

З А В Т О М А Т И Ч Н Е 5 2025 З В А Р Ю В А Н Н Я

«Автоматичне зварювання»

«Avtomatychne Zvaryuvannya» (Automatic Welding)

Видається з 1948 р.

www.patonpublishinghouse.com/ukr/journals/as

Published since 1948

ЗМІСТ

Л.М. Лобанов – 85! 3

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

Лобанов Л.М., Ниркова Л.І., Пашин М.О., Міходуй О.Л., Тимошенко О.М., Тодорович Н.Л., Сизоненко О.М., Кондратенко І.П., Чопик В.В., Карлов О.М. Дослідження технологічних процесів оброблення металевих сплавів і зварних з'єднань електромагнітним полем (Огляд) 5

Махненко О.В., Мужиченко О.Ф., Прудкий І.І., Басистюк Н.Р. Залишкові напруження у вузлі з'єднання колектора з патрубком ДУ1200 парогенератора ПГВ-1000 в результаті локальної термічної обробки 16

Головко В.В., Штофель О.О., Короленько Д.Ю. Використання математичного методу перетворення Гафа для металографічних досліджень мікроструктури ферито-бейнітних сталей 25

ВИРОБНИЧИЙ РОЗДІЛ

Зяخور І.В., Антіпін Є.В., Дідковський О.В., Левчук А.М., Калюжний В.В., Озюменко В.В., Великоіваненко О.А., Руденко П.М., Шило Ю.А. Актуальні проблеми зварювання залізничних рейок в Україні 31

Коржик В.М., Гринюк А.А., Бабич О.А., Берднікова О.М., Ілляшенко Є.В., Бушма О.І. Отримання функціонально-градієнтних металоматричних матеріалів Ti-6Al-4V + WC методом адитивного плазмово-дугового наплавлення 48

Позняков В.Д., Корєнєв О.В. Механічні властивості металу ділянок зварних з'єднань середньовуглецевих легованих сталей, що нагрівалися до температур від 350 до 800 °C 56

Майданчук Т.Б., Бондаренко А.М., Ілюшенко В.М., Лук'яненко Є.П. Відновлення дзвонів і художніх ливарних виробів із мідних сплавів 60

Новодранов А.С., Савицький О.М. Автоматизація процесу виготовлення елемента бурового інструменту способом адитивного наплавлення 68

Козулін С.М., Фомакін А.А., Міщенко Р.М., Петренко Л.М. Відновлення зношених зубів шестерень кар'єрного екскаватора електрошлаковим наплавленням 75

ІНФОРМАЦІЯ

Пам'яті Валерія Миколайовича Шлепакова 81

Вибух зварює і розрізає метал 82

Fronius Fortis: зварювання MIG/MAG нового покоління – гнучке, функціональне, потужне 87

CONTENTS

L.M. Lobanov is 85! 3

SCIENTIFIC AND TECHNICAL

Lobanov L.M., Nyrkova L.I., Pashchyn M.O., Mikhodui O.L., Tymoshenko O.M., Todorovych N.L., Syzonenko O.M., Kondratenko I.P., Chopyk V.V., Karlov O.M. Investigations of technological processes of treatment of metal alloys and welded joints by electromagnetic field (Review) 5

Makhnenko O.V., Muzhichenko O.F., Prudkiy I.I., Basistyk N.R. Residual stresses in the joint of the collector to the DN1200 branch pipe of the PGV-1000 steam generator due to local heat treatment 16

Holovko V.V., Shtofel O.O., Korolenko D.Yu. Use of the hough transformation method for the metallographic studies of ferritic-bainitic steels microstructure 25

INDUSTRIAL

Ziakhor I.V., Antipin Ye.V., Didkovskiy O.V., Levchuk A.M., Kalyuzhny V.V., Ozyumenko V.V., Velykoivanenko O.A., Rudenko P.M., Shylo Yu.A. Urgent problems of welding railway rails in Ukraine 31

Korzyh V.M., Grynyuk A.A., Babyh O.A., Berdnikova O.M., Illiashenko Ye.V., Bushma O.I. Obtaining functionally-graded metal-matrix materials Ti-6Al-4V + WC by the method of additive plasma-arc deposition 48

Poznyakov V.D., Korieniev O.V. Mechanical properties of metal in areas of welded joints of medium carbon alloy steels heated to temperatures from 350 to 800 °C 56

Maidanchuk T.B., Bondarenko A.M., Ilyushenko V.M., Lukyanchenko E.P. Restoration of bells and artistic castings products made of copper alloys 60

Novodranov A.S., Savitskiy O.M. Automation of the manufacturing process of a drilling tool element using additive deposition method 68

Kozulin S.M., Fomakin A.A., Mishchenko R.N., Petrenko L.M. Restoration of worn gears of a quarry excavator by electrosag surfacing 75

INFORMATION

In memory of V.M. Shlepakov 81

Explosion welds and cuts metal 82

Fronius Fortis: manual MIG/MAG welding of the latest generation with the powerful, flexible and fully digitalized 87



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. Пашчин,
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. Майстренко,
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 11.09.2025;
ідентифікатор медіа R30-06491;
реєстрант – ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України.

ISSN 3041-2374 print

ISSN 3041-234X online

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

Передплата 2026

Передплатний індекс 70031.

6 випусків на рік (видається раз на два місяці).

Друкована версія: 2520 грн. за річний комплект
з урахуванням доставки рекомендованою бандероллю.

Електронна версія: 2520 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
перевиданняються 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 11.09.2025,
carrier identifier R30-04566.

registrant – E.O. Paton Electric Welding Institute of NAS of Ukraine.

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 «Avtomatychne Zvaryuvannya» (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.

Підписано до друку 13.10.2025.
Формат 60×84/8. Офсетний друк. Ум. друк. арк. 7,4.
Друк ТОВ «ДІА». 03022, м. Київ-22, вул. Васильківська, 45.

Л.М. ЛОБАНОВУ – 85!



Колектив Інституту електрозварювання ім. Е.О. Патона НАН України, редколегія та редакція журналу «Автоматичне зварювання» щиро вітають головного редактора журналу академіка НАН України Леоніда Михайловича Лобанова з ювілеєм!

Академік НАН України Л.М. Лобанов – визначний вчений у галузі матеріалознавства, зварювання, міцності та діагностики матеріалів і зварних конструкцій.

