

З А В Т О М А Т И Ч Н Е 4 С В А Р Ю В А Н Н Я 2022

Автоматическая сварка

Видається 12 разів на рік з 1948 р.

Automatic Welding

Published 12 times per year since 1948

ЗМІСТ

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ

Лобанов Л.М., Пащин М.О., Міходуй О.Л., Гончаров П.В.,
Завдовеев А.В., Устименко П.Р. Електродинамічна оброб-
ка зварних з'єднань алюмінієвого сплаву АМг6 в процесі
нагріву металу шва3

МЕТАЛУРГІЯ І ТЕХНОЛОГІЯ ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ТА НАПЛАВЛЕННЯ

Перемітько В.В., Коломоєць І.В., Сухомлин В.І. Особи-
вості структури та властивості шарів металу, наплавлених
із попереднім нанесенням карбідів титана та бора8

Сом О.І. Центробіжне плазмове наплавлення втулок буро-
вих насосів14

ПРОМЕНЕВІ ТЕХНОЛОГІЇ

Коржик В.М., Хаскін В.Ю., Гринюк А.А., Пелешенко С.І.,
Yao Yuhui, Григоренко С.Г., Щерецький В.О., Кушнарєва
О.С. Зварювання алюмінієвих сплавів серії 7xxx (Al–Zn–
Mg–Cu) ненаскрізними швами випромінюванням волокон-
ного лазера19

F. Bourahima, T. Baudin, M. Rege, V. Ji, F. Brisset, A.
Zavdoveev, Helbert A.L. Формування з'єднання між напла-
вленим та основним металом при лазерному наплавленні
нікелевого порошку на мідний сплав26

Соловійов В.Г., Ланкін Ю.М., Романова І.Ю. Програмування
розгортки електронного пучка для зварювання з термоо-
бробкою34

ЗАХИСНІ ПОКРИТТЯ

Борисов Ю.С., Вігілянська Н.В., Бурлаченко О.М., Олев-
ська Л.П., Лопата В.М. Аналіз сучасного досвіду розробок
уцілюючих покриттів для деталей газотурбінних двигунів
(Огляд)41

ХІМІЧНЕ ЗВАРЮВАННЯ

Ващук А.В., Мотруніч С.І., Демченко В.Л., Юрженко М.В.
Хімічне зварювання нанокмполімерів на основі епоксидної
смоли та окисненого графену50

ІНФОРМАЦІЯ

Музейний комплекс Інституту електрозварювання
ім. Є.О. Патона54

Fronius iWave: інноваційний продукт «3 в 1», готовність до
вирішення будь-яких задач57

Провідні світові виставки Wire 2022 і Tube 2022
у Дюссельдорфі: очікувані головні події галузі в червні59

Календар квітня61

CONTENT

PROCESS MODELING

Lobanov L.M., Pashchyn M.O., Mikhoduj O.L.,
Goncharov P.V., Zavdoveev A.V., Ustymenko P.R.
Electrodynamic treatment of welded joints of aluminum AMg6
alloy in the process of heating the weld metal3

METALLURGY AND TECHNOLOGY OF WELDING AND SURFACING

Peremitko V.V., Kolomojets I.V., Sukhomlyn V.I. Features of
the structure and properties of metal layers deposited with
pre-application of titanium and boron carbides8

Som O.I. Centrifugal plasma surfacing of drill pump bushings14

ELECTRONBEAM TECHNOLOGIES

Korzhuk V.M., Khaskin V.Yu., Grynyuk A.A., Peleshchenko S.I.,
Yao Yuhui, Hryhorenko S.G., Shcheretskiy V.O., Kushnarova O.S.
Fibre laser welding of aluminium alloys of 7xxx series (Al–Zn–
Mg–Cu) by non-through thickness welds19

F. Bourahima, T. Baudin, M. Rege, V. Ji, F. Brisset,
A. Zavdoveev, Helbert A.L. Formation of a joint between
deposited and base metals during laser cladding of a nickel-
based powder onto a copper-based alloy26

Soloviov V.G., Lankin Yu.M., Romanova I.Yu. Programming
electron beam scan pattern for welding with heat treatment34

PROTECTIVE COATINGS

Borysov Yu.S., Vihilianska N.V., Burlachenko O.M.,
Olevska L.P., Lopata V.M. Analysis of modern experience
in development of sealing coatings for parts of gas turbine
engines (Review)41

CHEMICAL WELDING

Vashchuk A.V., Motrunich S.I., Demchenko V.L., Iurzhenko M.V.
Chemical welding of nanocomposites based on epoxy resin
and oxidized graphene50

INFORMATION

Museum complex of the E.O. Paton Electric Welding Institute54

Fronius iWave: innovative product «3 in 1», readiness for
solving any problems57

Leading global trade fairs wire 2022 and Tube 2022
in Düsseldorf: anticipating the industry highlights in June59

Calendar of April61

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



Автоматичне зварювання Автоматическая сварка Automatic Welding

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

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

Засновники

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

Адреса

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

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

Рекомендовано до друку
редакційною колегією журналу

Свідоцтво про державну
реєстрацію KB 4788 від 09.01.2001

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

Передплата 2022

Передплатний індекс 70031.

12 випусків на рік (видається щомісячно).

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

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

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

За зміст рекламних матеріалів
редакція журналу відповідальності не несе.

EDITORIAL BOARD

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

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

Founders

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

Address

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

The Journal is included in the list of publications approved
by the Ministry of Education and Science of Ukraine
for the publication of works of applicants for academic degrees
in specialties 131, 132, 151.

Order of the MES of Ukraine № 409 of 17.03.2020.

Recommended for printing editorial board of the Journal

Certificate of state registration

of KV 4788 dated 09.01.2001

ISSN 0005-111X

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

Subscription 2022

Subscription index 70031.

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

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

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

Subscription is possible for previous issues for any year.

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

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

FORMATION OF A JOINT BETWEEN DEPOSITED AND BASE METALS DURING LASER CLADDING OF A NICKEL-BASED POWDER ONTO A COPPER-BASED ALLOY

ФОРМУВАННЯ З'ЄДНАННЯ МІЖ НАПЛАВЛЕНИМ ТА ОСНОВНИМ МЕТАЛОМ ПРИ ЛАЗЕРНОМУ НАПЛАВЛЕННІ НІКЕЛЕВОГО ПОРОШКУ НА МІДНИЙ СПЛАВ

F. Bourahima^{1,2}, T. Baudin², M. Rege¹, V. Ji², F. Brisset², A. Zavdoveev³, A.L. Helbert²

¹Etablissements Chpolansky, 3 Rue Angiboust, 91 462 Marcoussis. E-mail: fazati.bourahima@chpolansky.fr

²ICMMO, SP2M, Université Paris-Saclay, UMR CNRS 8182, bât.410, 91405 ORSAY, France

³E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine. 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine.
E-mail: office@paton.kiev.ua

Laser cladding is an alternative method to other cladding techniques such as Plasma Transfer Arc (PTA) or blowtorch for surface treatment in the glass industry. It aims to produce dense, high-quality coatings on a non-planar surface without affecting its thermal and mechanical properties. In this study, Ni-based coatings were coated onto Cu-Ni-Al substrate using a 3 JET nozzle technique. During laser cladding, good metallurgical bonding is necessary to ensure the further surfacing process technique. A microstructural analysis was conducted, and the mechanical properties were then evaluated with microhardness analysis to link process parameters to coating bonding quality. A calculation of the power attenuation attempts to explain the impact of the powder distribution on the bonding. This work revealed that a chemical dilution zone exists between coating and substrate and is necessary for perfect metallurgical bonding. The heterogeneous bonding, observed through the section, along the curved interface coating/substrate, has been linked to the Gaussian distribution of the powder that attenuates the input power. The attenuated power was measured all along the interface. 35 Ref., 2 Tabl., 10 Fig.

