciences of Ukraine
International Scientific-Technical and Production Journal
«Автоматичне зварювання»

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Вчені ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАНУ (Київ):
І.В. Кривцун (головний редактор),
О.М. Берднікова, В.В. Книш,
В.М. Коржик, В.А. Костін, Ю.М. Ланкін,
Л.М. Лобанов, С.Ю. Максимов,
О.В. Махненко, М.О. Пашин,
В.Д. Позняков, І.О. Рябцев,
І.Ю. Романова – відповідальний секретар;
В.В. Дмитрик, НТУ «ХПІ», Харків;
В.В. Квасницький, Є.П. Чвертко,
НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», Київ;
А.Л. Маїстренко,
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАНУ;
В.В. Перемітько,
Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське;
У. Райсген, Інститут зварювання та з'єднань,
Аахен, Німеччина.
Виконавчий директор – О.Т. Зельніченко,
Міжнародна Асоціація «Зварювання», Київ

Видавець

Міжнародна Асоціація «Зварювання»

Адреса редакції

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАНУ
03150, Україна, Київ, вул. Казимира Малевича, 11
Тел./факс: (38044) 205-23-90
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, 141, 151.
Наказ МОН України № 409 від 17.03.2020.

Рекомендовано до друку редакційною колегією журналу

Журнал зареєстровано Національною радою України з
питань телебачення і радіомовлення 9 травня 2024 року,
ідентифікатор медіа R30-04566.
ISSN 3041-2374 print
ISSN 3041-234X online
DOI: <http://dx.doi.org/10.37434/as>

Передплата 2025

Передплатний індекс 70031.
6 випусків на рік (видається раз на два місяці).
Друкована версія: 1800 грн. за річний комплект
з урахуванням доставки рекомендованою банделроллю.
Електронна версія: 1800 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.
Статті з журналу «Автоматичне зварювання» вибірково
перевідаються англійською мовою в журналі
«The Paton Welding Journal»:
www.patonpublishinghouse.com/eng/journals/tpwj
За зміст рекламних матеріалів
видавець відповідальності не несе.

EDITORIAL BOARD

Scientists of E.O. Paton Electric Welding Institute
of NASU (Kyiv, Ukraine):
I.V. Krivtsun (Editor-in-Chief),
O.M. Berdnikova, V.V. Knysh,
V.M. Korzhyk, V.A. Kostin, Yu.M. Lankin,
L.M. Lobanov, S.Yu. Maksimov,
O.V. Makhnenko, M.O. Pashchin,
V.D. Poznyakov, I.O. Ryabtsev,
I.Yu. Romanova – Executive Secretary;
V.V. Dmitrik, NTU «Kharkiv Polytechnic Institute»,
Kharkiv, Ukraine;
V.V. Kvasnytskyi, E.P. Chvertko, NTUU «Igor Sykorsky
Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine;
A.L. Maistrenko, V. Bakul Institute for Superhard Materials
of the NASU, Kyiv, Ukraine;
V. V. Peremitko, Dniprovsky State Technical University,
Kamianske, Ukraine;
U. Reisgen, Welding and Joining Institute, Aachen, Germany.
Executive Director – O.T. Zelnichenko,
International Association «Welding», Kyiv, Ukraine

Publisher

International Association «Welding»

Editorial office

E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU
03150, Ukraine, Kyiv, 11 Kazymyr Malevych Str.
Tel./fax: (38044) 205-23-90
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, 141, 151.

Order of the MES of Ukraine № 409 of 17.03.2020.

Recommended for publishing Editorial Board of the Journal

The Journal was registered by the National Council of Ukraine
on Television and Radio Broadcasting on 09.05.2024,
carrier identifier R30-04566.
ISSN 3041-2374 print
ISSN 3041-234X online
DOI: <http://dx.doi.org/10.37434/as>

Subscription 2025

Subscription index 70031.
6 issues per year, back issues available.
\$192, subscriptions for the printed (hard copy) version,
air postage and packaging included.
\$156, 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.
Articles from «Автоматичне Зварювання» (Automatic Welding)
journal is republished selectively in English in
«The Paton Welding Journal»:
www.patonpublishinghouse.com/eng/journals/tpwj
Publisher is not responsible
for the content of the promotional material.

До 155 річчя від дня народження Є.О. Патона

видатного ученого в області зварювання, мостобудування і матеріалознавства, інженера, педагога, організатора науки та громадського діяча

Євген Оскарович Патон народився 4 березня 1870 р. у родині консула російської імперії в м. Ніцці, Франція. Вищу освіту здобув у 1894 р. у Королівській Саксонській технічній вищій школі у м. Дрездені, Німеччина. Йому пропонували викладати на кафедрі статистики споруд і мостів, до того ж він вже почав працювати в проектно-мостовому бюро будівництва нового Дрезденського вокзалу, але він не погодився.

Закінчивши у 1896 р. Петербурзький інститут інженерів шляхів сполучення, Є.О. Патон почав викладацьку діяльність в інституті та одночасно працювати в технічному відділі казенних залізниць, де проектує мости і перекриття. З весни 1889 р. Є.О. Патон працює в Московському інженерному училищі шляхів сполучення, в 1901 р. захищає дисертацію і призначається професором кафедри мостів.

У 1905 р. Є.О. Патон почав працювати у Київському політехнічному інституті, де очолив кафедру мостів, був вибраний деканом інженерно-будівельного факультету. Він удосконалює навчальні програми, створює лабораторії, інженерний музей, продовжує наукову роботу, видає посібники та підручники. У 1914 р. Є.О. Патон організував мостову секцію при військово-промисловому комітеті Південно-Західного фронту, проектував та організовував виготовлення мостів, поворотно-підйомних естакад, льодорізів та інших конструкцій. Для переправ через р. Дніпро розробив проекти 7-ми великих стратегічних розбірних мостів. Близько 35 років наукової, інженерної та педагогічної діяльності Є.О. Патон присвятив мостобудуванню, опу-

блікував понад 160 наукових праць, створив проекти 35 мостів, перекриттів і переходів. Вже з 1920 р. Є.О. Патон разом зі своїми учнями бере активну участь у відновленні зруйнованих мостів. Одночасно в 1921-1931 рр. він начальник Київської мостовипробувної станції.



У 1929 р. Є.О. Патон вибраний академіком Всеукраїнської академії наук (зараз НАНУ). Він організує в системі академії Електрозварювальну лабораторію та Електрозварювальний комітет – громадські організації із взаємодії учених та інженерно-технічних працівників, зацікавлених у розвитку зварювального виробництва. Є.О. Патона обрано головою комітету.

У 1929-1933 рр. Є.О. Патон з невеликою групою співробітників виконано дослідження експлуатаційних характеристик зварних конструкцій, проведено порівняльні випробування низки натуральних клепанних і зварних виробів. Результати викладено у 1933 р. в першому вітчизняному посібнику з проектування зварних конструкцій, який передруковували у закордонних виданнях.

У 1932 р. учений уперше у світі розробив і запропонував комплексну програму розвитку зварювання, яка була підтримана урядом.

У 1934 р. уряд УСРР видав постанову про створення Інституту електрозварювання (ІЕЗ). Директором було затверджено Є.О. Патона. Відповідно до основних напрямків та комплексного характеру діяльності, директор організував в інституті відділи: науково-дослідний, конструкторський, зварювального обладнання, зварних конструкцій, дослідно-виробничу базу (майстерні з виготовлення приладів та апаратів). ІЕЗ став зразком наукової установи, спроможної створювати інноваційні технології від ідеї і фундаментальних досліджень до широкого впровадження у промисловість.

З ініціативи вченого, що приділяв величезну увагу підготовці кадрів, в 1935 р. у Київському індустріальному інституті (нині КПІ) було



Розбірний міст системи Є.О. Патона, 1914 р.



організовано відділення з підготовки інженерів-зварників (згодом зварювальні факультет і кафедра), якими він керував до 1939 р.