Л.М. Лобанов народився 29 вересня 1940 р. У 1962 р. закінчив факультет промислового та цивільного будівництва Київського інженерно-будівельного інституту, а в 1968 р. – без відриву від роботи закінчив вечірнє відділення механіко-математичного факультету Київського державного університету ім. Т.Г. Шевченка. Уся його наукова діяльність пов'язана з Інститутом електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, в якому він працює з 1963 р. У 1969 р. захистив кандидатську, а в 1984 р. – докторську дисертацію, у 1991 р. йому присуджено вчене звання професора. У 1990 р. Л.М. Лобанова обрано членом-кореспондентом АН УРСР, у 1997 р. – дійсним членом (академіком) НАН України.

Наукові праці Л.М. Лобанова присвячені дослідженню поведінки матеріалів при зварюванні, розвитку теорії зварювальних напружень і деформацій, розробці методів дослідження і регулювання напружено-деформованих станів зварних з'єднань, створенню високоефективних зварних конструкцій нової техніки та розробці методів і засобів їх діагностики.

В його перших наукових працях були створені фізичні та математичні положення оптичного моделювання зварних напружень, побудовано теорію їх подібності. На цій основі вперше у світовій практиці визначено особливості напружених станів, що виникають при зварюванні полімерних матеріалів. Встановлено фундаментальні положення про загальні для металів і полімерів закономірності розподілу напружень при зварюванні різноманітних типів з'єднань.

Широке визнання одержали праці Л.М. Лобанова, присвячені розробці методів лазерної інтерферометрії для дослідження якості та напружено-деформованих станів зварних з'єднань. Ним отримані аналітичні співвідношення для визначення точності виміру компонентів векторів переміщень поверхонь об'єктів у залежності від параметрів оптичних схем голографічних інтерферометрів і виведені рівняння для розрахунку переміщень за градієнтами порядків інтерференційних смуг. Побудовано та реалізовано алгоритми, які дають можливість на основі даних голографічних вимірів розрахувати компоненти векторів переміщень для великих масивів точок. Створено технологію діагностики виробів авіакосмічної техніки, в основу якої покладено новий метод неруйнівного контролю якості – електронна ширографія, заснований на застосуванні лазерної апаратури та комп'ютерної обробки оптичної інформації. Його важливою перевагою є безконтактність вимірів і можливість здійснювати в реальному масштабі часу неруйнівний контроль об'єктів як із металевих, так і композиційних матеріалів. Розроблені технології діагностики та ширографічна апаратура впроваджені в КБ «Південне» й надані за контрактами науково-дослідним лабораторіям країн дальнього зарубіжжя.

Розроблено високоефективний метод визначення залишкових напружень, що заснований на поєднанні спекл-інтерферометрії та застосування малих отворів діаметром до 1 мм. Для його реалізації створено портативні прилади, що не мають аналогів у світовій практиці. Автоматизована система комп'ютерної обробки інтерферограм, які спостерігаються при створенні малих отворів, дозволяє отримувати кількісні значення напружень з високою точністю, про що свідчить конкурс, проведений Міжнародним інститутом зварювання. Доведено, що цей метод і апаратура для його реалізації забезпечують найбільш достовірні результати вимірювань. Здійснено комплекс досліджень зі створення повністю неруйнівного методу визначення залишкових напружень на основі електронної спекл-інтерферометрії і введення локального імпульсу струму в контрольовану зону.

Проведені дослідження особливостей релаксації залишкових напружень та еволюції структуроутворення під дією імпульсів струму високої щільності на зварні з'єднання конструкційних металів і сплавів показали, що збільшення параметрів і тривалості імпульсів електричного струму дає можливість регулювати напружено-деформований стан зварних з'єднань і підвищити їхні експлуатаційні властивості. Розроблені технологія та обладнання дали можливість виконати електродинамічну зміцнюючу обробку виробів авіакосмічної і суднобудівної галузі.

Завдяки працям Л.М. Лобанова та його учнів сформовано новий науковий напрямок – бездеформаційне зварювання конструкцій, який базується на регулюванні термдеформаційних процесів під час зварювання та створенні попередніх перед зварюванням напружено-деформованих станів, оптимізованих стосовно зварювальних напружень і деформацій. Розроблені методи й технічні засоби усунення зварювальних деформацій було використано при створенні комплексу «Енергія-Буран» та інших ракетно-космічних систем.

Упродовж останніх років під науковим керівництвом Л.М. Лобанова виконується комплекс нових досліджень у галузі статичної та циклічної міцності зварних з'єднань, опору їх крихким руйнуванням і руйнуванням від втоми, також розроблюються наукові підходи для підвищення міцності й довговічності зварних конструкцій, їх неруйнівного контролю та діагностики. Створюються нові типи ефективних зварних конструкцій, зокрема унікальні конструкції перетворюваного об'єму космічного призначення.

Л.М. Лобанов проводить значну роботу з розвитку системи стандартизації та сертифікації зварювальних технологій, матеріалів та обладнання. З 1992 р. від очолює створений за його участю Національний технічний комітет України зі стандартизації ТК-44 «Зварювання і споріднені технології», а також є Головою виконавчого комітету Міжнародного науково-технічного центру «ПАТОН-СЕРТ», який проводить сертифікацію зварювальних виробництв на відповідність вимогам серії міжнародних стандартів ISO. Отримані у МНТЦ «ПАТОН-СЕРТ» сертифікати на зварювальне виробництво дають право виходу на європейські та міжнародні ринки.

Л.М. Лобанов – автор понад 900 наукових праць, серед яких 8 монографій, більше 90 авторських свідоцтв і патентів. Він створив визнану наукову школу в галузі зварних конструкцій, підготував 12 докторів та 17 кандидатів технічних наук, 2 доктори філософії.

Поряд з інтенсивною науковою діяльністю Л.М. Лобанов протягом багатьох років веде велику науково-організаційну роботу. З 1985 р. він є заступником директора з наукової роботи Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України та керівником відділу «Оптимізація зварних конструкцій нової техніки» цього Інституту. Водночас з 2015 по 2020 рр. був академіком-секретарем Відділення фізико-технічних проблем матеріалознавства НАН України і членом Президії НАН України, нині – радник Президії НАН України; є головою Українського технічного комітету зі стандартизації в галузі зварювання та споріднених технологій; головою секції «Зварні конструкції» вченої ради Інституту електрозварюван-

ня ім. Є.О. Патона; головою спеціалізованої ради із захисту дисертацій при цьому Інституті; головним редактором журналу «Технічна діагностика і неруйнівний контроль», членом редколегії журналів: «Автоматичне зварювання», «The Paton Welding Journal», «Космічна наука і технологія», «Стандартизація, сертифікація, якість», «Питання атомної науки і техніки», «Фізико-хімічна механіка матеріалів», «Промислове будівництво та інженерні споруди», «Przegląd Spawalnictwa»; «Journal of Magnesium and Alloys»; членом правління Українського товариства з неруйнівного контролю і технічної діагностики; членом Президії Національного комітету України з технічної та прикладної механіки та Європейського товариства з цілісності конструкцій (ESIS); членом Американського зварювального товариства; членом секції «Матеріалознавство» Комітету з Національної премії імені Бориса Патона.