Лазерне наплавлення є альтернативним методом наплавлення до таких, як плазово-дугове або паяння. Воно спрямовано на отримання щільних високоякісних наплавлень на неплоских поверхнях без впливу на їх механічні властивості. У цьому дослідженні наплавлення матеріалу на основі Ni були нанесені на підкладку Cu-Ni-Al за допомогою 3-струменевого сопла. Під час лазерного наплавлення необхідне хороше металургійне зчеплення для забезпечення подальшої техніки процесу наплавлення. Було проведено мікроструктурний аналіз, а також оцінено механічні властивості за допомогою аналізу мікротвердості, щоб зв'язати параметри процесу з якістю зчеплення покриття. Розрахунок ослаблення потужності дає змогу пояснити вплив розподілу порошку на зчеплення. Ця робота показала, що між наплавленням і підкладкою існує зона хімічного розчинення, яка необхідна для ідеального металургійного з'єднання. Гетерогенне зчеплення, що спостерігається через ділянку, вздовж вигнутої поверхні розділу покриття/підкладки, пов'язане з Гауссовим розподілом порошку, який послаблює вхідну потужність. Ослаблену потужність вимірювали по всьому інтерфейсу. Бібліогр. 35, табл. 2, рис. 10.

Keywords: laser cladding, power attenuation, powder distribution, dilution zone

Ключові слова: лазерне наплавлення, ослаблення потужності, розподіл порошку, зона розчинення

Introduction. During glass bottle production, viscous glass is poured into Cupro–Nickel–Aluminum (Cu–Ni–Al) molds at temperatures ranging from 700 to 1200 °C. Cu–Ni–Al or cast-iron glass molds must absorb the high glass temperature to cool it homogeneously, playing the role of thermal exchangers [1]. However, during this process, corrosion or abrasion can appear on the molds' sensitive parts (neck ring and match). Also, thermal fatigue can be observed during the molding cycle. Therefore, it is important to modify the mold surface properties before the production to extend its lifespan. In order to do that, Ni-based or Co-based powder is cladded on those parts. The most famous cladding methods for glass indus-

try are Plasma Transferred Arc (PTA) [2] and blowtorch [1]. But with these techniques, a high Heat Affected Zone (HAZ) is present. It corresponds to a zone belonging to the substrate that has not reached its fusion temperature but underwent a change in its structure due to the process. To avoid that, a pre-heating is operated with those techniques. In mold industry, the aim is to limit this Affected Zone to prevent changes in the substrate thermal properties. To be able to do that, laser cladding is operated instead of former techniques without mold pre-heating.

Laser cladding is an innovative surfacing technique, developed in the 90's [3,4]. It is used to obtain well-bonded high-quality materials, free of pores and

Bourahima F. – <https://orcid.org/0000-0003-2459-7799>, Baudin T. – <https://orcid.org/0000-0002-6765-360X>,

Ji V. – <https://orcid.org/0000-0003-1979-7323>, Brisset F. – <https://orcid.org/0000-0003-0952-2748>,

Helbert A.L. – <https://orcid.org/0000-0003-1679-9569>, Завдовцев А.В. – <https://orcid.org/0000-0003-2811-0765>

© F. Bourahima, T. Baudin, M. Rege¹, V. Ji, F. Brisset, A. Zavdoveev, A.L. Helbert, 2022

cracks without affecting the substrate thermal properties (so, a low HAZ).

Some researchers have investigated the impact of laser cladding on the substrate microstructural change. In most of the studies, the HAZ is observed during laser cladding on cast iron substrates with the appearance of metastable phases like martensite or ledeburite [5, 6].

Balu et al. [7] have operated laser cladding with two kinds of Ni-based powder on Cu substrate with and without pre-heating. They observed that the grain size in the HAZ is high distanced from the interface. It has also been seen that this size increases at low laser scanning speed. Hardness is lower in the HAZ than distanced from the interface. They found that a substrate pre-heating leads to a better bonding due to a larger melting pool and HAZ.

Despite the limited HAZ, laser cladding often induces an area of local chemical dilution between the powder and the substrate. Authors explained that dilution is obtained at the interface when a fusion between the substrate and the coating occur [7–9]. This dilution, dependent on the input laser power [10], has to be restricted in order to avoid a large HAZ but seems necessary to ensure good metallurgical bonding. Many researches have observed that according to the powder nature, a high power attenuation can appear [11, 12]. There are two ways of describing the dilution (rate) [13]: in geometrical terms, it is in calculating the ratio between the melted area (including the HAZ) and the coating area. The second is in metallurgical terms, which consists in measuring the depth of the chemical mixture between the coating and the substrate. Liu et al. [14] present a dilution rate by using the geometrical method during laser cladding of magnesium alloys. According to them, a very low dilution rate prevents from good metallurgical bonding. Using the same definition of the dilution rate, Luo et al. [15] present the same observation during laser cladding of NiCrBSi. Balu et al. [7] used the metallurgical method to measure the dilution rate during laser cladding of Ni-based powder on a Cu substrate. They found that a high dilution can lead to a high HAZ. Pereira et al. [16] observed that during laser cladding of NiCoCrBSi on stainless steel, a very low dilution zone (metallurgical method) at about 2 μm is enough to obtain a perfect bonding without affecting

the substrate mechanical properties (no cracking behavior observed). Many authors [17, 18] presented an EDS analysis to measure the dilution between two materials and its components' chemical evolution.

The main challenge in laser cladding on a copper-based substrate is to obtain good bonding despite the low absorptivity of the substrate [19]. Zhang et al. [20] explained that it was impossible to obtain bonding without preheating, so they pre-heated the substrate to 300 °C. It appears that a compromise must be found to respect both the restricted HAZ and the dilution zone needed to guarantee the cohesion between the coating and the substrate. We should bear in mind that this cohesion is crucial to allow further machining of the repaired mold. Moreover, the coating has to be free of cracks and pores to retain a perfect glass surface.

The aim of this study is to obtain a perfect bonding with a limited or non-existent HAZ after cladding of nickel-based material on a Cu–Ni–Al substrate. The novelty in this process is the laser cladding performed without preheating on a curved surface. Also, the high thermal conductivity of the copper-based material is challenging because it can prevent from obtaining the perfect bonding. This can be achieved by identifying the relationship between the dilution zone (existence and thickness) and the bonding quality with regards to the laser process parameters. A microstructural and chemical analysis of the coating/substrate interface will be conducted. Also, microhardness measurements will be presented. The influence of the Gaussian distribution of Ni powder on the laser power attenuation, and thus on the bonding, will be discussed.

Materials and experimental techniques. Laser cladding consists in melting an injected powder with a very thin surface layer on the substrate by a laser beam to produce a metallurgical bonding. During this study, a 4KW Nd: YAG laser with a wavelength of 1030 nm was used. An optical fiber with a diameter of 600 μm was used for guiding the beam. Ni powder was injected coaxially into the laser beam [21]. A cross-section of the Cu–Ni–Al mold of the bottle ring is shown in Fig. 1a after cladding. Fig. 1b describes the typical cross-section that has been metallurgically studied.

During the process, the interaction distance, f_s , between the laser and the powder is considered (fig. 2).