Результати дослідження процесів у зварювальній ванні та інші роботи стали основою нового наукового напрямку – металургії зварювальних процесів. Видатним досягненням є створення автоматичного зварювання під флюсом. До початку 1939 р. під керівництвом Є.О. Патона було створено устаткування, матеріали та розроблено технологію швидкісного автоматичного зварювання, що забезпечували високу якість шва при зварюванні конструкційних сталей.

20 грудня 1940 р. керівництво СРСР прийняло постанову про впровадження швидкісного автоматичного зварювання під флюсом у промисловість. Є.О. Патона призначили членом Ради з машинобудування при Раднаркомі СРСР і йому доручався контроль виконання цієї постанови. Одночасно на нього поклали обов'язки керівника відділу електрозварювання ЦНДІ технології машинобудування (м. Москва) зі збереженням керівництва ІЕЗ. За півроку співробітники ІЕЗ встигли впровадити інноваційну технологію на 20-ти великих підприємствах, що значно підвищило продуктивність виробництва. У 1940 р. Є.О. Патон написав монографію «Швидкісне автоматичне зварювання під шаром флюсу».

У серпні 1941 р. ІЕЗ було евакуйовано у м. Нижній Тагіл, де у 1942 р. під керівництвом Є.О. Патона вперше у світі було створено автоматичне зварювання комплексно-легованих броньових сталей, що в десять разів пришвидшило виготовлення корпусів танків. У найкоротший термін під керівництвом Є.О. Патона було організовано потокове виробництво танків всіх типів, авіабомб, реактивних снарядів, а також багатьох інших видів озброєння та боєприпасів. У 1943 р. Є.О. Патону, першому з українських учених, присвоєно звання Героя Соціалістичної Праці.

У 1944 р. ІЕЗ повернувся в м. Київ і Є.О. Патон долучився до вирішення проблем відновлення й розвитку народного господарства країни. Конверсія вискоєфективної «військової» технології – автоматичного зварювання під флюсом – для цивільного застосування стала основним завданням інституту. До кінця 1944 р. автоматичне зварювання під флюсом було впроваджено на 12-ти великих підприємствах України. У 1947 р. Є.О. Патону доруче-

но науковий та організаційний супровід усіх зварювальних робіт у СРСР. У 1947-1948 рр. на 111-ти заводах країни було запроваджено 670 зварювальних автоматів; в ІЕЗ було організовано підготовку робочих, написані інструкції, створено спеціальний вагон з навчальним і демонстраційним обладнанням.

Є.О. Патон розгорнув фундаментальні дослідження, що стали теоретичною основою науки про зварювання, вдосконалив основи проектування нової зварювальної техніки, систем керування зварювальними процесами, устаткування для виробництва металевих конструкцій та вирішення інших конструкторських проблем.

Одна з ідей Є.О. Патона полягала в розділенні конструкцій на вузли та зварювання спеціалізованими автоматами на окремих позиціях конвеєрних ліній, у принципово новому підході до проектування та виготовлення машин, резервуарів, труб, промислових споруд. Шляхом удосконалення в ІЕЗ вирішувалися завдання технологічності зварних виробів, зниження маси, зменшення кількості сполучних деталей.

Під його керівництвом створюються інноваційні індустриальні методи виробництва труб, зварювання магістральних трубопроводів, негабаритних резервуарів, доменних комплексів, вагонів, суден тощо, в першу чергу на заводах Придніпров'я та Донбасу. У 1946-1948 рр. на Маріупольському заводі ім. Ілліча було введено у дію лінію виробництва залізничних цистерн.

Під активній участі Є.О. Патона вперше у світі були створені: спосіб напівавтоматичного зварювання під флюсом з механізованою подачею електродного дроту через гнучкий шланг до тримача з соплом і бункером, що переміщується вручну; зварювальний пістолет для стельових конструкцій; спеціалізовані установки для зварювання котельного обладнання, будівельних промислових металоконструкцій та ін. Вперше у світі було доведено можливість зміни форми зварних конструкцій і розроблено принципово новий спосіб спорудження великогабаритних листових конструкцій шляхом згортання цільнозварних полотнищ. З 1948 р. цим методом почали будувати резервуари.

Вперше у світі в ІЕЗ були розроблені технології поєданого складання та зварювання, відповідні верстати-автомати та поточкові лінії, раціональні зварні конструкції гірничо-шахтного та енергетичного обладнання, металургійних печей, мостів.

Ряд зварювальних апаратів, механізмів і пристроїв, таких як, наприклад: вальцезварювальний верстат для шахтних вагонеток, апарати для електрошлакового зварювання, прохідний стан для автоматичного зварювання труб великого діаметра не мали аналогів за кордоном. Для зварювання під флюсом при виконанні монтажно-будівельних робіт вперше в світі було створено технології і відповідне устаткування для автоматичного зварювання вертикальних і стельових швів. Перша в Європі суцільнозварна доменна піч об'ємом 1033 м³ була зведена в 1948 р. у м. Запоріжжі із застосуванням цієї технології.

З метою підвищення швидкості зварювання були розроблені технології автоматичного зварювання під флюсом електродом, нахиленим вздовж осі шва «кутом уперед», розщепленими електродами та ін. У 1946-1947 рр. в ІЕЗ було створено технологію зварювання зі швидкістю 160...200 м/год двома дугами, що окремо горять, і зварювальна апаратура для здійснення цього процесу. У 1949 р. перший вітчизняний безперервний трубоелектрозварювальний стан, зварювальна апаратура та джерела живлення введені в дію на Харцизькому трубному заводі. Вперше складання і зварювання виконували в одному агрегаті при стаціонарно встановленій зварювальній головці та рухомій заготовці. У 1949-1953 рр. були досліджені процеси та встановлено характер протікання струму через шлакову ванну, плавлення електродного металу та теплообміну між шлаком і виробом, що зварюється. Вперше у світі створено спосіб електрошлакового зварювання, що дозволяє з'єднувати за один прохід товстостінні металоконструкції.

У 1949-1950 рр. були досліджені закономірності протікання електричних і металургійних процесів при дуговому зварюванні сталей в активних газах. Встановлено можливість підвищення якості металу шляхом додаткового введення розкислювачів, уперше в світі створено технологію зварювання у вуглекислому газі. У 1952 р. були досліджені процеси та встановлені закономірності взаємодії хлору та фтору з компонентами дугової плазми та металу ванни при зварюванні алюмінію та його сплавів. Уперше в світі розроблено хімічні склади галоїдних флюсів та технологія дугового зварювання.

До середини 1950-х років в Україні було відновлено гірничо-металургійну та паливно-

енергетичну промисловість. Розроблено механізований спосіб зварювання кільцевих швів магістральних трубопроводів, які почали застосовувати на будівництві трубопроводу Дашава – Київ – Брянськ – Москва.

У 1952 р. уперше в світі проведено дослідження та встановлено принципову можливість використання зварювальних джерел нагріву для отримання металу особливої чистоти в електрошлаковому процесі, уперше в світі отримано зливоч електрошлакового переплаву та створено спеціальну установку для переплаву.

За участі Є.О. Патона та під його керівництвом видаються капітальні праці з різних аспектів зварювальної науки й техніки. Він у 1948 р. організував і був головним редактором журналу «Автоматичне зварювання».

Фундаментальні дослідження стали основою розвитку нових наукових напрямків, проливних інноваційних технологій у багатьох галузях виробництва. Уперше в світі було винайдено електрошлакове зварювання та закладені основи спеціальної електрометалургії високоякісних металів.

У 1947-1952 рр. встановлено закономірності легування металу шва через порошковий дріт. Розроблено склади дротів і техніка дугового наплавлення зносостійких поверхонь виробів, що працюють при високих температурах та ударних навантаженнях.

У 1946-1951 рр. під керівництвом Є.О. Патона створено спеціальну марку низьковуглецевої сталі МСтЗ для зварних мостів, що була малочутливою до термодеоформаційного циклу зварювання; нову конструктивну форму мосту; вдосконалено апаратуру для автоматичного і механізованого зварювання конструкцій; розроблено технологію заводського і монтажного зварювання. Зразком універсального застосування автоматичного зварювання під флюсом є спорудження цільнозварного



Зварювання балки мостового перекриття, м. Дніпропетровськ, 1952 р.