Різноманітна активна та плідна діяльність Л.М. Лобанова, його вагомий внесок у розвиток науки, підготовку висококваліфікованих кадрів, впровадження результатів досліджень у практику здобули високе визнання. Л.М. Лобанов – лауреат премії Ради міністрів СРСР (1981 р.), лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки (1994 р.), заслужений діяч науки і техніки України (2004 р.). Він нагороджений орденами: «Ярослава Мудрого V ст.» (2018 р.), «За заслуги» I (2014 р.), II (2009 р.), III (1997 р.) ступенів, «Знак пошани» (1982 р.), відзнаками НАН України «За наукові досягнення» (2007 р.) і за підготовку наукової молоді» (2015 р.); премією ім. Є.О. Патона НАН України (2004 р.); медаллю Ю.В. Кондратюка (1997 р.); нагрудним знаком Національного космічного агентства України «Почесний працівник космічної галузі» (2000 р.); нагрудним знаком Конструкторського бюро «Південне» «За створення ракетно-космічної техніки» (2015 р.); нагрудним знаком Київського міського голови «Знак пошани» (2003 р.); Почесною грамотою Ради національної безпеки і оборони України (2018 р.); Почесним золотим знаком Польського науково-технічного товариства (2014 р.), Відзнаками НАН України «За сприяння розвитку науки» та «За підготовку наукової зміни»; Почесною грамотою НАН України «За самовіддану наукову і науково-організаційну роботу», Почесною грамотою Міністерства енергетики та вугільної промисловості України (2015 р.), Знаком АТ «Турбоатом» «За заслуги» (2019 р.); Золотою медаллю імені Б.Є. Патона Національної академії наук України (2022 р.).

Леонід Михайлович Лобанов все своє життя присвятив науковій діяльності, його праці — безцінний внесок у розвиток науки і техніки нашої країни!

Щиро бажаємо ювіляру міцного здоров'я, успіхів і благополуччя!

ПАМ'ЯТІ ВАЛЕРІЯ МИКОЛАЙОВИЧА ШЛЕПАКОВА



17 серпня 2025 р. на 87-у році після важкої хвороби пішов з життя Валерій Миколайович Шлепаков – відомий український вчений у галузі металургії й технології металів, матеріалознавства, електрозварювання, лауреат Державної премії СРСР, Премії

Ради Міністрів СРСР, Премії ім. І. К. Походні НАН України, доктор технічних наук, старший науковий співробітник.

В.М. Шлепаков народився 11 листопада 1938 р. у Харкові. У 1955 р. вступив до Київського політехнічного інституту, а в 1960 р. закінчив за спеціальністю «Устаткування та технологія зварювального виробництва».

Після закінчення Київського політехнічного інституту більше шестидесяти років свого життя Валерій Миколайович присвятив роботі в Інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона. За цей час він пройшов шлях від інженера до добре відомого у світі фахівця в галузі металургії зварювання та зварювальних матеріалів. У 1970 р. В.М. Шлепаков захистив кандидатську дисертацію, а у 1988 р. – докторську.

Узагальнені в цих дисертаціях фундаментальні дослідження закономірностей кінетики плавлення та переносу електродного металу, розподілу температури у зварювальній ванні й краплях електродного металу, процесів взаємодії між газовою і шлаковою фазами та розплавленим металом, взаємодії в системі «склад-структура-властивості» стосовно металу зварних швів стали великим внеском у теорію зварювальних процесів і здобули світове визнання. Власні експериментальні результати, отримані В.М. Шлепаковим у галузі дослідження фізико-хімічних процесів у зварювальній дузі слугували теоретичною базою створення багатьох марок порошкових дрітів для дугового зварювання. За його участі були розроблені промислові технології виготовлення порошкових дрітів, побудовані та модернізовані цехи для їх виробництва в Україні та за кордоном, що дозволило забезпечити потреби підприємств України та країн близького зарубіжжя в цих матеріалах при виготовленні зварних металоконструкцій з вуглецевих і низьколегованих сталей.

Оригінальні розробки самозахисних порошкових дрітів двошарової конструкції, а також порошкових дрітів для дугового зварювання в середовищі захисних газів були запатентовані в багатьох країнах світу. Ліцензії на виробництво таких дрітів були придбані провідними фірмами й компанія-

ми-виробниками зварювальних матеріалів у США, Німеччині, Франції, Японії, Аргентині, Китаї та у ряді інших країн. Роботи, виконані за активної участі Валерія Миколайовича, отримали високу оцінку в нашій країні та у світі. У 1975 р. самозахисний порошковий дріт двошарової конструкції був визнаний гідним Золотої медалі на виставці «Зварювання-75» у м. Брно. У 1978 р. «За створення, організацію масового виробництва й впровадження нових матеріалів (порошкових дрітів) для механізованого зварювання, що забезпечують підвищення продуктивності праці та якості зварних конструкцій» В.М. Шлепакову, як учаснику колективу дослідників та розробників ІЕЗ ім. Є.О. Патона, було присуджено Державну премію СРСР у галузі науки й техніки. У 1983 р. робота «Комплекс досліджень, проектно-конструкторських і технологічних робіт зі створення й впровадження прогресивної технології дугового зварювання й устаткування (комплекс «Стик») для технічного переозброєння зварювального виробництва при спорудженні магістральних трубопроводів», у якій брав активну участь В.М. Шлепаков, отримала премію Ради Міністрів СРСР, а в 1985 р. ця робота була відзначена Золотою медаллю Лейпцігського ярмарку. У 2017 р. за цикл робіт «Високоєфективні зварювальні матеріали з покращеними санітарно-гігієнічними показниками для зварювання сучасних високоміцних низьколегованих сталей» колективу науковців, серед яких був В.М. Шлепаков, присуджено премію ім. І.К. Походні НАН України.

Результати фундаментальних досліджень кінетики процесів формування газового та шлакового захисту розплавленого металу при нагріванні й плавленні порошкових дрітів, взаємодії металу з газами, досліджень структури та властивостей металу зварних швів при комплексному легуванні дозволили зробити значний внесок у теорію й практику електродугового зварювання. В.М. Шлепаков є автором більше як 200 наукових праць, серед яких 9 монографій та 85 патентів. Усі ці публікації заслужено здобули науковий авторитет і повагу фахівців різних галузей в багатьох країнах.