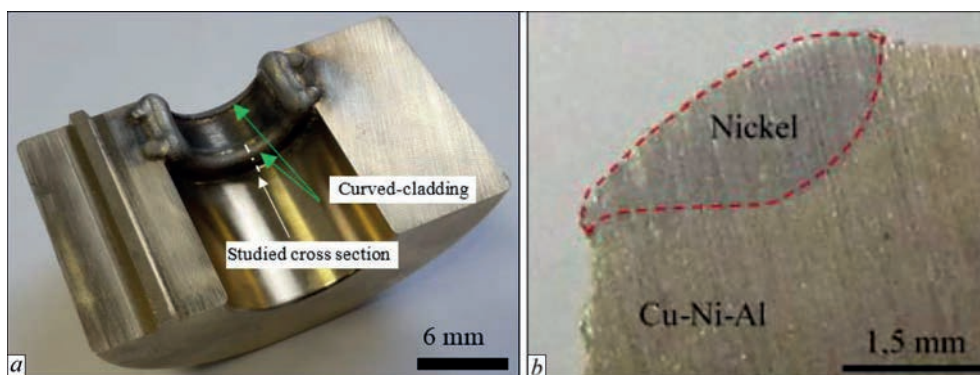


Fig. 1. Half of the mold ring after Ni-laser cladding (a); studied cross section (b)

Рис. 1. Половина кільця форми після наплавлення Ni-лазером (a) і поперечний переріз (b)

At the focal plane (position B), the powder flow follows a Gaussian distribution. This has been proved by many research studies [22–24]. In the present study, the Gaussian distribution has been centered at the mid-point of the mold curved surfaces of the samples.

The chemical compositions of the powder and the substrate are listed in tabl. 1.

The process parameters used during this study are presented in tabl. 2. These samples are extracted using Taguchi design of experiment. Only samples with a partial or perfect bonding have been selected.

To be characterized, samples were mechanically polished using SiC papers and then diamond polished to 1 μm for Optical Microscopy (OM), Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) analyses. To operate Electron Backscatter Diffraction (EBSD), an extra OPS polishing was done. Vickers hardness tests were performed on the cross-section, along a line perpendicular to the coating surface with a 10-gf load for 15 seconds. The measurements were taken from either side of the interface for all the 6 samples.

Results and discussion. *Microstructure features and associated chemical and mechanical properties.* Fig. 3 describes the three different kinds of bonding behavior that can be observed after laser cladding of Ni-based powder on a Cu–Ni–Al substrate: perfect bonding (Fig. 3a), partial bonding (Fig. 3b) where the bonding is partially present at the interface and no bonding (Fig. 3c). A bonding is considered partial when 15 % bonding defect is observed in the coating/substrate interface.

Table 1. Chemical compositions of the substrate and powder
Табл. 1: Хімічний склад підложки та порошку

Elements (wt. %)	Fe	Mn	Al	Ni	Zn	Pb	Sn	Si	Cu	B	Cr	C
Cu–Ni–Al	<1	0.5	8.5	15	8	<0.1	0.15	1	Bal	–	–	–
Ni powder	1	0.1	–	Bal	–	–	–	2.5	–	1.7	0.3	0.5

Table 2. Process parameters
Табл. 2 : Параметри процесу

Sample	Power (W)	Speed (mm/s)	Powder Feeding Rate (g/min)	Spot diameter (mm)
CNC 1	2400	6.5	26.5	4
CNC 2	2600	10	24.5	3
CNC 3	2800	6.5	32.5	3
CNC 4	2800	8.5	24.5	4
CNC 5	3200	8.5	28.5	3
CNC 6	3200	10	30.5	4

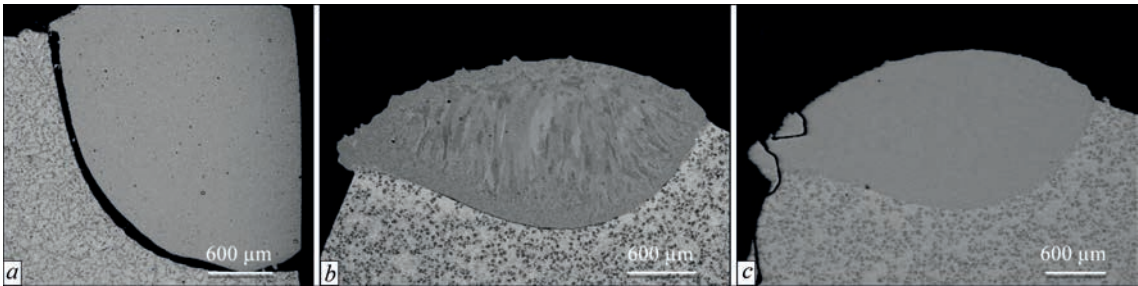


Fig. 3. Three kinds of bonding behavior: a – no bonding; b – partial bonding; c – perfect bonding
Рис. 3. Три типи з’єднання: a – відсутність з’єднання; b – часткове з’єднання; c – ідеальне з’єднання

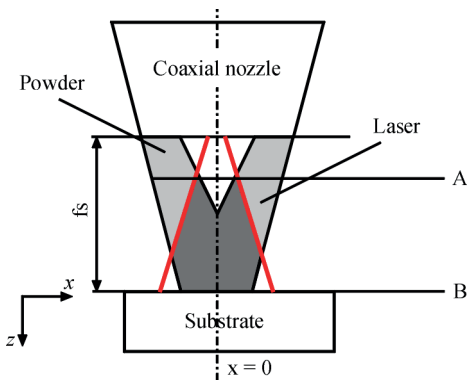


Fig. 2. Powder distribution according to the focal position fs [19]
Рис. 2. Розподіл порошку відповідно до фокусного положення fs [19]

Fig. 4 shows the SEM-BSE (Back-Scattered Electrons) analysis of the CNC 5 and CNC 6 samples (see tabl. 2). Fig. 4a shows that CNC 5 presents perfect bonding (case of fig. 3c) whereas fig. 4b shows a sample (CNC 6) with a discontinuous bonding (fig. 3b). Indeed, in the curved center, there is a lack of bonding. No analyses have been performed on samples with no bonding (fig. 3a) since the clad is easily separated from the substrate.

For both samples, the substrate is composed of a dendritic matrix. No heat affected zone (HAZ) seems to be present in the substrate because no microstructure modification is noticeable close to the interface. Concerning the Ni deposit, elongated grains are observed along solidification direction for both cases. Small grains can be seen in the coating close to the interface and at the extreme surface.

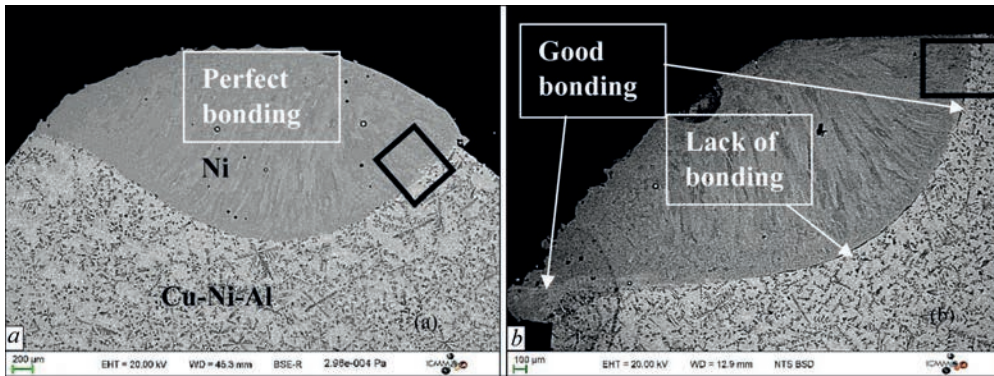


Fig. 4. Typical microstructure of the cross-section of the samples: *a* – CNC 5 with good bonding; *b* – CNC 6 with partial bonding obtained by SEM-BSE

Рис. 4. Типова мікроструктура поперечного перерізу зразків: *a* – CNC 5 з хорошим з'єднанням; *b* – CNC 6 з частковим з'єднанням, отриманий за допомогою SEM-BSE

Fig. 5 shows an EBSD analysis of the microstructure and texture around the interface (black squares in 4*a* and *b*) for both samples (perfect or partial bonding) in order to observe the differences according to the bonding quality.