Арочний міст над алеєю Магдебурзького права у м. Києві, 1910 р.

автодорожнього мосту через р. Дніпро у м. Києві протяжністю понад півтора кілометри, що завершилось 1953 р. та визнаного Американським зварювальним товариством видатною зварною конструкцією. Найбільший в Європі суцільнозварний автодорожний міст через р. Дніпро у м. Києві було відкрито у листопаді 1953 р., Євген Оскарович не дожив до його відкриття менше трьох місяців, він помер 12 серпня 1953 р.

Є.О. Патон був організатором багатьох наукових і науково-технічних конференцій, брав активну участь у громадському житті країни. У 1935 р. він був обраний депутатом Київської міської ради депутатів трудящих, а в 1946 р. і 1950 р. – депутатом Верховної Ради СРСР. За видатну наукову, педагогічну та громадську діяльність Є.О. Патон був удостоєний звання Заслуженого діяча науки і техніки, нагороджений орденами і медалями. У 1935 р. він був обраний членом Президії ВУАН, а пізніше – головою Бюро Відділення технічних наук. Його двічі обирали віце-президентом АН УРСР. На цих посадах він зробив великий особистий внесок у зміцнення зв'язків інститутів АН УРСР з виробництвом, у розширення не тільки фундаментальних, а також і прикладних досліджень, що мали важливе значення для вирішення актуальних проблем науково-технічного прогресу.

Є.О. Патон створив відому в усьому світі патонівську науково-інженерну школу, яка стала символом ефективної реалізації фундаментальних наукових розробок і ще зробить багато корисного для розвитку науки і техніки в Україні.

Д.і.н. Олександр Корнієнко



Міст ім. Є.О. Патона сьогодні

ПОРОШКОВІ ДРОТИ І СТРІЧКИ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ, НАПЛАВЛЕННЯ ТА РІЗАННЯ

Розвиток металургії машинобудування, будівництва та інших галузей промисловості у другій половині минулого століття вимагав створення нових матеріалів для зварювання, наплавлення та різання конструкційних, корозійностійких і зносо-стійких сталей та сплавів різних систем легування.

Ідею створення «трубчастого електрода з серцевиною із різного типу порошків» висунув у 1885 р. винахідник першого способу електродугового зварювання М.М. Бенардос. Необхідно було створити порошковий дріт, що забезпечував би стійкий дуговий процес, газовий і шлаковий захист розплавленого металу, задовільне формування швів (наплавленого металу), легке відділення шлакової кірки, необхідне проплавлення основного металу, мінімальне розбризкування електродного або присадного дроту, відсутність у швах пор, тріщин, включень та інших дефектів, необхідний хімічний склад металу шва, задані його механічні та службові властивості.

На початку 1950-х років у ІЕЗ ім. Є.О. Патона І.І. Фрумін та І.К. Походня запропонували використовувати для наплавлення порошкові дроти. Було запропоновано формувати трубку з пластичної стрічки, у середину якої насапється шихта у вигляді суміші порошків феросплавів, металів і мінеральних компонентів для боротьби з порами та іншими дефектами у наплавленому металі. В ІЕЗ почали інтенсивно розвиватися дослідження, розробка та виготовлення порошкових дротів для електродугового зварювання, наплавлення, а також різання. Виготовляються порошкові дроти для зварювання та наплавлення під флюсом, у захисних газах та самозахисні, в яких газозлакоутворюючі компоненти вводяться безпосередньо в шихту дроту.

Для виготовлення порошкового дроту в ІЕЗ було запропоновано використовувати волочіння – досить простий і продуктивний процес. Перший однобарабанний лабораторний стан для виробництва порошкового дроту в ІЕЗ був зібраний майстром В.С. Ширіним.

Порошкові дроти для наплавлення

У 1950-і роки І.І. Фрумін та І.К. Походня зробили перший порошковий дріт для дугового наплавлення під флюсом сталевих прокатних валків ПП-Нп-35В9Х3СФ (сучасна назва ПП-Нп-35В9Х3ГСФ).

Перший промисловий чотирибарабанний стан для виробництва порошкового дроту був запущений співробітниками ІЕЗ. На Краматорському вер-

статобудівному заводі було впроваджено серійне виробництво верстатів для наплавлення різного призначення.

Наплавлення прокатних валків запровадили: на Дніпропетровському трубопрокатному заводі, Сінарському трубному заводі, Магнітогорському, Комунарському металургійних комбінатах та багатьох інших підприємствах країни.

В ІЕЗ розроблено значну кількість порошкових дротів і технології наплавлення дротом під флюсом, відкритою дугою та у захисних газах деталей різних машин і механізмів з контрольованим легуванням наплавленого металу. У тому числі, для наплавлення: прокатних валків, штампів холодного та гарячого штампування та різання (І.І. Фрумін, І.О. Кондратьєв, В.А. Антонов); головок поршнів ДВЗ (Г.С. Мікаелян, П.В. Гладкий); плунжерів гідропресів, роликів машин безперервного лиття заготовок (І.І. Фрумін, П.В. Гладкий, Л.І. Опа-

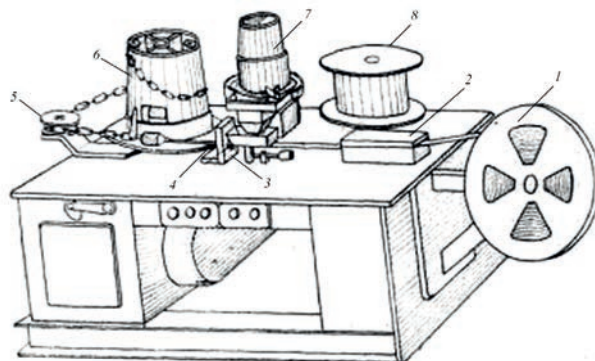
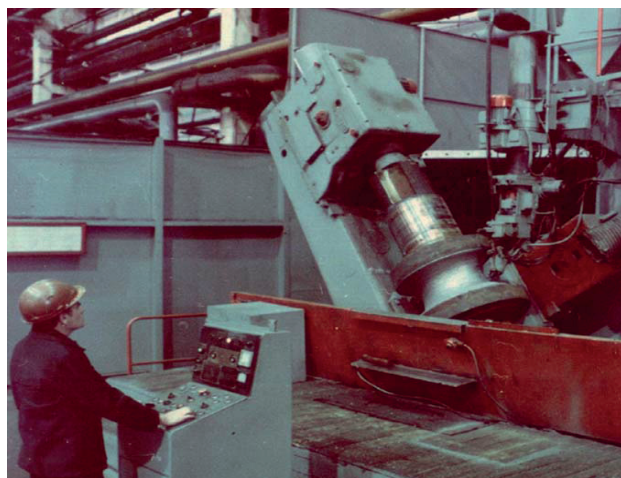


Схема лабораторного верстата для виготовлення порошкового дроту: 1 – котушка з мотком стрічки; 2 – пристрій для очищення стрічки; 3 – пристрій для волочильного мастила; 4 – фільтр; 5 – перекидний блок для захоплення дроту перед волочінням; 6 – приводний барабан; 7 – тарілчастий живильник для подачі шихти; 8 – котушка для готового дроту



Наплавлення валка пільгер-стану на верстаті КЖ-9710



Напівавтоматичне наплавлення хрестовини стрілочних переводів порошковим дротом ПП-АН105 та наплавлена хрестовина

рін, В.Л. Малікін); гідрокріплів (І.О. Рябцев, П.В. Гладкий, Ю.М. Кусков); деталей, що працюють в умовах інтенсивного абразивного зношування (І.О. Кондратьєв, І.О. Рябцев, Ю.М. Кусков); валів, осей, кранових коліс тощо (І.І. Рябцев); важконавантажених деталей пар тертя (В.К. Каленський, Я.П. Черняк, І.О. Рябцев).