Валерій Миколайович був досвідченим дослідником, високоосвіченою інтелігентною людиною, яка радо ділилася своїми енциклопедичними знаннями та яку щиро поважали й любили колеги, друзі й усі, хто знав його по роботі й у побуті.

Відхід Валерія Миколайовича Шлепакова – важка втрата для науки.

Колектив співробітників відділу
«Дослідження фізико-хімічних процесів
у зварювальній ванні» ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України

ВИБУХ ЗВАРЮЄ І РОЗРІЗАЄ МЕТАЛ

У другій половині XX століття різко збільшується обсяг застосування алюмінієвих і титанових сплавів в якості конструкційних матеріалів. Основною причиною став перехід техніки на екстремальні умови експлуатації. Зварні з'єднання повинні були витримувати значні динамічні навантаження, екстремально низькі та високі температури, агресивні середовища тощо. Частина вузлів машин, апаратів і багатьох інших конструкцій працювали в різних умовах і необхідно було виготовляти їх із металів і сплавів, властивості яких між собою відрізняються. Виникла проблема зварювання різномірних металів. Найбільшим попитом користувалися вироби з наступних пар металів та їх сплавів: алюміній-титан, титан-сталь, сталь-алюміній. Відомо, що при їх поєднанні методами зварювання плавленням утворювалися інтерметаліди з неприпустимими експлуатаційними властивостями (крихкістю, тріщинами та т.п.). З усього спектру способів зварювання найефективнішою технологією, яка вирішила завдання з'єднання цих металів, виявилось зварювання вибухом (ЗВ). Його розробили на базі результатів досліджень з керування горінням і вибухом, кумулятивного ефекту та теорії пластичності.

У СРСР в 1925–1926 рр. вивченням вибухових речовин (ВР) займався М.Я. Сухаревський. Дослідженням порохових ВР приділяли увагу при розробці бойових ракет. Інтенсивні дослідження впливу ВР розгорнулися у зв'язку з роботами зі створення атомних бомб. У створенні перших атомних бомб у США брав участь завідувач відділу розробки вибухових речовин у Лос-Аламосі Г.В. Кістяківський (народився у м. Боярка, Київський повіт, Київська губернія, радник президента Д. Ейзенхауера у справах науки і техніки, 1959–1961 рр.). Його основний внесок полягав у створенні вибухівки «боратол» – детонатора, який забезпечив точний і потужний імпульс для ініціювання ланцюгової реакції в плутонієвій бомбі. У 1938 р. завідувач лабораторії в Інституті хімічної фізики Я.Б. Зельдович зробив значний внесок у теорію горіння та вибуху, а також запропонував модель плоскої детонації. Виникла область фізики та фізикохімії високих температур. У 1941 р. Я.Б. Зельдович розрахував внутрішню балістику реактивного снаряда установки «Катюша». Його праці з фізики вибуху, детонації та ударних хвиль і ядерної фізики були використані при створенні атомної (1949 р.) і водневої бомб (1953 р.) у СРСР.

В історії техніки, військової та вибухової справи були випадки, коли утворювалися з'єднання куль і снарядів з металевими тілами при їх зіткненні, які за своєю природою розцінювалися як чисто механічні. У 1792 р. гірський інженер Франц фон Баадер висловив припущення, що енергію вибуху можна сконцентрувати на невеликій площі, використовуючи пустотілий заряд. Однак у своїх експериментах Баадер використав чорний порох, який не може формувати необхідну хвилю детонації. Вперше продемонструвати ефект застосування пустотілого заряду вдалося лише з винаходом високобризантних ВР. Це зробив у 1883 р. Макс фон Ферстер. У 1888 р. у США кумулятивний ефект досліджував та описав Чарльз Манро. У 1938 р. Франц Томанек у Німеччині та Генрі Мохоупт у Швейцарії незалежно один від одного відкрили ефект збільшення пробивної здатності при застосуванні металевих облицювань конуса, на зовнішній поверхні якого розташовано шар ВР. Кумулятивний ефект – ефект Манро почали використовувати у дослідницьких цілях (можливість досягнення великих швидкостей речовини – до 90 км/с), у гірській справі, у військовій справі (бронебійні снаряди).

У 1941–1943 рр. співробітники Інституту математики АН УРСР під час евакуації до Уфи під керівництвом М.О. Лаврентьєва вивчали дію на перешкоду металевих стрижня, що рухається з великою швидкістю вздовж осі. Цим передбачається, по суті, ідея кумулятивної дії вибуху, теорією якого М.О. Лаврентьєв впритул займався після повернення до м. Києва. Він запропонував оригінальне гідродинамічне трактування явища кумуляції, відповідно до якого при величезних тисках,



У демонстраційній залі ІЕЗ, 1986 р., зліва направо: Б.О. Мовчан, В.М. Бернадський, О.М. Корніснко, Я.Б. Зельдович, Д.А. Дудко, Б.С. Патон

що виникають у момент вибуху, метал можна розглядати як ідеальну рідину, яка не стискається; після цього, використовуючи рівняння гідродинаміки, можна було розрахувати динаміку струменя та обчислити пробивний ефект.

Утворення нероз'ємних з'єднань металів при ударі, викликаному вибухом, встановили одночасно незалежно в УРСР і США. У 1944 р. в американському журналі Л.Р. Карл описав випадок з'єднання двох латунних дисків, що метаються за допомогою детонатора. У 1944–1946 рр. М.О. Лаврент'єв та його співробітники в Інституті математики АН УРСР у м. Києві при проведенні експериментів з кумуляції отримали перші зразки з'єднання – монолітні стрижні з пучків мідних дротів, осесиметричні та біметалеві зразки з характерним для зварювання вибухом явищем хвилеутворення на поверхні контакту тіл, що стикаються.

Учасник цих робіт М.М. Ситий зварював монолітні стрижні з пучків мідного дроту, обмотуючи їх шнуром, що детонував. У 1950 р. у США Г. Кован і Дж. Дуглас дослідили косі зіткнення пластин і розробили першу практичну технологію зварювання вибухом. У 1958 р. в Інституті гідродинаміки Сибірського відділення АН СРСР (м. Новосибірськ) продовжено дослідження в напрямку металообробки вибухом (М.О. Лаврент'єв, Ю.І. Фадеєнко).