It can be observed that microstructure is very similar in both cases (fig. 5*a* and 5*b*). The solidification features are in accordance with the literature [25–28]. A nucleation phase, characterized by small equiaxed grains, is evidenced at the interface, then a columnar growth directed mainly parallel to the $\langle 001 \rangle$ direction of the dendrites is observed (fig. 5*a*). So, the bonding quality does not change the solidification behavior during laser cladding.

A SEM-EDS analysis is presented (fig. 6) to observe the chemical impact of the laser cladding at the interface nucleation/substrate.

In the fig. 6*a* and *b*, deconstruct dendrites from the substrate are observed in a mixed zone at the coating/substrate interface delimited by white lines. Also, the fig. 6*c* clearly shows a local chemical mixture where copper seems to be replaced by nickel over a thin layer of the substrate. This can be the consequence of a local fusion of the substrate and correspond to the dilution zone that has been reported in the literature [17, 26]. Apart from this area, there are no discernible chemical changes in the substrate or the Ni coating. So, no HAZ can be chemically observed in this study.

A measurement of the dilution zone thickness was made by chemical analysis from the coating to the substrate (fig. 7).

A diminution of the Ni element from the coating to the substrate can be observed. At the same time,

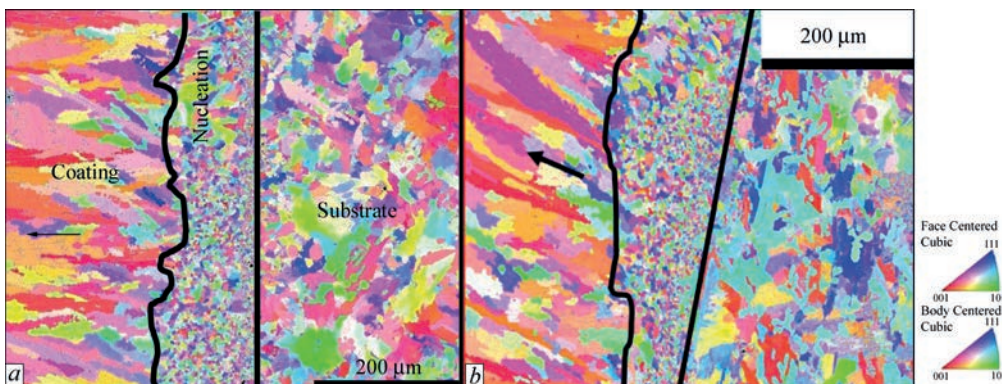


Fig. 5. Crystallographic axes parallel to the solidification direction (black arrows): *a* – EBSD analysis of the black square area in fig. 4*a*; *b* – in Fig. 4*b*

Рис. 5. Кристалографічні осі, паралельні напрямку затвердіння (чорні стрілки): *a* – Аналіз EBSD області чорного квадрата на рисунку 4*a*; *b* – на рисунку 4*b*

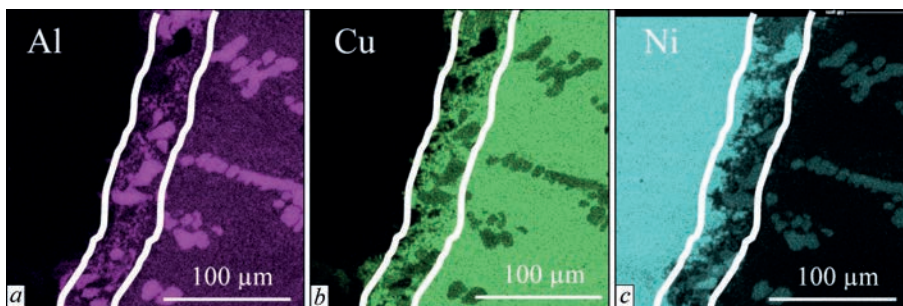


Fig. 6. EDS maps of the principal chemical elements composing the deposit and the substrate of sample CNC6: *a* – Al; *b* – Cu; *c* – Ni

Рис. 6. Карти EDS основних хімічних елементів, що складають наплавлення та підкладку зразка CNC6: *a* – Al; *b* – Cu; *c* – Ni

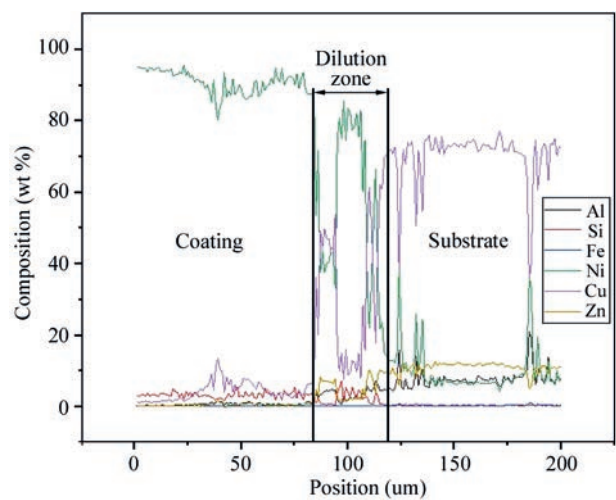


Fig. 7. Chemical composition of the dilution zone from the coating to the substrate (sample CNC 6)

Рис. 7. Хімічний склад зони розчинення від покриття до підкладки (зразок CNC 6)

the Cu composition progressively increases. Overall, Ni is at around 96 % in the coating, then decreases down to 40 % close to the interface and stays below 10 % in the substrate matrix except inside the dendrites where the Ni increases to 39 %. The dendrites also present a higher level of Al (the high concentration of Ni and Al inside the dendrites is in accordance with fig. 6). The dilution zone exhibits a chemical mixture over about 35 μm for this sample.

Fig. 8. Shows the hardness measurements through the interface for four typical features of the microstructure: the columnar zone of the coating, the nucleation zone, the dilution zone, and the substrate.

It can be observed from Fig. 8 that the micro-hardness of the dilution zone increased to 618 HV. The similar results was observed by Pan et al. [27] when cladding Fe-based powder on a stainless steel substrate in their dilution zone. This high hardness in the dilution zone could be explained by the formation of an eutectic of Ni-Ni₃B due to the low ratio of Si/B (1.3) in this area as described by Hemmatie

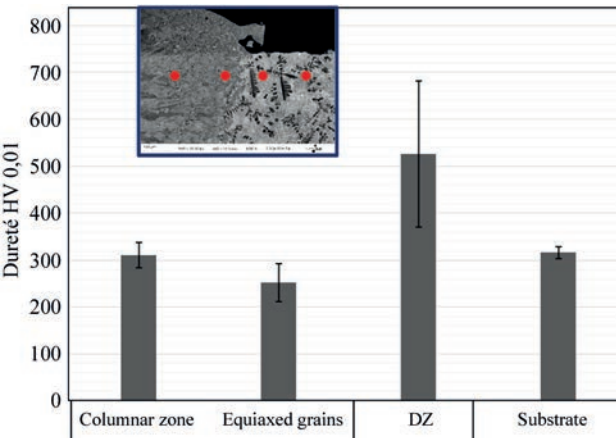


Fig. 8. Hardness measurements corresponding to the characteristic features encountered from the coating to the substrate (red points)
Рис. 8. Вимірювання твердості, що відповідають характерним ознакам, що зустрічаються від покриття до підложки (червоні точки)

et al. [28]. Indeed, they mention that this compound is of high hardness. In the coating and the substrate, the values are not higher than 317 HV. This hardness does not indicate the presence of the HAZ in the substrate. No increase of the hardness is noticed in the nucleation area despite the presence of small grains. In fact, the Hall and Petch law which describes that the hardness is higher when the grain size is lower [29]. But this couldn't be verified in the present work.