Порошкові драти для зварювання

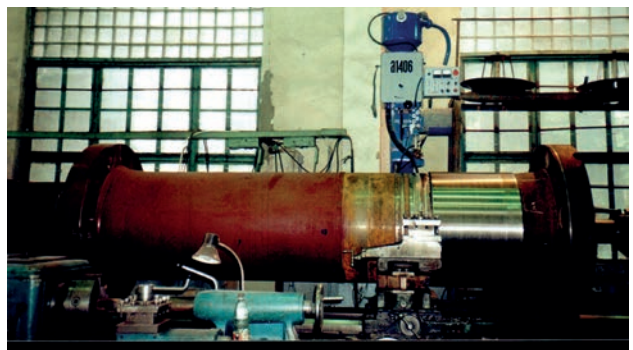
У 1958 р. в ІЕЗ було організовано лабораторію під керівництвом І.К. Походні з вивчення процесів плавлення та перенесення електродного металу при дуговому зварюванні. Було розпочато вивчення кінетики плавлення та перенесення електродного металу, встановлено особливості окислювально-відновлювальних реакцій взаємодії між металом, шлаком і газовою фазою, запропоновано методи управління цими процесами, що забезпечують видалення продуктів реакцій із зварювальної ванни, оптимальне легування металу зварювальної ванни, високі механічні властивості зварних з'єднань. У результаті досліджень створено низку самозахисних порошкових дратів різного призначення, що характеризуються оригінальними композиціями та конструкціями оболонки. Розробка самозахисних порошкових дратів стала принципово новим кроком у техніці та технології зварювального виробництва. Їх застосування дозволило розв'язати проблему механізації зварювальних процесів при монтажі, у відкритих цехах, у польових умовах, на стапелях. Так було винайдено новий ефективний напрям механізації дугового зварювання.

Вже у 1959 р. І.К. Походня, разом із співробітниками (В.М. Шлепаков, О.М. Суптель, В.А. Бабенко на ін.) розробили перший промисловий зразок порошкового дроту марки ПП-АН1 для механізованого зварювання конструкційних і низьколегованих сталей, який не потребував додаткового захисту розплавленого металу.

У 1962 р. лабораторія була перетворена у відділ досліджень фізико-хімічних процесів у зварювальній дузі та було створено дослідне виробництво зварювальних матеріалів, діяльність якого дозволила різко скоротити час від виникнення наукової ідеї до її широкого впровадження у практику (В.Л. Борисюк, Л.Ф. Білозеров). Для виробництва порошкових дратів у ДКТБ ІЕЗ ім. Є.О. Патона був розроблений та виготовлений перший промисловий стан, продуктивність якого сягала 250 кг/год.



Напівавтоматичне наплавлення шестерні опорно-поворотного пристрою екскаватора



Автоматичне дугове наплавлення валу гідротурбини порошковим дротом



П.С. Колбушков працює на стані дослідного виробництва відділу

У 1970-1980 рр. І.К. Походня спільно з В.М. Шлепаковим, С.А. Супруном, В.М. Головком, Ю.А. Гаврилюком, Л.М. Орловим, Г.А. Шевченком, В.М. Упирем і В.М. Ігнатюком розробили низку порошкових дротів загального та спеціального призначення, у тому числі самозахисних, що характеризуються оригінальними композиціями та конструкціями оболонки, які широко застосовуються в промисловості. Створення способів зварювання порошковим дротом вимагало розробки спеціальної зварювальної апаратури, джерел живлення, а також технології зварювання. Для зварювання порошковим дротом застосовуються напівавтомати А-765, А-1197 та ін., які промисловість випускає серійно. Для автоматичного зварювання вертикальних стикових швів порошковим дротом із примусовим формуванням призначені апарати А-1381, А-1150, АД-330М, АД-333М, АД-335.

Були розроблені високопродуктивні технології та обладнання для виготовлення порошкового дро-

ту (А.М. Суптель, В.М. Шлепаков, В.Ф. Альтер, П.О. Косенко, П.І. Рак, І.П. Каплієнко), спроектовано та побудовано цехи з виробництва порошкового дроту в Україні, яке було також впроваджено в інших країнах (пріоритет захищений авторськими свідоцтвами СРСР, Болгарії, ЧССР та патентами США, ФРН, Великобританії, Франції, Італії, Австрії, Швейцарії).

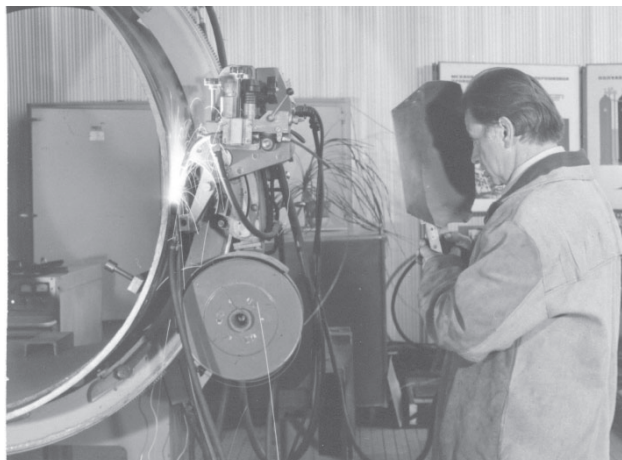
Дослідження основних закономірностей формування металу шва, легування та кристалізації зварювальної ванни за умов штучного охолодження поверхні шва та змінного положення ванни у просторі дозволили розробити нові самозахисні порошкові дроти, прогресивну технологію та обладнання для дугового зварювання неповоротних стиків труб. ІЕЗ ім. Є.О. Патона, ДКТБ ІЕЗ, Каховський завод електрозварювального обладнання створили спеціалізований комплекс обладнання «Стик» для зварювання неповоротних стиків труб діаметром 1220...1420 мм (І.К. Походня, В.М. Шлепаков, В.Є. Патон, В.А. Котов, В.Я. Дубовецький). З його допомогою до 1971 р. було зварено понад 100 тис. км магістральних газо- та нафтопроводів: «Дружба», «Середня Азія—Центр», «Уренгой—Помари—Ужгород», «Хіва—Бейнеу», «Шебелинка—Ізмаїл», «Ямал—Західний кордон», «Ямал—Поволжя» та ін.

У відділі набули розвитку дослідження з управління структурою та властивостями металу зварних швів за допомогою дрібнорозмірних неметалевих включень (В.В. Головка).

Одночасно, починаючи з 1974 р., у відділі «Металургії і технології зварювання високолегованих сталей та сплавів» під керівництвом М.І. Каховського безпосередньо Г.В. Фадєєвою проводяться дослідження з розробки самозахисних порошкових дротів для зварювання високолегованих сталей. Невдовзі був створений порошковий са-



І.К. Походня, А.М. Марченко та І.Р. Явдошин у лабораторії відділу №10 ІЕЗ



Дослідження процесу зварювання неповоротних стиків трубопроводів



Зварювальний комплекс «Стик» на трасі «Уренгой-Помари-Ужгород»

мозахисний дріт марки ПП-АНВ1 для зварювання високолегованих корозійностійких сталей типу 18Х10Н, впровадження якого відбувалось на підприємствах хімічного машинобудування.

Впродовж 1975-1976 рр. В.М. Ліподаєвим була розроблена технологія та електродні матеріали для зварювання різномірних з'єднань сталі 110Г13Л (сталь Гадфільда) із середньовуглецевими перлітними сталями типу 30Г. Ця технологія була розроблена для приварювання литих надставок (концевиків) зі сталі 110Г13Л при виготовленні рештаків вугільних конвеєрів нового типу.

Впровадження нової технології механізованого зварювання із застосуванням самозахисного порошкового дроту марки ПП-АНВ2 (В.М. Ліподаєв, Г.В. Фадєєва), що забезпечує економнолегований нікелем наплавлений метал замість ручного зварювання електродами марки НІАТ-5, дозволило отримати значний економічний ефект при виготовленні вузлів вугільних конвеєрів і стругових установок.