У 1950-х роках розвиток і широке впровадження технології штампування вибухом надало можливість застосування вибухових речовин для з'єднання металів. У ці ж роки Г. Кован, А. Хольцман і Дж. Дуглас з американської фірми «Дюпон Де Не-

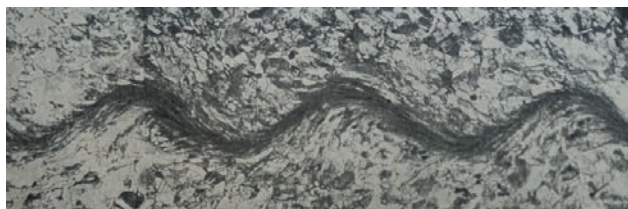
мур» у результаті досліджень косих зіткнень пластин, що металася плоским зарядом ВР, розробили досконалу технологію зварювання вибухом, яка була запатентована та опублікована тільки в 1964 р.

У СРСР системні дослідження процесу ЗВ розгорнуто на початку 1960-х років, зокрема в Інституті гідродинаміки. Надалі науково-дослідні роботи зі ЗВ проводилися в ІЕЗ ім. Є.О. Патона (ІЕЗ), у Дніпропетровському гірничому інституті, у Волгоградському політехнічному інституті, у Всесоюзному науково-дослідному та конструкторсько-технологічному інституті трубної промисловості (ВНДКТП) (м. Дніпропетровськ) та ін.

Для отримання належного зварного з'єднання необхідно було навчитися керувати локальним вибухом, визначити склад ВР, технології підготовки кромки і поверхонь перед зварюванням, геометрію розташування елементів (листи, труби, стрижні), що зварюються, і шару ВР на їх поверхнях, особливості з'єднання різних металів, вирішити проблему техніки безпеки при проведенні вибухових робіт. В ІЕЗ розпочато інтенсивний пошук методів зварювання різномірних металів. «Протокол наради у директора ІЕЗ від 03 жовтня 1964 р. № 548. «Про виконання та подальший розвиток в ІЕЗ робіт зі зварювання різномірних матеріалів. Вирішили: Відзначити, що розвиток хімічного машинобудування, атомної енергетики та інших галузей техніки висунув актуальне завдання створення основ зварювання конструкцій та виробів із різномірних металів. Вважати однією з найважливіших тем, які мають розроблятися у технологічних відділах ІЕЗ».

Роботи зі створення лабораторії зварювання вибухом в ІЕЗ розпочав М.Г. Остапенко. З 1967 р. лабораторією, а з 1972 р. – відділом зварювання, різання та обробки металів вибухом почав керувати д.т.н. В.М. Кудінов. У 1980–2003 рр. цей відділ очолював д.т.н. В.Г. Петушков.

В ІЕЗ було досліджене явище хвилеутворення на поверхні з'єднання вибухом – з'єднання у формі хвиль, розглянуто питання формування руйнівних залишкових напружень при ЗВ і методи боротьби з ними, розроблено пружнопластичну модель хвилеутворення, що дозволяла врахувати індивідуальні властивості ЗВ різних металів і сплавів. Було розроблено промислові технології обробки вибухом зварних з'єднань металоконструкцій відповідального призначення для забезпечення їх експлуатаційної надійності (В.М. Кудінов, В.Г. Петушков). У Дніпропетровському гірничому інституті та ВНДКТП трубної промисловості досліджували та розробляли технологічні процеси зварювання, зміцнення й отримання нових мате-



Ефект явища хвилеутворення при зварюванні вибухом



Зварний зразок з хвильовою поверхнею

ріалів за допомогою вибуху. (Р.П. Дідик, М.П. Юрченко, Ю.В. Гаск та ін.).

Під керівництвом В.М. Кудінова проведено фундаментальні дослідження зварювання та плакування вибухом, у тому числі, досліджено структури з'єднань, розглянуто теплову ситуацію в зоні утворення з'єднання; проаналізовано причини, що призводять до руйнування вже створених з'єднань, для чого досліджено процеси виникнення та взаємодії хвиль навантаження–розвантаження, а також роль залишкового тиску продуктів детонації. Було запропоновано нову модель фізичної теорії явища хвилеутворення. Комплекс досліджень, виконаних в ІЕЗ, став основою виділення окремого класу зварювальних процесів, які отримали назву конструкційного ЗВ, що виконується на деталях і виробах.

Спочатку для ЗВ використовувалися високобризантні ВР з високою швидкістю детонації, які зазвичай застосовувалися в кумулятивних зарядах і для створення сильних ударних хвиль. У цих умовах зварювання між пластинами спостерігалось лише у певному діапазоні початкових кутів і незмінно супроводжувалося значною залишковою деформацією поверхневих шарів металу з характерною хвилеподібною формою.

Особливим досягненням слід вважати створення подовжених зарядів (ПЗ), розроблення безпечної технології їх виготовлення та застосування для зварювання і різання металевих конструкцій.

У 1960–1970-х роках в ІЕЗ розроблено способи локального та шовного зварювання еквідистантно розташованих тонкостінних деталей, листів і замкнутих оболонок за допомогою подовжених зарядів, які начинені ВР з високою швидкістю детонації. На основі цих способів створено промислову технологію зварювання вибухом алюмінієвих оболонок кабелів зв'язку, яка відразу ж була впроваджена при будівництві кабельних ліній зв'язку загальною довжиною понад 5000 км. ЗВ застосовувалось для з'єднання потужних струмопроводів і струмопровідних елементів. Розроблено та впроваджено на Південно-Західній залізниці та інших 12 залізницях СРСР кілька ефективних способів з'єднання багатожильної арматури контактних мереж і технологію приварювання мідних з'єднувачів до об'ємно-загартованих рейок.

З 1970-х років посилюються дослідження фізико-механічних явищ при обробці металів вибухом, включаючи зварювання й різання, зміну їх фізико-механічних властивостей. Розроблено теорію й промислові технології обробки вибухом зварних з'єднань металоконструкцій відповідального

призначення для забезпечення їх експлуатаційної надійності, зокрема для підвищення корозійно-механічної міцності зварних з'єднань в основних і кислих середовищах (В.М. Кудінов, В.Г. Петушков). За допомогою ЗВ плоских поверхонь одержують біметалеві та багатошарові листи, здійснюють плакування спеціальними сплавами великогабаритних виробів (лопатей гідротурбін, конструктивних елементів реакторів тощо), з'єднують елементи металевих конструкцій.