Since the dilution zone can be quantified using the EDS analysis it could be interesting to observe its evolution along the curved interface in order to corroborate its existence/thickness with the metallurgical bonding quality.

Dilution zone thickness along the curved interface. To state if the discontinuous bonding along the interface in the studied section is linked to the chemical dilution presence or thickness, a protocol of systematic DZ quantification has been implemented across the section of all samples and is presented in Figure 9. Five lines separated from each other by an angle of 22.5° along which the chemical composition have been measured from the coating to the substrate within 400 μm, and where the DZ depth has been determined. This method allows to plot the DZ evolution along the curved interface (fig. 9).

Fig. 9 reveals that the DZ evolution is the same across the section for all the samples studied. On the zones a and e (the edges), the DZ depth is maximum (from 25 to 175 μm according to the cladding parameters). It decreases at lower levels (b and d zones) to between 3 and 21 μm. Then at the center of the curve (c zone) this DZ is minimum (zero in the case of no bonding). Moreover, for all the studied samples, the bonding is lower at the center of the curved section. Therefore, it is possible to draw a direct connection between DZ depth and bonding quality. Indeed, the deeper the DZ, the better the bonding will be. The discontinuous bonding is well highlighted by the DZ evolution along the curve of the cross-section. It is important to under-

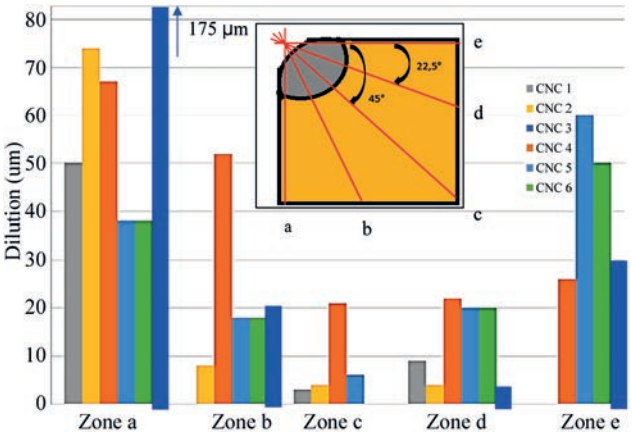


Fig. 9. Measurement of the DZ depth over the entire cross-section and DZ depth along the five red lines for all the samples
Рис. 9. Вимірювання глибини зони розчинення по всьому поперечному перерізу та глибини зони розчинення уздовж п'яти червоних ліній для всіх зразків

stand what phenomenon leads systematically to a weaker chemical dilution at the section curve center during laser cladding, as a function of process parameters.

Power attenuation. It is well known in the laser cladding process that powder particles contribute to attenuate the incident laser power. Obviously for full consideration it is necessary to calculate the total heat balance of laser surfacing using filler powder, the total amount of heat released by the laser is spent on heating and melting the filler powder, heating the base metal before melting and maintaining the weld pool in a liquid state (the useful part of the heat), as well as radiation into the surrounding space (including as a result of reflection from powder particles, depending on its reflectivity) and heat removal to the base metal (heat loss). The thermal efficiency of the laser surfacing process and the parameters of its regime depend on these indicators: laser power, the amount of powder supplied per unit time, its granulometric composition, etc. [30, 31]. This is complex calculation and for simplification of the description in current research we have considered only the effect of the powder particles (i.e. filler powder). Tabernero et al. [32] have described the impact of a shadow of particles during the interaction of the laser and the powder while cladding is in progress. They have assessed the attenuation undergone by the beam and characterized the density of energy that reaches the surface of the substrate. They were able to perform this calculation with a computational fluid dynamics (CFD) model, which has been experimentally validated. Moreover, the present authors used the calculation of the attenuated power to determine the minimum power necessary to ensure an accurate clad/substrate bonding [26]. Nevertheless, the local attenuation due to the Gaussian powder distribution has not been studied along the curve section.

El Cheikh et al. [23] have discovered that at the focal position, f_s , presented in fig. 2, a Gaussian distribution of powder can be observed. Qi et al. [33] have proposed an equation of the powder distribution $N(x, y)$ depend-

ing on the radial distance x and the axial distance z in the case of a coaxial nozzle as shown:

$$N(x, z) = N_{\max}(z) \exp(-2x^2 / R^2) \quad (1)$$

With $N_{\max} [m^{-3}]$ the peak concentration at the center of powder flow ($x=0$), $x[mm]$ the radial distance and $R[mm]$ the powder stream.

To understand how the power is impacted, the Beer Lambert Law can be applied [33, 34]:

$$P'_z(x, z) = P_z(x) \exp(-\alpha S N z) \quad (2)$$

With $P'_z [W]$ the power attenuated by the powder flow, $P_z [W]$ the initial input power during laser cladding, $S [mm^2]$ the particle section and α a factor which considers phenomena like the scattering effect, plasma generation... α was obtained from an experiment of the attenuated power during laser cladding. A power meter is placed under an optically neutral glass to protect it from the powder injected. During the test, an air flow was injected horizontally in order to deflect the projected powder. As an example, for an incident measured power of 1916 W, the measured attenuated power was 1498 W for a PFR of 28.5 g/min. This led to adjusting the α coefficient at a value of 6 (this result is in accordance with literature [32]). If α is equal to 1, the attenuation is only due to particle shadow. The present value of 6 indicates that other phenomena (scattering effect, plasma generation...) also contribute to the power attenuation.

By inputting the powder distribution on each position of x it is possible to observe the power attenuation on the radial distance for an incident power of 2800W as an example (Fig. 10).

Fig. 10 indicates that, at the center of the powder flow (the focal point f_s , Fig. 2), the power is attenuated from 2800 to 1200W. At the center of the powder flow ($x=0$), 57% of the power is lost due to the powder flow (absorbed or reflected). So, only 43% is available for the fusion. Moreover, given that the absorptivity of Cu-based materials is about 0.06, only 72W remains to reach the substrate (and probably melt it). Since the focal plane of the powder flow corresponds to the center of the mold curved surface, it can be assumed that this shadow effect explains the lack of dilution DZ observed at this position. Therefore, this phenomenon may be at the origin of the absence of bonding for some cladding conditions with too weak incident laser power.

A link between power attenuation, dilution and HAZ. No HAZ was observed here when laser cladding on a Cu-based substrate. But the heterogeneous dilution in the mold's curved section can lead to a lack of bonding at the curved center and induce the coating fall out during machining [1]. In the meantime, on the edges (according to the input laser power), less powder generates more power available for the interface fusion. According to the substrate composition, a high HAZ can be generated and induces a cracking behavior due to the high hardness as it was observed in previous researches conducted by the authors during laser cladding on cast iron [35].