Виробництво порошкового дроту ПП-АНВ2 було організовано Дослідним заводом зварювальних матеріалів ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України, а з 1980 р. розпочато виробництво на Артемівському машинобудівельному заводі «Победа труда» з програмою випуску 275 т/рік до 1991 р., тобто за всі роки виготовлено майже 3 тис. т порошкового дроту.

Для ширшого застосування розроблено порошковий дріт ПП-АНВ2у, що є модифікацією дроту ПП-АНВ2, який забезпечує вищі показники міцності зі збереженням на високому рівні в'язко-пластичних властивостей. Порошковий дріт ПП-АНВ2у призначений для зварювання сталі 110Г13Л, а також її різномірних з'єднань зі сталями типу 25Г, 30Г, 35Г, сталі типу 18Х10Н зі сталями типу ВСт.3, високомарганцевистої аустенітної сталі типу 45Г17Ю3. Найширше порошковий дріт ПП-АНВ2у застосовується для зварювання ковшів кар'єрних екскаваторів типу ЕКГ-8 та їм

подібних, а також для зварювання ковшів об'ємами 10 та 20 м³. У співпраці з «УкрНДПРОЕКТ» (П.І. Кошеленко) розроблено технологію для наплавлення катків і роликів ходової частини гусеничних машин, доріжок тракового ланцюга, ланок гусениць. Так само цей дріт використовується для приварювання козирків (надставок) зі сталі 110Г13Л до черпаків драг. Порошковий дріт ПП-АНВ2у також застосовується для зварювання сталі 30ХГСА за спрощеною технологією без попереднього та супутнього підігріву.

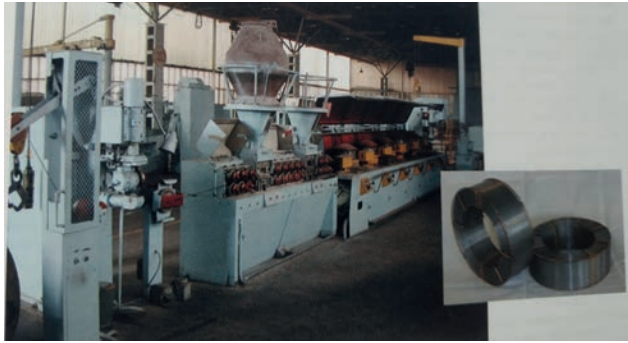
Застосування порошкових дротів ПП-АНВ2 та ПП-АНВ2у забезпечує високу економічну ефективність і підвищує якість виготовленого обладнання та його експлуатаційну надійність. Об'єми виготовлення порошкових дротів ПП-АНВ2 та ПП-АНВ2у склали 6,8 тис. т за весь період їх застосування, що свідчить про їх універсальність і високу затребуваність.

Впродовж 1985-1986 рр. було розроблено порошковий дріт ПП-АНВ5 для механізованого зварювання з примусовим формуванням металу шва високолегованих сталей аустенітного класу 08Х18Н10, 08Х20Н16АГ6. Впровадження технології зварювання порошковим дротом ПП-АНВ5 відбулося при виготовленні шарових резервуарів криогенного призначення.

Проведення досліджень (Г.В. Фадєєва, 1985-1986 рр.) з розробки складу металу стрічки, яка застосовується в якості оболонки для виготовлення порошкових дротів, дозволило створити порошкові дрони нового покоління діаметром 1,2...1,6 мм для зварювання нержавіжних сталей. Раніше, при застосуванні стрічки зі низьковуглецевих сталей марок 08Ю та 08пс в якості оболонки, необхідний хімічний склад наплавленого металу досягався виключно за рахунок легуючих елементів, що містяться в шихті порошкового дроту. Тому, зазвичай, діаметр порошкових дротів був не менш ніж



В.М. Шлепаков, Б.Є. Патон і П.О. Косенко в цеху порошкових дротів Дослідного заводу зварювальних матеріалів ІЕЗ ім. Є.О. Патона



Стан для виготовлення порошкових дрітів

2,2...3,2 мм у залежності від необхідного легування. При застосуванні стрічки зі сталі феритного класу майже вся кількість хрому забезпечується металом стрічки, що дозволило виготовити дроти меншого діаметру які могли застосовуватися для зварювання в усіх просторових положеннях.

Проведення досліджень впродовж 2000-2006 рр. (Г.В. Фадєєва, С.О. Супрун, С.Ю. Максимов) дозволили розробити порошковий дріт діаметром 1,6 мм із застосуванням в якості оболонки стрічки зі сталі феритного класу для мокрого підводного зварювання високолегованих сталей типу 18X10H.

У 1999-2003 рр. було розроблено розрахункові методи оцінки фізичних властивостей шлаків і генерування захисних газів при нагріванні та плавленні осердя порошкових дрітів. Оптимізовано системи мікролегування для зв'язування азоту в нітриди. Розроблено самозахисний порошковий дріт для зварювання конструкцій в усіх просторових положеннях, що забезпечує високі механічні властивості зварних з'єднань. (І.К. Походня).

На початку 2000-х років були розроблені порошкові дроти аустенітного класу для зварювання у вуглекислому газі броньових сталей, у тому числі для виробництва корпусів танка Т-80. Основу осердя порошкових дрітів для зварювання в CO_2 становлять шлакоутворюючі матеріали, розкислювачі й легуючі елементи. Газоутворюючі матеріали, як правило, у подібні дроти не вводяться. За типом осердя порошкові дроти для зварювання у вуглекислому газі розділяють на рутілові й рутіл-флюоритні.

Порошкові стрічки для наплавлення

Ще один тип порошкового електродного матеріалу, переважно для наплавлення великих поверхонь, має форму стрічки. З 1953 р. в ІЕЗ було розгорнуто науково-дослідну роботу з наплавлення зносостійких поверхонь. Ф.А. Хомусько розробив високопродуктивний спосіб автоматичного наплавлення під флюсом електродною стрічкою. Впровадження технології та матеріалів значно підвищило стійкість металургійного обладнання на заводах Дніпропетровська, Краматорська,

Магнітогорська та ін. У 1958-1960 рр. цей спосіб наплавлення було впроваджено для захисту від кавітації лопатей потужних гідротурбін, при виготовленні ободів редукторних коліс на заводах у Ленінграді, корпусів високонапірних живильних насосів, що використовувалося на Сумському заводі «Насосенергомаш».

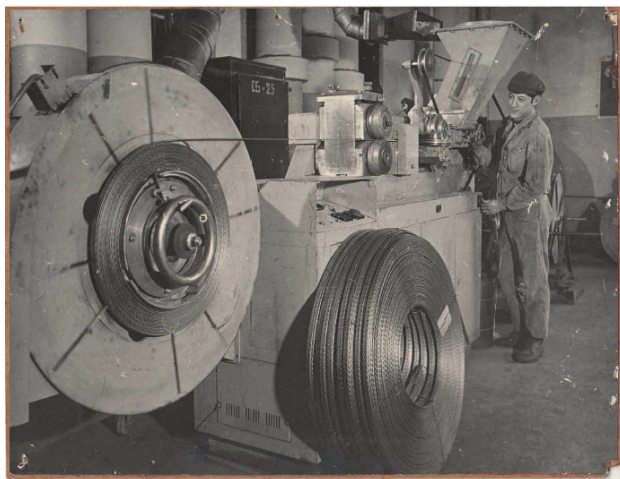
У 1981 р. в ІЕЗ було засновано відділ «Матеріалів для наплавлення та технологій наплавлення металів» під керівництвом Ю.А. Юзвенка, в якому досліджувались металургійні процеси при наплавленні порошковими дротами, визначались оптимальні системи легування для підвищення зносостійкості наплавленого матеріалу, що працює за умов абразивного та газоабразивного зношення. Було запропоновано новий тип електродного матеріалу – порошкову стрічку, розроблено конструкцію та технологію її виробництва.