У 1979 р. досліджено механізм детонації великомасштабних зарядів вибухової речовини стосовно плакування зварюванням вибухом. Встановлено пульсуючий режим детонації, запропоновано способи стабілізації процесу детонації. Розроблено технологію приєднання відводів до діючих магістральних газопроводів із використанням біметалічного перехідника (В.М. Кудінов). Вивчено умови утворення з'єднань поблизу нижньої межі ЗВ. Результати цих досліджень використовуються для розробки технологічних режимів ЗВ, які мінімізують вплив ЗВ при зварюванні елементів готових металоконструкцій, які чутливі до рівня залишкових пластичних деформацій та піддаються ризику руйнування. Визначено вплив відмінностей густини та твердості при з'єднанні різнорідних матеріалів. Вивчено вплив шорсткості поверхонь, що з'єднуються, і сформульовані рекомендації щодо раціонального вибору ступеня чистоти їх механічної обробки. Відпрацьовано прийоми хімічної підготовки поверхонь, що з'єднуються, при зварюванні високоміцних алюмінієвих сплавів зі зниженою здатністю до високошвидкісного пластичного деформування. Показано, що попередня хімічна обробка дозволяє з'єднувати ці сплави безпосередньо, без проміжних прошарків із більш пластичного металу.

Високими техніко-економічними показниками відрізняється технологія ЗВ сталеалюмінієвих перехідників для анодотримачів електролізерів для виплавки алюмінію. За допомогою цієї технології на Усольському заводі гірничого обладнання безпосередньо в цехових умовах організовано великосерійне виробництво сталеалюмінієвих перехідників. Завдяки застосуванню механізованої вибухової камери, технологічний цикл зварювання вибухом одного виробу становить 5 хв. На Красноярському алюмінієвому заводі організовано відкриту вибухову ділянку реставрації сталеалюмінієвих анодотримачів продуктивністю 10 тис. штирів на рік.

Прикладом ефективного застосування зварювання та різання вибухом є комбінована технологія під'єднання відводів до газопроводів під тиском, що забезпечує безпечне проведення робіт без припи-

нення транспортування газу. Зварювання та різання вибухом може здійснюватися в польових умовах, де складно застосовувати інше стандартне або громіздке устаткування. Здійснюється з'єднання в польових умовах приводів і вузлів контактної мережі, алюмінієвих кабелів, струмопідводів та ін. деталей.

У 1980-х роках розроблено принципово нові технологічні схеми та конструкції оснастки, що забезпечують локальне плакування вибухом оболонок у будь-яких просторових положеннях. Розроблено технологію ремонту локальних пошкоджень – наскрізних отворів з тонкими стінками (В.М. Кудінов та ін.).

У 1970–1980-х рр. Дослідне виробництво СКТБ ІЕЗ виготовило та поставило на адресу підприємств нафтової та газової промисловості (Ташкентська, Тюменська та Куйбишевська обл., Чорнобильська АЕС) подовжені кумулятивні заряди (ПКЗ) для різання вибухом трубопроводів та ін. конструкцій. Для виготовлення вузлів ракетних двигунів, систем подачі палива, аеродинамічних систем керування, перехідних відсіків та ін. вузлів із біметалу на Південному машинобудівному заводі було створено спеціальний цех. В ІЕЗ виготовлені підводні заряди для різання конструкцій глибоководних стаціонарних платформ при установці їх на акваторії Каспійського моря на глибині 120 м.

У 1979 р. при ІЕЗ створено Спеціальне конструкторсько-технологічне бюро з металообробки вибухом, нині – Науково-інженерний центр «Металообробка вибухом» ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України – НІЦ МВ, яке очолив Л.О. Волгін. НІЦ

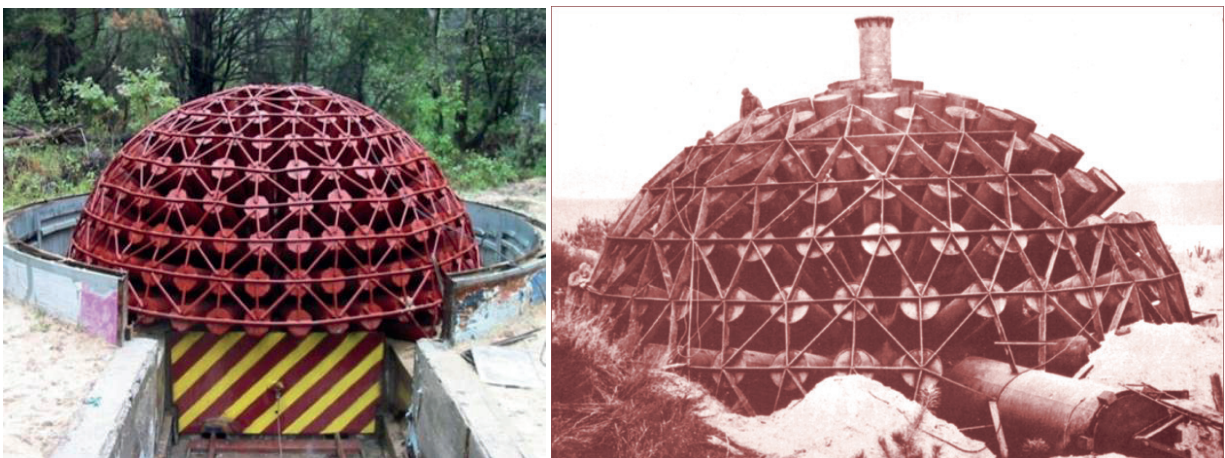
МВ по праву відносять до наукових об'єктів, що становлять національне надбання України.

Найважливішими роботами, виконаними Л.О. Волгіним і під його керівництвом, є: розробка технології зварювання вибухом триметалевих перехідників для аерокосмічної техніки; розробка труборізів на основі ПКЗ для демонтажу нафтопроводів, для вирізки ділянки труби з нафтопроводу в аварійній ситуації, для підключення відводів до діючих нафто- і газопроводів, для демонтажу під водою морських стаціонарних платформ тощо. Розроблено та впроваджено системи для аварійного відділення лопатей вертольота при катапультуванні екіпажу, для руйнування скління кабін пілота при покиданні екіпажем літальних апаратів у аварійних ситуаціях, для екстреного відокремлення «чорного ящика» від літального апарата у випадку аварії, а також технології для утворення аварійних виходів у космічному кораблі багаторазового використання в комплексній системі аварійного порятунку екіпажу. Спільно з Міністерством цивільної авіації та Київським авіаційним заводом ім. О.К. Антонова розроблено бортові пристрої та технологію застосування ВР для руйнування скління кабіни літальних апаратів і для утворення аварійних виходів у літаках різних типів (враховувався допустимий фізіологічний рівень звукового імпульсу шуму 150 Дб).