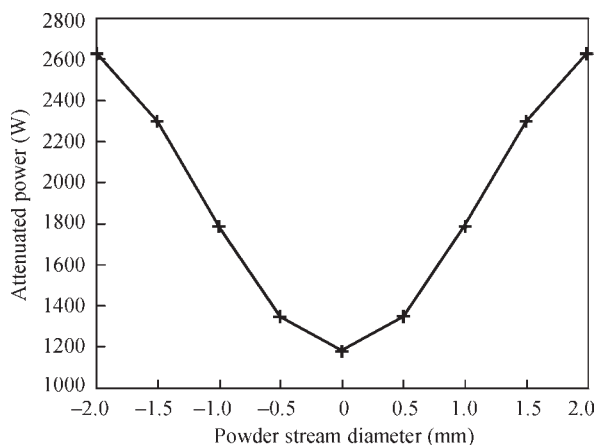


Fig. 10. Distribution of the power attenuation on the substrate ($x=0$ is the focal point) for an input laser power of 2800 W

Рис. 10. Розподіл загасання потужності на підкладці ($x=0$ – фокусна точка) для вхідної потужності лазера 2800 Вт

Conclusion. Ni-based powder was deposited by laser cladding on a Cu-based substrate with a curved surface. The cladding process parameters were widely explored in order to verify the bonding quality of the clad to the substrate. Three kinds of metallurgical bonding have been noted: lack of bonding, partial bonding or perfect bonding. In addition, a constant lack of bonding is observed in the center of the substrate curved surface. Moreover, the chemical dilution depth between Ni and Cu was measured at the interface clad/substrate depending on process parameters. It appears that the dilution depth is also lower at the same location of the curved surface. This could be explained by the Gaussian distribution of the powder flow around this point. Indeed, at the curved center the powder density is at maximum, so the input laser power is significantly attenuated. Less energy is then available for the substrate to melt and to ensure a perfect metallurgical bonding. The attenuated power evolution moving away from this central point would explain the discontinuous bonding along the interface in the cross-section. As it was mentioned above, a compromise was found in the present work to ensure a minimal dilution (DZ) in the curved center without affecting the based material properties (limit the HAZ). This optimization can correspond for example to a laser power of 3200 W with a PFR of 28.5 g/min and a scanning speed of 8.5 mm/s.

Acknowledgments

The authors wish to thank C. Aboud, N. Barbosa and C. Lafarge from the ETS CHPOLANSKY for their help in the sample elaboration by laser cladding and their great skill in the field of this technology applied to non-planar surfaces. This research was supported by the ANRT (French National Agency for Research and Technology) and ETS Chpolansky.

References

- Rege, M., Van Linden, S. (2016) *Stage de formation aux techniques de rechargement dans l'industrie verrière*, Marcoussis.
- Oberländer, B.C., Lugscheider, E. (1992) Comparison of properties of coatings produced by laser cladding and conventional methods. *Mater. Sci. Technol. (United Kingdom)*, **8**, 657–665. <https://doi.org/10.1179/mst.1992.8.8.657>.
- Steen, W.M., Mazumder, J. (2010) *Laser Material Processing*, 4th ed., Springer.
- Ryabtsev, I.A., Perepletchikov, E.F. (1992) *Properties of alloys based on Fe, Ni, Co, deposited by laser-powder method*. Sat. «Deposited metal. Composition, structure and properties». Kyiv, E.O. Paton, S.23–26.
- Arabi Jeshvaghani, R., Jaberzadeh, M., Zohdi, H., Shamaian, M. (2014) Microstructural study and wear behavior of ductile iron surface alloyed by Inconel 617. *Mater. Des.* **54**, 491–497. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.08.059>.
- Liu, H., Hao, J., Han, Z. et al. (2016) Microstructural evolution and bonding characteristic in multi-layer laser cladding of NiCoCr alloy on compacted graphite cast iron. *J. Mater. Process. Technol.* **232**, 153–164. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2016.02.001>.
- Balu, P., Rea, E., Deng, J. (2015) Laser cladding of nickel-based alloy coatings on copper substrates. *Proc. SPIE*, **9657**, 1–10. <https://doi.org/10.1117/12.2175966>.
- Saqib, S., Urbanic, R.J., Aggarwal, K. (2014) Analysis of laser cladding bead morphology for developing additive manufacturing travel paths. *Procedia CIRP*, **17**, 824–829. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.01.098>.
- Tao Y.F., Li J., Lv Y.H., Hu L.F. (2017) Effect of heat treatment on residual stress and wear behaviors of the TiNi/Ti2Ni based laser cladding composite coatings. *Opt. Laser Technol.*, **97**, 379–389. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2017.07.029>.
- Kim, C.K., Choi, S.G., Kim, J.H. et al. (2020) Characterization of surface modification by laser cladding using low melting point metal. *J. Ind. Eng. Chem.*, **87**, 54–59. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2020.03.010>.
- Kumar, S., Roy, S. (2006) The effect of Marangoni-Rayleigh-Benard convection on the process parameters in blown-powder laser cladding process-A numerical investigation, *Numer. Heat Transf. Part A Appl.*, **50**, 689–704. <https://doi.org/10.1080/10407780600605286>.
- Rienstra, S.W., Chandra, T. (2001) Analytical approximations to the viscous glass-flow problem in the mould-plunger pressing process, including an investigation of boundary conditions. *J. Eng., Math.* **39**, 241–259. <https://doi.org/DOI:10.1023/A:1004883310709> CITATIONS.
- Toyserkani, E., Amir, K., Stephen, C. (2006) *Laser Cladding*, CRC PRESS.
- Liu, J., Yu H., Chen, C. et al. (2017) Research and development status of laser cladding on magnesium alloys: A review. *Opt. Lasers Eng.*, **93**, 195–210. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.01.077>.
- Luo, X., Li, J., Li, G.J. (2015) Effect of NiCrBSi content on microstructural evolution, cracking susceptibility and wear behaviors of laser cladding WC/Ni-NiCrBSi composite coatings. *J. Alloys Compd.*, **626**, 102–111. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2014.11.161>.
- Pereira, J.C., Zambrano, J.C., Rayón, E. et al. (2018) Mechanical and microstructural characterization of MCrAlY coatings produced by laser cladding: The influence of the Ni, Co and Al content. *Surf. Coatings Technol.*, **338**, 22–31. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2018.01.073>.
- Adesina O.S., Obadele B.A., Farotade G.A. et al. (2020) Influence of phase composition and microstructure on corrosion behavior of laser based Ti-Co-Ni ternary coatings on Ti-6Al-4V alloy. *J. Alloys Compd.*, **827**, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.154245>.
- Wang, S., Liu, C. (2019) Real-time monitoring of chemical composition in nickel-based laser cladding layer by emission spectroscopy analysis. *Materials (Basel)*, **12**, 1–15. <https://doi.org/10.3390/ma12162637>.
- Babinets, A.A., Ryabtsev, I.O., Lentyugov, I.P. et al. (2020) Problems and prospects of surfacing of copper and copper parts by wear-resistant layers (Review). *TPWJ*, **5**, 15–23.
- Zhang, Y., Tu, Y., Xi, M., Shi, L. (2008) Characterization on laser clad nickel based alloy coating on pure copper. *Surf. Coatings Technol.*, **202**, 5924–5928. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2008.06.163>.
- F. Bourahima, A. Helbert, M. Rege, V. Ji, D. Solas, et al. (2019) Laser cladding of Ni based powder on a Cu-Ni-Al glassmold: Influence of the process parameters on bonding quality and coating geometry. *Journal of Alloys and Compounds*, Elsevier, **771**, pp.1018–1028. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.09.004>.
- Ferreira, E., Dal, M., Colin, C. et al. (2020) Experimental and numerical analysis of gas/powder flow for different LMD nozzles. *Metals (Basel)*, **10**, 1–20. <https://doi.org/10.3390/met10050667>.
- Cheikh, H. El, Courant, B., Branchu, S. et al. (2012) Analysis and prediction of single laser tracks geometrical characteristics in coaxial laser cladding process. *Opt. Lasers Eng.*, **50**, 413–422. <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2011.10.014>.
- Pouzet, S., Peyre, P., Gorny, C. et al. (2016) Additive layer manufacturing of titanium matrix composites using the direct metal deposition laser process. *Mater. Sci. Eng. A.*, **677**, 171–181. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2016.09.002>.
- Song J.B., Yu, T., Jiang, X. et al. (2020) The relationship between convection mechanism and solidification structure of the iron-based molten pool in metal laser direct deposition. *Int. J. Mech. Sci.*, **165**, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2019.105207>.
- Pereira, J.C., Zambrano, J.C., Tobar, M.J. et al. (2015) High temperature oxidation behavior of laser cladding MCrAlY coatings on austenitic stainless steel. *Surf. Coatings Technol.*, **270**, 243–248. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2015.02.050>.
- Pan, C., Li, X., Zhang, R. et al. (2021) Research on microstructural and property evolution in laser clad HAZ. *Surf. Eng.*, **37**, 1514–1522. <https://doi.org/10.1080/02670844.2021.1929737>.