Самозахисні порошкові стрічки широко застосовують для наплавлення зносостійких покриттів на поверхні деталей металургійного, енергетичного та гірничо-збагачувального виробництва (Ю.А. Юзвенко, В.П. Шимановський, І.П. Копилець, М.Г. Белоєв, О.П. Ворончук). Було розроблено порошкові стрічки для зносостійкого наплавлення гранульованих карбідів вольфраму $\text{WC}+\text{W}_2\text{C}$, які використовуються при технологічних процесах зміцнення ножів бульдозерів, валків дробильного та розмелювального обладнання, а також інших деталей і конструкцій, що працюють в умовах абразивного зношування.

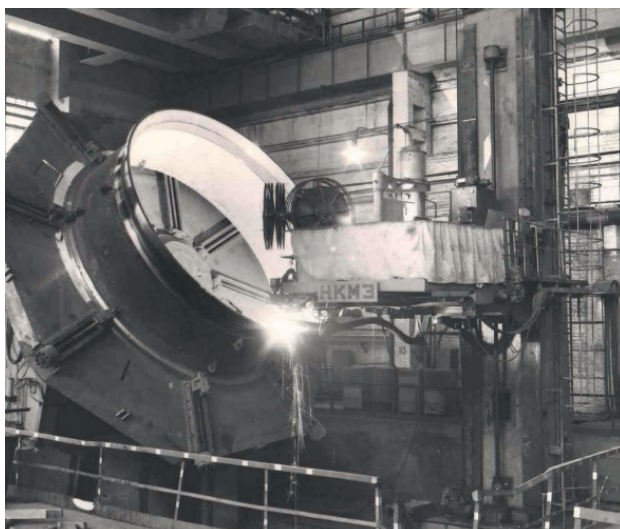
Для використання порошкових стрічок у взаємодії з ДКТБ ІЕЗ (В.Є. Патон, О.М. Мінаєв, В.Ф. Коваленко, О.О. Фомакін та ін.) були створені унікальні установки для наплавлення типу У-125, У-50, У-75.

Використання порошкових стрічок дозволило знизити частку основного металу в наплавленому до 20...25 %. Продуктивність наплавлення досягла 25 кг наплавленого металу на годину. Особливо варто зазначити порошкову стрічку ПЛ-АН 111, яка призначена для наплавлення контактних поверхонь конусів і чаш засипних апаратів доменних печей.

У 1980-х роках було розроблено композиційні сплави на базі тугоплавких з'єднань, зокрема стрічковий реліт, який використовується для зміцнення деталей бурового інструменту на долотних заводах (О.П. Жудра та ін.). Під керівництвом О.П. Жудри розроблено кілька типів стрічки на базі карбіду хрому, технологію виробництва карбіду вольфраму сферичної форми та створено спеціалізоване обладнання. Було впроваджено установки для наплавлення конусів і чаш домен-



Виготовлення порошкової стрічки



Процес наплавлення порошковою стрічкою на Новокраматорському машинобудівному заводі

них печей та наплавлення ножів гарячого різання, технологію виготовлення біметалевих плит методом наплавлення порошковою стрічкою.

Порошкові дроти для зварювання та наплавлення міді та мідних сплавів

Систематичні дослідження зі створення та вдосконалення технологічних процесів зварювання та наплавлення міді та її сплавів і, насамперед, розробки високоефективних зварювальних і наплавлювальних матеріалів розпочато в ІЕЗ ще в 50-60-х роках минулого сторіччя (В.В. Підгаєцький). Найрезультативнішими виявилися дослідження, виконані у 70-80-х роках, коли у структурі нового відділу фізико-металургійних процесів зварювання тугоплавких і хімічно активних кольорових металів (С.М. Гуревич) було організовано групу, а потім і лабораторію зварювання та наплавлення міді та її сплавів (під керівництвом В.М. Ілюшенка).

У цей період розроблено ряд марок порошкових дрітів для зварювання та наплавлення олов'яно-свинцевих, олов'яно-цинково-свинцевих бронз

(С.І. Опанасенко). Також розроблено зварювальний порошковий дріт марки ПД-БрХТ12-2, призначений для плазово-дугового зварювання міді та хромової бронзи завтовшки >15 мм (А.Ф. Костюк, В.Є. Седов). За рахунок спільного легування швів хромом і титаном покращуються механічні властивості металу, особливо при високих температурах, і підвищується стійкість металу швів проти утворення пор.

Для ТІГ-зварювання міді розроблено порошковий дріт марки ПД-АНМ1 (А.Ф. Костюк, В.Є. Седов, В.О. Аношин). Введення до складу осердя порошкового дроту невеликих добавок ефективних розкислювачів забезпечує необхідну якість і теплофізичні властивості зварних швів при гелієво-дуговому зварюванні товстостінних елементів різних електротехнічних виробів (двигуни, шинопроводи та ін.).

Розвиваючи дослідження в області наплавлення антифрикційних мідних сплавів, в ІЕЗ, починаючи з 2000-х років, розроблено ряд марок по-



Застосування порошкового дроту ПД-АНМ1 при зварюванні струмопідводів і відновленні фурми, виготовлених із міді



Біметалева втулка сталь+складнолегована алюмінієва бронза після наплавлення та механічної обробки

рошкових дротів, які дозволяють отримати склад наплавленого металу, що відповідає маркам складнолегованих алюмінієвих бронз з високими антифрикційними властивостями наплавленого металу (А.М. Бондаренко).

В останні роки створено порошкові дроти для зварювання та наплавлення як під флюсом, так і для TIG-зварювання високоалююваних бронз і бронз художнього призначення. Розроблені дроти та технології механізованого наплавлення успішно впроваджені у виробництво при виготовленні біметалічних втулок, підп'ятників та інших вузлів тертя високонавантажених механізмів (гірничо-збагачувальне обладнання, відповідальна арматура, підшипникові втулки електромоторів та ін.).

Порошкові дроти для зварювання під водою

У 1966 р. в ІЕЗ створено лабораторію підводного зварювання. В ній було розроблено наукові засади механізованого зварювання та різання безпосередньо у воді, досліджено особливості горіння дуги при високому гідростатичному тиску та умови забезпечення її стійкості на різних глибинах, поведінка розплавленого металу в цих екстремальних умовах і механізм формування швів, взаємодія металу з газами, вплив хімічного складу та водного середовища на властивості з'єднань (І.М. Савич, А.А. Ігнатушенко, В.Я. Кононенко).

В ІЕЗ було розроблено склад шихти порошкового дроту та технологію її виготовлення, що забезпечила герметичність дроту. Це дозволило розмістити порошковий дріт у занурювальному вузлі напівавтомата, заповненого водою, що спростило його конструкцію. Відпала потреба у подачі газу в занурювальний вузол. Дріт рутил-руднокислого виду, який отримав назву ППС-АН1, забезпечував зварювання в прісній воді на глибині до 20 м низьковуглецевих і низьколегованих сталей. Технологія мокрого механізованого зварювання під водою самозахисними

порошковими дротами, на момент своєї розробки, була унікальною та не мала аналогів у світі.

Для можливості зварювання порошковим дротом під водою конструкторами ДКТБ ІЕЗ (В.Є. Патон, В.Б. Смолярко, В.Г. Пічак) були розроблені спеціальні напівавтомати.

Маса занурювального вузла першого напівавтомата проєкту А1450 «Нептун 4» із запасом порошкового дроту становила близько 46 кг. В останніх проєктах (ПШ141, ПШ146) масу апарату із запасом порошкового дроту вдалося знизити до 7 кг, була забезпечена рівномірна подача електродного дроту незалежно від навантаження при довжині кабелю ланцюга управління до 675 м.

При дослідженні порошкових дротів для механізованого зварювання під водою було встановлено, що низка компонентів, що вводяться в шихту, сприяють збільшенню глибини проплавлення металу. На базі досліджень було розроблено технологічний процес та порошкові дроти для механізованого підводного різання сталей, чавуну та кольорових металів (І.М. Савич, М.С. Данченко, Ю.М. Нефьодов). Механізація зварювальних робіт за рахунок засто-



Процес зварювання порошковим дротом під водою



Устаткування для підводного зварювання та різання

сування напівавтоматів і порошкових дротів була розширена й на зварювання під водою.