З 1990-х років одним з основних напрямків наукової діяльності ІЕЗ було підвищення циклічної довговічності зварних з'єднань обробкою вибухом. Було розроблено уявлення про механізм впли-



Стандартні кумулятивні заряди (лінійний та кільцевий) та перфоратор для нафтогазової промисловості



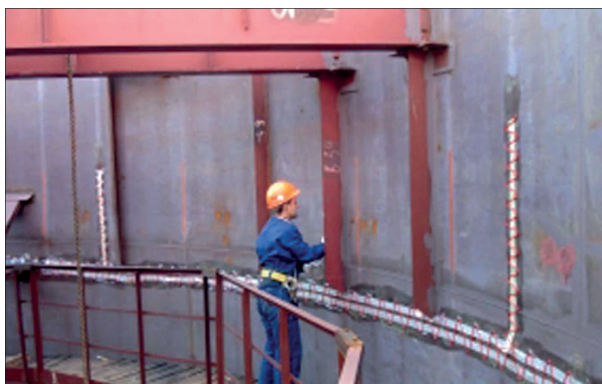
Камери для виконання робіт за технологіями ЗВ; праворуч – трубаcamera потужністю 200 кг тротилу

ву обробки вибухом на довговічність зварних з'єднань, способи призначення режимів обробки та їх практичної реалізації (В.О. Титов). Технологія обробки зварних з'єднань вибухом успішно використовувалась при виготовленні прогінних споруд, ободів коліс великовантажних самоскидів Белаз, поворотного механізму радіотелескопа з діаметром дзеркала 70 м, при усуненні дефектів форми резервуарів для нафтопродуктів тощо.

У 1999–2003 рр. виявлено явище різкого зниження схильності зварних з'єднань алюмінієвого сплаву В95 до крихких руйнувань в умовах низькотемпературного підігріву, що дало можливість виконати плакування вибухом зварних з'єднань з тріщиноподібним концентратором (В.Г. Петушков). У 2008 р. виявлено ефект запобігання розтріскуванню та покращенню зварюваності при зварюванні вибухом високовуглецевих сталей підвищеної твердості (наприклад 65Г) з різними металами та сплавами з використанням низькотемпературного (до 150 °С) попереднього підігріву. Цей ефект дозволяє за допомогою ЗВ отримувати з'єднання металів і сплавів, які мають низьку пластичність (Л.Д. Добрушин).

ЗВ застосовують при виготовленні трубних дощок теплообмінників і трубчастих перехідників для енергетики та ракетобудування. Корпуси парогенераторів виготовляють із перлітних сталей, а трубки та колектори – із аустенітної корозійностійкої сталі. Для виготовлення складних конструкцій цих вузлів АЕС розроблено технології вибухового розвальцювання та наступного приварювання дугою в інертних газах.

Протягом багатьох років в ІЕЗ займалися проблемами безпеки та екологічної чистоти вибухових технологій. Було розроблено декілька конструкцій вибухових камер. ЗВ виконують у пристосованих звукопоглинаючих приміщеннях (на майданчиках, у басейнах, камерах) або під піною в певному діапазоні швидкостей і кутів співударяння. У НІЦ МВ діє вибухова камера, в якій проводяться



Робочий момент обробки вибухом декомпозира

вибухові роботи та яка розрахована на підрив до 200 кг ВР у тротиловому еквіваленті. У ній можна виготовляти біметалеві вироби різних габаритів і конфігурації (В.М. Кудінов, В.Г. Петушков, Л.О. Волгін). Як вибухову речовину найчастіше застосовують амоніти, амонали, гранулотол тощо.

У 2011 р. в ІЕЗ розроблено технологію квазістикового ЗВ трубок із мідного сплаву CuCrZr та нержавкої сталі 321 для виготовлення біметалічного перехідника, що дозволяє з'єднувати різнорідні матеріали за допомогою зварювання плавленням (Л.Д. Добрушин, С.Ю. Ілларіонов, П.С. Шльонський). Дана технологія розроблялась для проекту «Міжнародний експериментальний термоядерний реактор», так званий ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor).

Пізніше, у 2014–2016 рр., в ІЕЗ було розроблено конструкцію і технологію виготовлення за допомогою ЗВ триметалевого перехідника Ti-SS-Ti. Всередині цього перехідника робився отвір, в який вварювали за допомогою електронно-променевого зварювання патрубок із ніобію. Таким чином вдалося з'єднати резонатор із ніобію з кожухом із нержавкої сталі для проекту «Міжнародний лінійний колайдер», або скорочено ILC (International Linear Collider); виконавці – С.Ю. Ілларіонов, П.С. Шльонський, А.Г. Бризгалін.

1. US patent 3137937, Cowan, George R.; Douglass, John J.; Holtzman, Arnold H., Explosive bonding, issued 1964-06-23
2. Кудінов В.М. (1971) Гидродинамическое моделирование процесса образования волн при сварке металлов взрывом. *Автоматическая сварка*, **8**, 71–76.
3. Кудінов В.М. (1978) *Сварка взрывом в металлургии*. М., Металлургия.
4. Дерибас А.А. (1972) *Физика упрочнения и сварки взрывом*. Новосибирск.
5. Волгин Л.А. (1980) *Способы и технологические средства замены поврежденных участков магистральных трубопроводов*. М., ЭНГ.
6. Кудінов В.М., Петушков В.Г., Фадеев Ю.И. (1993) *Обработка взрывом сварных соединений металлоконструкций*. М., Металлургия.
7. Петушков В.Г. (2005) *Применение взрыва в сварочной технике*. К., Наукова думка.
8. Добрушин Л.Д., Корнієнко О.М. (2010) *Зварювання вибухом* / Енциклопедія сучасної України [Електронний ресурс] / редкол.: І.М. Дзюба [та ін.]; НАН України, НТШ. Київ, Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, Т. 10. ISBN 978-966-02-5721-4.
9. Шмиг Р.А., Боярчук В.М., Добрянський І.М., Барабаш В.М. (2010) *Зварювання вибухом. Термінологічний словник-довідник з будівництва та архітектури*. За заг. ред. Р.А. Шмига. Львів, ISBN 978-966-7407-83-4.

Олександр Корнієнко, д.і.н.,
ІЕЗ ім. Є.О. Патона

Леонід Полонський, д.т.н.,
Державний університет «Житомирська політехніка»



Fronius Fortis: зварювання MIG/MAG нового покоління — гнучке, функціональне, потужне

«Наша нова серія зварювальних апаратів Fortis — це надзвичайно універсальне рішення для високоякісного ручного зварювання MIG/MAG. Ми спеціально розробили її з урахуванням різноманітних вимог малих і середніх підприємств», — підкреслює Петер Фроніус, керівник відділу системних рішень компанії Fronius International. «Fortis поєднує в собі надійну технологію, інтуїтивно зрозуміле керування та максимальну функціональність, встановлюючи нові стандарти у металообробній промисловості». Нові зварювальні апарати серії Fortis вперше були представлені у вересні 2025 р. на виставках «FABTECH» у Чикаго (США) та «SCHWEISSEN & SCHNEIDEN» в Ессені (Німеччина).