28. Hemmati, I., Ocelik, V., De Hosson, J.T.M. (2013) Effects of the alloy composition on phase constitution and properties of laser deposited Ni–Cr–B–Si coatings. *Phys. Procedia.*, 41, 302–311. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2013.03.082>.
29. Gourges-Lorenzon, A.-F. (1972) Durcissement et renforcement des matériaux, in: *Matériaux Pour l'ingénieur*, 159–170.
30. Gladkiy P.V., Perepletchikov E.F., Ryabtsev I.A. (2007) *Plasma welding*. Kyiv.
31. Kuskov, Yu.M., Ryabtsev, I.A., Kuzmenko, O.G., Lentyugov, I.P. (2020) *Electroslag technologies for surfacing and recycling of metal and metal-containing wastes*. Kyiv.
32. Tabernero, I., Lamikiz, A., Martínez, S. et al. (2012) Modelling of energy attenuation due to powder flow-laser beam interaction during laser cladding process. *J. Mater. Process. Technol.*, 212, 516–522. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2011.10.019>.
33. Qi, H., Mazumder, J., Ki, H. (2006) Numerical simulation of heat transfer and fluid flow in coaxial laser cladding process for direct metal deposition. *J. Appl. Phys.*, 100, 1–11. <https://doi.org/10.1063/1.2209807>.
34. Peyre, P., Aubry, P., Fabbro, R. et al. (2008) Analytical and numerical modelling of the direct metal deposition laser process. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 41, 1–10. <https://doi.org/10.1088/0022-3727/41/2/025403>.
35. Bourahima, F., Helbert, A., Ott, F. et al. (2021) *Multi-Scale Characterization by Neutronography and Electron Diffraction of Ni Coating on Cu–Ni–Al or Cast-Iron Glass Molds after Laser Cladding*. Trans Tech Publ. Ltd., 1016, 297–302.

Надійшла до редакції 22.03.2022

ТЕХНОЛОГІЯ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

(спосіб електричного зварювання металів великих перетинів)

Серед пріоритетних розробок Патонівської школи світового рівня слід відзначити створення електрошлакового зварювання (ЕШЗ) – нового способу зварювання, що започаткував низку електрошлакових технологій. Цей спосіб зварювання бере початок з ідеї Є.О. Патона повністю механізувати виготовлення великогабаритних конструкцій із застосуванням автоматичного зварювання під флюсом. У 1947 р. під керівництвом Є.О. Патона почалися дослідження цього способу. У 1949 р. вперше в світі в ІЕЗ ім. Є.О. Патона створено (Б.Є. Патон, Г.З. Волошкевич) електрошлакове зварювання – процес електричного зварювання металів. В Інституті були ґрунтовно вивчені особливості зварювання товстого металу, створені зварювальні й електричні апарати, розроблені принципи автоматичного регулювання електрошлакового процесу. Розроблені Б.Є. Патonom принципи автоматичного регулювання процесу ЕШЗ стали базою для проектування спеціальних джерел живлення апаратів для ЕШЗ [1-3].



1. Електрошлаковая сварка. / Под ред. Б.Е. Патона. – АН УССР. Ин-т электросварки им. Е.О. Патона. – К. М.: Машгиз, 1956. – 168 с.
2. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. Б.Е. Патона. – М.: Машиностроение, 1974. – 768 с.
3. Волошкевич Г.З. Сварка вертикальных швов методом принудительного формирования // Сб. трудов по сварке, посвященных Е.О. Патону. – Киев: Изд-во АН УССР, 1951. – С.371-395.

ЛІТАЮЧІ РОБОТИЗОВАНІ КОНТАКТНІ УЛЬТРАЗВУКОВІ ТОВЩИНОМІРИ ДЛЯ ТЕХНІЧНИХ ОБСТЕЖЕНЬ В ПОЛЬОВИХ УМОВАХ

Літаючі роботизовані системи, також відомі як дрони, забезпечують можливість збору даних для кола застосувань і обсягів, які досі були неможливими. Виконання польових обстежень промислових об'єктів з використанням літаючої роботизованої системи контролю, здатної забезпечити фізичний контакт з конструкцією або об'єктом під час виконання процедур неруйнівного контролю або обстеження технічного стану, є безпечнішим, ніж розміщення людей на висоті, і дозволяє зібрати більше даних за менший час. Ці повітряні роботизовані системи є універсальними, розширюваними та гнучкими, що дає змогу здійснювати безпечніші, швидші та якісніші вимірювання. У цьому десятиріччі і в подальшому очікується експоненціальне зростання роботизованих систем контролю, оскільки власники активів і постачальники послуг усвідомлюють їх економічну рентабельність вкладу в розширення інформаційних ресурсів, а також у підвищення безпеки. Один з перших випадків використання цих повітряних робототехнічних систем дозволяв вимірювати товщину стінки (точніше, товщину підкладки) за допомогою портативного електронного ультразвукового вимірювального пристрою. Вибрані та впроваджені належним чином, ці системи позитивно впливають на безпеку, час, аналітику, доступ та вартість. Вимірювання надають відомості, які є основою наших прогнозів. Ці повітряні роботизовані системи для вимірювання товщини дозволяють компаніям удосконалювати процес вимірювання товщини і збирати дані, яких раніше не існувало, таким чином доповнюючи знання. Системи також здатні підвищити ефективність роботи, включаючи повністю контрольовані протоколи та інформацію для цифровізації планів впровадження, дозволяючи зосередитися на загальній картині для планування та відповідного бюджету. Крім того, вони допомагають досягти значної економії витрат, особливо коли вони запобігають виведенню активу з експлуатації або сприяють скорішому поверненню активу в експлуатацію. Нарешті, вони є елегантним рішенням щодо безпеки, яке захищає працівників від небезпеки та потенційно рятує життя.



МУЗЕЙНИЙ КОМПЛЕКС ІНСТИТУТУ ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАННЯ ім. Є.О. ПАТОНА

Музейний комплекс ІЕЗ ім. Є.О. Патона, створений наказом дирекції № 445 від 11.12.1984 р. і підписаний директором академіком Борисом Патонем, є логічним наслідком патонівського стилю пропагування знань і досягнень української науки.