Розв'язання цього завдання завершилося створенням кількох конструкцій напівавтоматів; найуспішнішими з яких були А1450, А1660. Процес роздільного дугового різання порошковими дротами можна виконувати на глибині понад 600 м. Наприклад, у 2000 р. унікальні розробки механізованого різання були успішно застосовані під час підйому підводного човна (І.М. Савич, М.Є. Данченко).

У подальшому під керівництвом С.Ю. Максимова продовжувались теоретичні й технологічні дослідження ручного та механізованого зварювання під водою. Були з'ясовані фізико-металургійні особливості взаємодії розплавленого металу з газами в атмосфері парогазового міхура, причини виникнення та заходи захисту від утворення пор в металі шва, механізм окрихчування наплавленого металу при зварюванні безпосередньо у водному середовищі та металургійні рішення стосовно забезпечення необхідного рівня пластичності металу шва, умови формування швів у всіх просторових положеннях, вплив водного середовища на процес зварювання та умови стабілізації дуги при підвищеному гідростатичному тиску, розробка електродних матеріалів, технологій та обладнання для зварювання низьковуглецевих і низьколегованих сталей під водою.

Запропоновано конструктивні рішення зварних з'єднань при ремонті підводних трубопроводів, суден на плаву та інших підводних конструкцій відповідального призначення.

Робота ІЕЗ була впроваджена при відновленні переходів газо- та нафтопроводів через річки, ремонті корпусів кораблів, що отримали аварійні та навігаційні пошкодження, причальних споруд і стаціонарних основ видобувних морських платформ.

Таким чином, розроблені в ІЕЗ самозахисні порошкові дроти спеціального призначення: для виконання вертикальних і горизонтальних швів, із примусовим формуванням, для зварювання під водою, наплавлення й т.д. дозволяють вирішити проблему механізації зварювальних процесів на

монтажі, у польових умовах, у відкритих цехах підприємств. Продуктивність зварювання порошковим дротом у порівнянні з ручним дуговим зварюванням вища в 3–5 разів.

Тільки протягом 1964–1977 рр. в Україні виготовлено близько 100 тис. т зварювального порошкового дроту. Зацікавлення за кордоном викликали оригінальні високопродуктивні стани для виготовлення порошкового дроту. Приоритет ІЕЗ на ці стани захищений авторськими свідоцтвами СРСР та патентами Англії, Австрії, Італії, США, Франції, Швейцарії, Угорщини, НДР, Чехословаччини та ін. Виготовлені в СРСР технологічні лінії для виробництва порошкового дроту, що включають високопродуктивні волочильні стани, агрегати для профілювання стрічки та дозування порошкоподібних шихт, поставлені фірмам США, Франції, ФРН, Болгарії, Угорщини, Чехословаччини та Китаю. Порошкові дроти, розроблені в ІЕЗ, і устаткування для їхнього виробництва поставлялись до багатьох країн. За ліцензіями ІЕЗ виробництво порошкових дротів було організовано фірмами США, Франції, ФРН та на заводах Болгарії, Угорщини, Чехословаччини.

Список літератури

1. Фрумин І.І. (1961) *Автоматическая электродуговая наплавка*. Харьков: Металлургиздат.
2. Савич І.М. (1969) Подводная сварка порошковой проволокой. *Автоматическая сварка*, **10**, 70–74.
3. Походня І.К., Суптель М.А., Шлепаков В.Н. (1972) *Сварка порошковой проволокой*. Киев, Наукова думка.
4. Походня І.К., Альтер В.Ф., Шлепаков В.Н. и др. (1980) *Производство порошковой проволоки. Учеб. пособие для вузов*. Киев, Вища школа.
5. Походня І.К., Суптель А.М., Шлепаков В.Н. и др. (1980) *Порошковые проволоки для дуговой сварки. Каталог-справочник*. Киев, Наукова думка.
6. Патон Б.Е., Савич І.М. (1987) К 100-летию сварки под водой. *Автоматическая сварка*, **12**, 1–2.
7. Данченко М.Е., Савич І.М., Нефедов Ю.Н. (1988) Подводная дуговая резка порошковой проволокой. *Автоматическая сварка*, **4**, 59–61.
8. Походня І.К. (1998) *Металлургия сварки, состояние и проблемы. Сварка и родственные технологии в XXI веке*. Киев, ІЭС им. Е.О. Патона.
9. Савич І.М., Максимов С.Ю. (2001) Применение механизированной резки при подъеме подводной лодки. *Автоматическая сварка*, **2**, 59–60.
10. Савич І.М., Захаров С.М., Зайцева Н.В., Козлов Е.В., Максимов С.Ю. (2003) Структура и свойства металла, наплавленного под водой порошковой проволокой с никелевой оболочкой. *Автоматическая сварка*, **4**, 19–22.
11. Грецкий Ю.Я., Максимов С.Ю. и др. (2004) Повышение устойчивости дуги, горящей в воде, при сварке порошковой проволокой. *Автоматическая сварка*, **2**, 11–15.
12. (2006) *Самозащисний порошковий дріт для підводного зварювання високолегованих сталей типу 12Х18Н10Т*. Цільова комплексна програма НАН України «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин». Збірник наукових статей за результатами, отриманими в 2004–2006 рр. ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України, Київ.
13. Рябцев І.А., Сенченков І.К., Турык Э.В. (2015) *Наплавка. Материалы, технологии, математическое моделирование*. Гливице, Изд-во Силезского политехнического института.

д.і.н. Олександр Корнієнко

РОЗРОБКИ АСОЦІАЦІЇ «ОКО» ДЛЯ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ РЕЙОК

Асоціація «ОКО», до якої входять «Ультракон-Сервіс», «Промприлад» та УкрНДІНК – багаторічний лідер в Україні серед виробників засобів неруйнівного контролю металопродукції та постійний учасник міжнародних виставок.

Науково-виробничі підприємства, які займаються неруйнівним контролем рейок при їх експлуатації, постійно покращують як методи контролю, так і технологію аналізу результатів контролю для забезпечення своєчасного виявлення не тільки критичних дефектів, а й дефектів, що почали свій розвиток. Саме з цією метою НВФ «Ультракон-Сервіс» розробила серію приладів для ультразвукового та вихрострумowego контролю:

- двонитковий рейковий ультразвуковий дефектоскоп УДС2-73;
- одонитковий рейковий ультразвуковий дефектоскоп УДС2-77;
- ручний портативний ультразвуковий дефектоскоп Sonoson B;
- одонитковий рейковий вихрострумовой дефектоскоп ВТС2-77.

Залізничні рейки контролюються за допомогою ультразвукових хвиль високої частоти, зазвичай від 2 до 5 МГц. Оскільки дефекти в рейках мають різний характер, використовують різні кути введення ультразвуку в рейку та різні схеми введення звукових хвиль, наприклад: луна-метод, дзеркально-тіньовий метод, тандем-методи. Також для ефективного та оперативного виявлення дефектів реалізують різні види виведення даних на екран, наприклад: А-скан, Б-скан та їх комбінації. Така різноманітність методів контролю та схем введення звукових хвиль, а також різні види візуалізації

даних дозволяють ефективно та з великою ймовірністю виявляти дефекти на різних стадіях розвитку.

Вихрострумовой контроль дозволяє виявляти експлуатаційні тріщини поверхні катання рейки.

При ручному контролі рейок використовуються ультразвуковий або вихрострумовой дефектоскопи, набір перетворювачів і спеціальний скануючий пристрій.

При механізованому контролі рейок використовуються знімні візки, які приводяться в рух операторами. НВФ «Ультракон-Сервіс» пропонує три типи таких пристроїв: ультразвуковий одонитковий візок, ультразвуковий двонитковий візок та вихрострумовой одонитковий візок. На таких візках розміщується електронне обладнання, блоки перетворювачів та блоки живлення.