Одна серія — безліч варіантів. Асортимент продукції Fortis містить потужні зварювальні апарати в діапазоні струму 270...500 А, доступні як у вигляді компактних універсальних систем «все в одному», так і у розділеному виконанні із зовнішнім механізмом подачі дроту для значного розширення робочого діапазону. Всі моделі можуть бути оснащені перевіреними функціями Fronius, такими як імпульсне зварювання, SynchroPulse, інтервальне зварювання, прихватка TAC, HotStart та Anti-Stick.

Лінійку доповнює Fortis XT — енергоефективний універсальний апарат для трифазної мережі з напругою 200...600 В та однофазної мережі з максимальним зварювальним струмом до 320 А, у тому числі й режим CEL. Тому він ідеальний для використання в усьому світі, економить енергію завдяки вищому коефіцієнту потужності та пропонує додаткову, вищу вихідну характеристику для ще більшої продуктивності зварювання.

Завершує лінійку модель Fortis Duo. Вона поєднує в собі компактний зварювальний апарат і додатковий зовнішній механізм подачі дроту, що дозволяє використовувати дві котушки дроту і два зварювальні пальники в одному пристрої. «Це означає, що зварник може без переоснащення, лише натисканням кнопки, легко переходити з одного матеріалу або діаметру дроту на інший» — пояснює Міхаель Айстерхубер, менеджер з продуктової лінійки Fronius International. «Це економить

величезну кількість часу, що ідеально підходить для завдань, які часто змінюються, насамперед, у контрактному виробництві, будівництві металевих конструкцій або монтажі».

Розроблений для гнучкого використання. На багатьох підприємствах зварювальні завдання змінюються майже щодня: нові матеріали, різні форми швів та різноманітні деталі. Саме для такого динамічного середовища створений Fronius Fortis. Завдяки майже 240 оптимізованим характеристикам, розробленим спеціально для сталі, нержавкої сталі та алюмінію, він забезпечує стабільно надійні результати навіть у складних умовах, таких як зварювання вертикальних швів знизу вгору, корневих проходів та з'єднання тонких листів.

Multiprocess — один пристрій для різних процесів. MIG/MAG, TIG чи MMA: усі варіанти Fortis потужністю до 500 А з функцією Multiprocess доступні та охоплюють усі поширені зварювальні процеси на найвищому рівні. «Завдяки функції Multiprocess, Fortis є не лише універсальним, але й орієнтованим на майбутнє. Це означає, що він оснащений для будь-яких майбутніх завдань, які, можливо, ще невідомі сьогодні», — зазначає Петер Фроніус. «Тому це — ідеальне та надзвичайно гнучке рішення для підприємств з широким спектром застосувань».

Інтуїтивне управління, включаючи майстер параметрів зварювання. «Центральним елементом серії Fortis є наша повністю переосмислена



Ручне зварювання MIG/MAG останнього покоління за допомогою потужного, гнучкого та повністю цифрового апарату Fronius Fortis. Однофазний, трифазний або в режимі генератора: новий потужний апарат завжди забезпечує високу якість зварювання в будь-якій точці світу



Модель Fortis із зовнішнім механізмом подачі дроту забезпечує максимальний робочий діапазон із з'єднувальним шланговим пакетом довжиною до 20 м. До того ж, функція Pulse може застосовуватися зі з'єднувальними шланговими пакетами до 15 м



Fortis Duo поєднує в собі компактний зварювальний апарат 320...500 А і додатковий зовнішній механізм подачі дроту. Це означає, що зварник має під рукою два різних матеріали або товщини дроту на одному пристрої, що економить час на зміну процесу при частому переході від одного завдання до іншого



Нова лінійка продуктів Fortis (270...500 А) пропонує відповідну модель для будь-яких вимог: у вигляді компактної системи «все в одному», в яку також можна інтегрувати рідинне охолодження для економії місця, або ж із зовнішнім механізмом подачі дроту для розширення діапазону робіт

концепція управління», – зазначає Міхаель Айстерхубер. «Зручний 7-дюймовий кольоровий дисплей з динамічною візуалізацією, інтуїтивно зрозумілою графікою та багатомовним меню, в якому можна вибирати з понад 30 мов, робить управління особливо простим – навіть для менш досвідчених користувачів». Три міцні поворотно-натискні кнопки дозволяють здійснювати точний вибір навіть у зварювальних рукавичках. Крім того, всі важливі робочі та зварювальні параметри вже відображаються на першому рівні меню. Важливі налаштування можна зберегти, а новий інтегрований майстер зварювальних параметрів допоможе зварнику вибрати оптимальні налаштування лише за кілька



Простота використання є головним пріоритетом. Доступний у 30 мовах, чіткий 7-дюймовий кольоровий дисплей з динамічною візуалізацією значно спрощує експлуатацію. Новий інтегрований майстер параметрів зварювання допомагає досягти оптимальних налаштувань лише за кілька кроків

кроків. Це зменшує кількість помилок, економить час і підвищує ефективність та якість виробництва.

Максимальна сумісність – готовність до цифрового виробництва. Завдяки стандартним функціям WiFi та Bluetooth Fortis можна повністю інтегрувати у програмне забезпечення Fronius. Пристрої сумісні з WeldCube Air, WeldCube Premium, WeldCube Navigator та Central User Management для адміністрування користувачів, безперебійного документування даних зварювання, управління обладнанням та надійності процесів. Інноваційну зварювальну маску Vizor Connect також можна під'єднати бездротовим способом, що забезпечує максимальний комфорт і захист. NFC-зчитувачі, бездротові пульти дистанційного керування та розширені функції документування доступні як додаткові опції.

У фокусі – екологічність і довговічність. Нова концепція корпусу для серії Fortis базується на високій частці переробного алюмінію (53 %) та зменшує використання пластику. Пристрої особливо прості в обслуговуванні, довговічні, призначені для інтенсивного використання в суворих умовах і ретельно протестовані, внутрішні компоненти надійно захищені ідеальним корпусом всередині. Fortis XT також вражає економією енергії до 16 %, що робить його не тільки надзвичайно потужним, але й екологічним.

Презентація на виставках «FABTECH» та «SCHWEISSEN & SCHNEIDEN». У вересні 2025 р. компанія Fronius вперше представила всі моделі Fortis на виставці «FABTECH» у Чикаго (США) та на виставці «SCHWEISSEN & SCHNEIDEN» в Ессені (Німеччина). Відвідувачі змогли побачити обладнання наживо, самостійно протестувати його та перекоонатися в зручності використання та продуктивності.

Додаткова інформація на сайті: www.fronius.com/fortis