Механізовані ультразвукові дефектоскопи дозволяють проводити суцільний контроль рейок зі швидкістю до 4 км/год на наявність дефектів в обох нитках залізничної колії по всій довжині та перерізу рейки, за винятком підшви.

Механізовані вихрострумовой дефектоскопи дозволяють проводити контроль рейок зі швидкістю до 2,5 м/с на наявність дефектів однієї нитки залізничної колії, як у головці так і у поверхні катання рейки.

Швидкісний безперервний контроль рейок за допомогою мобільних засобів полягає в тому, що контроль рейок проводиться за допомогою високошвидкісних транспортних систем (автомобіль, вагон або мототриса) без зупинки за призначеним маршрутом. Це дозволяє контролювати ділянки, що перевищують 100 км за зміну. Дані контролю аналізуються, виділяються потенційно небезпечні ділянки рейок, які перевіряються операторами за допомогою ручних або механізованих дефектоскопів.

За матеріалами сайту www.ndt.com.ua





Ефективне навчання та підготовка робітничих кадрів
з професії «Електрогазозварник»

Навчання зварюванню без зайвих зусиль

Враховуючи одну зі світових тенденцій браку кваліфікованих кадрів для зварювальних виробництв, компанія Fronius International активно розвиває напрямок Welducation: навчання та підготовка зварників.

У цьому напрямку наразі ми пропонуємо декілька типів продуктів, щоби максимально задовольнити потреби в швидкому та ефективному процесі підготовки кваліфікованих спеціалістів у галузі зварювання.

Окрім самих зварювальних апаратів, важливою інноваційною складовою процесу навчання є мобільні додатки та новий тренажер віртуального зварювання.

Мобільні програми для зварників. Цифрові та мережеві технології відіграють дедалі важливішу роль, зокрема у галузі зварювання. Мобільні програми Fronius не лише дають змогу обчислювати параметри зварювання, а й забезпечують підтримку професіоналам і початківцям на всіх етапах навчання.

Welducation Basic. Безкоштовна програма для смартфона або планшета надає відомості про всі аспекти зварювання.



<https://www.fronius.com/uk-ua/ukraine/zvaryvalni-tekhnohiiyi/innovatsiyni-rishennya/navchannya-zvaryvalnykiv/welducation-basic-app>

Вікторина забезпечує опанування теоретичних принципів, а заняття в ігровій формі – набуття практичних навичок. Власні успіхи з інтерактивного навчання можна порівняти з результатами інших користувачів програми, що відображаються в міжнародному рейтингу. Це допомагає підвищити свій рівень.



WeldConnect. <https://www.fronius.com/uk-ua/ukraine/zvaryvalni-tekhnohiiyi/innovatsiyni-rishennya/weldconnect>

Завдяки програмі **WeldConnect** зварник може швидко та без проблем підібрати належні параметри для завдань ручного зварювання. На кожному етапі програма запитує точні дані щодо поточної області застосування, зокрема процесу зварювання, основного матеріалу, виду шва та захисного газу. Користувач може ввести такі дані вручну або відсканувати QR-коди відповідних матеріалів. За допомогою цієї інформації майстер визначає іде-

альні параметри для зварювання для TIG та MIG/MAG та використовує дані для розрахунків.



Тренажер віртуального зварювання Welducation Simulator. Зварювання без ризиків: віртуальне навчання пропонує безпечний, доступний та економний спосіб реалістичного моделювання складних процесів зварювання. Новачки можуть повторювати завдання стільки разів, скільки потрібно, удосконалювати свої навички в безпечному середовищі та вчитися на своїх помилках. Це ідеальний спосіб підготувати учнів до реальних ситуацій та навчити швидко й ефективно реагувати на постійно змінювані вимоги на ринку праці та в галузі.

Поєднуючи заняття на освітній платформі **Welducation Campus** із використанням тренажера **Welducation Simulator**, учні й тренери отримають повний план навчання, який містить теоретичні матеріали та блоки віртуальних занять із тренажером.

Оновлений тренажер **Welducation Simulator** дає можливість проводити навчання й тренування зварників, а також крок за кроком відпрацьовувати навички зварювання в реалістичних умовах – і все це без жодних ризиків, у цілковитій безпеці та без додаткових витрат на матеріали, гази чи деталі, що зношуються. Завдяки новим окулярам доповненої реальності всі зварні шви, процеси зварювання й практичні завдання загалом видаються напрочуд реалістичними. Водночас можна ознайомитись і з теоретичними аспектами зварювання, скориставшись освітньою платформою **Welducation Campus**, яка бездоганно доповнює наш навчальний комплект.

Високотехнологічне навчання для боротьби з викликами майбутнього. У своєму новітньому тренажері зварювання компанія Fronius уперше поєднала технології віртуальної та доповненої реальності.

До того ж, у цьому контексті часто використовується й концепція розширеної реальності. Основний принцип цієї технології полягає в додаванні цифрових елементів у реальне середовище – чи то на екрані, чи то в окулярах – безпосередньо в полі зору учня. Застосування технології доповненої реальності та використання оригінальних зварювальних пальників, шлангових пакетів і корпусів справжніх зварювальних систем Fronius допомагають максимально реалістично відтворити процес зварювання. Учні можуть використовувати тренажер, щоб відпрацювати всі три типи процесів: ручне електродове зварювання, MIG/MAG і TIG. Вони вдосконалюють навички на різних матеріалах (сталь, нержавка сталь, алюміній), що мають різну товщину, та практикують різні положення зварювання.

Використання стандартних деталей і можливість регулювання параметрів зварювання допомагають якомога реалістичніше відтворити умови роботи, адже суть навчання полягає не лише у створенні бездоганих швів: спеціалісту також необхідно виконати низку дій до та після з'єднання елементів, а також між сеансами зварювання, як це було б під час справжньої роботи. Це передбачає, зокрема, підключення зворотного кабелю та налаштування правильних параметрів зварювання. На планшеті із тренажером відображається стандартний інтерфейс зварювальної системи Fronius, щоб учасники занять змогли ознайомитися з особливостями використання реальних апаратів.

Практика веде до досконалості. Віртуальне навчання пропонує три рівні складності: легкий, середній і високий. Так, наприклад, новачкам без початкових знань постійно надаватимуться поради, тоді як досвідченим спеціалістам доведеться формувати зварний шов без візуальних підказок щодо відстані, кута нахилу зварювального пальника або швидкості зварювання. Крім того, широкий набір аналітичних функцій допомагає учням вдосконалювати техніку виконання та виявляти помилки. Дані про всі зварні шви можна записати й переглянути в будь-який момент.

Теоретичні матеріали на платформі Welducation Campus. Поєднання тренажера й інтегрованої платформи *Welducation Campus* дає змогу створити повноцінну навчальну систему, яка надає доступ до теоретичних матеріалів і блоку практич-

них завдань. Учні отримують знання та навички самостійно, проходячи підготовчі курси й не потребуючи постійного нагляду з боку інструкторів. Система стежить за результатами та процесом навчання, водночас пропонує й опцію персоналізованого тренування, щоби за необхідності інструктори могли завантажувати на платформу *Campus* власні теоретичні матеріали. Заохочуючи один одного та отримуючи оцінки й відгуки професіоналів, спеціалісти навчаються швидко та ефективно. Продумана система оцінювання уможливорює об'єктивне й чесне оцінювання результатів, а рейтинг за успіхами стимулює учнів повністю розкрити свій зварювальний потенціал.



Приголомлива реалістичність: використання технології доповненої реальності, оригінальних зварювальних пальників і корпусу справжньої зварювальної системи допомагає максимально правдоподібно відтворити умови зварювання



Досконале поєднання теорії та практики: дидактична методика дає учням змогу поглиблювати свої знання, водночас розвиваючи практичні навички

Детальніша інформація стосовно навчання зварників:

<https://www.fronius.com/uk-ua/ukraine/zvaryvalni-tehnolohiyi/innovatsiyi-rishennya/navchannya-zvaryvalnykiv>



Директор з маркетингу ТОВ «Фроніус Україна»
Віталій Бондаренко