Історія експозиції музею почалася більш як сто років тому. На початку ХХ сторіччя визначний учений мостобудівник і педагог, а з жовтня 1906 по жовтень 1907 рр. декан інженерного відділення КПП Євген Оскарович Патон, створює в Київському політехнічному інституті експозицію типових вузлів ґратчастих конструкцій дерев'яних мостів, кабінет моделей інженерних споруджень і внаслідок цього призначається завідувачем інженерним музеєм інституту. Майже піввіку поспіль, вже працюючи директором Інституту електрозварювання, він організує музей зварювальної техніки. В обох випадках експонати і супутня інформація дозволяли молодим інженерам не тільки закріпити отримані під час навчання у вищій школі науково-технічні знання, але й успішно використовувати їх у проектуванні принципово нових споруд і машин.

Сьогоднішній музейний комплекс розташований у п'яти залах загальною площею майже 350 м², знаходиться у Головному корпусі по вулиці В. Антоновича, 69.

Початок експозиції традиційний. У центральному залі меморіального музею Євгена Оскаровича Патона в документальних матеріалах показані роки його навчання в Королівському саксонському вищому технічному училищі м. Дрездена (1888–1894 рр.) Далі експозиція розповідає про неординарний шлях сходження Є. Патона на вершину науково-викладацької майстерності у сфері вищої освіти. Так, наприклад, вже в 1891 р. йому, студенту 3-го курсу, доручали заміну захворілих професорів. З 1894 р. він – асистент кафедри мостобудування професора Вільгельма Френкеля. Наприкінці 1896 р., після здачі екзаменів з 12-ти предметів, що складала різницю між курсом Дрезденської вищої школи й Інституту інженерів шляхів сполучення у Петербурзі, а також підготовки п'яти проектів, що дають право на одержання російського диплома, одержавши зазначений диплом, випускник Дрезденського інституту стає позаштатним викладачем Петербурзького інституту шляхів сполучення, а з вересня 1897 р. викладачем Московського інженерного училища. Після успішного захисту дисертації в 1901 р. Є.О. Патон професор кафедри мостів Московського училища інженерів шляхів сполучення; з 1904 р. – ординарний професор кафедри мостів інженерного факультету КПП; з 1906 – декан цього факультету. На протязі всьо-

го життя діяльність Євгенія Оскаровича Патона пов'язана з Київським політехнічним інститутом.

Паралельно з відображенням наукової і викладацької діяльності Патона, в експозиції музею представлено його становлення як практика.

У 1894 р. інженер технічного відділу Дрезденського залізничного вузла, молодий фахівець Є.О. Патон здійснює реконструкцію головного залізничного вокзалу, з 1895 плідно працює на мостобудівному заводі «Гутехофну-схютте» в Обергсхаузені, а у 1896 р. по сумісництву інженером для перевірки розрахунків по мостах служби шляху Миколаївської залізниці.

Наступні 12 років відзначені практичною реалізацією масштабних інженерних задумів Є.О. Патона: у 1897 р. побудований шляхопровід на Московсько-Ярославській залізниці; 1904 – споруджено кілька мостів через ріки на території Росії. Особливо відзначимо 1908–1910 рр., коли були спроектовані і споруджені арковий міст над Петровською алеєю у Києві і Мухранський міст через ріку Куру у Тіфлісі.

На початку Першої світової війни Є.О. Патон організує мостову секцію Київського військово-промислового комітету, створює проекти різних мостів для військового відомства, конструкції розбірних мостів, відпрацьовує прогресивні методи іспиту мостів.

Розділ будівництва клепанних мостів закінчується фотоматеріалами і макетом моста ім. Є. Бош через р. Дніпро у Києві.

Наступні експозиції відкривають нову сторінку життя і творчості Є.О. Патона – допитливого дослідника, видатного вченого, організатора і керівника, творця нової техніки і технології зварювання, визначного мостобудівника. Період з 1899 по 1928 рр. знаменується публікацією біля 90 праць з мостобудування, а з 1929 по 1953 – біля 150 робіт у новій для нього сфері зварювання. До речі, багато примірників виданих наукових розробок зберігаються на полицях книжкових шаф нашого музею.

У 1929 р. Євгеній Патон обирається дійсним членом Всеукраїнської академії наук (ВУАН). Особливо слід зазначити той факт, що його творчість відкрила безліч невідомих раніше шляхів інтенсивного розвитку нових напрямків у світовій зварювальній науці.

Далі експозиції музею розкривають тему автоматизації процесу зварювання, етапи створення і застосування в народному господарстві нової прогресивної технології – зварювання під флюсом, за яку в березні 1941 р. Патон одержав Сталінську премію, а у 1943 р. за заслуги перед батьківщи-

ною Є.О. Патонові присуджується звання Героя соціалістичної праці. Того ж року вручається ряд урядових нагород його співробітникам.

На спеціальному стенді проілюстрована знаменна подія в житті інституту – повернення ІЕЗ на чолі з Патonom у Київ у червні 1944 р.

Фінальна експозиція центрального залу музею Є.О. Патона присвячена розробці, проектуванню і спорудженню найбільшого в ті роки (довжина 1542 м) суцільнозварного моста через р. Дніпро в Києві. У 1995 р. Асоціація зварювальників США визнала київський суцільнозварний міст ім. Є.О. Патона найкращою капітальною спорудою середини ХХ ст., побудовану за оригінальною технологією, що не мала аналогів в світовій практиці. Відповідний диплом зберігається і експонується в нашому музеї.

Стендові експозиції та експонати другої зали музею – меблі і особисті речі академіка Є.О. Патона – зберігають атмосферу кабінету директора інституту, де присутній дух творчості та цілеспрямованості керівника визнаного в країні та за її межами дослідницького центру. Атмосфера кабінету сувора, аскетична і відображає реальні умови роботи науковця того часу.

Третій зал музею представляє відвідувачам перенесений із житлового фонду домашній кабінет вченого, що включає його письмовий стіл, бібліотеку і куточок відпочинку. Оригінальні світлини дають уяву про студентські роки, родину, дітей. Стримано, спокійно але й затишно.

Наступні зали музейного комплексу присвячені історії Інституту електрозварювання, що з 1945 р. носить ім'я академіка Є.О. Патона. У головній експозиції відображений початок діяльності інституту, що в той час розташований в невеликому будинку на вул. Короленка, 94. Саме там знаходилась експериментальна майстерня невеликої групи натхнених ентузіастів, що займалися комплексними дослідженнями зварних конструкцій, металургією процесу зварювання, металознавством зварних з'єднань, фізикою дугового розряду. У 1935 р. інститут нараховував у 3-х відділах і майстернях 10 наукових співробітників і 23 фахівців зварювання та суміжних професій.

В музеї представлені етапи розвитку найбільш визначного у світі центру зварювальної науки. В експозиції відображене нарощування темпу інтенсифікації досліджень і впровадження розробок, продиктоване вимогами до тогочасного історичного етапу розвитку промисловості: у 1931 р. організовані перші всеукраїнські курси з електрозварювання при ВУАН, з 1931 по 1937 рр. розроблені і випробувані три різні моделі автоматичних зварювальних голівок, у 1939–1940 рр. – побудований перший зварювальний трактор. Тоді ж виготовляються серійні голівки для зварювання під флюсом, а в грудні 1940 р. у відповідності до по-



Домашній кабінет Є.О. Патона

станови уряду СРСР двадцять заводів впроваджують автоматичний варіант цього виду зварювання. В музейній експозиції демонструються зразки і моделі згаданої техніки: 18 одиниць натурних зразків і макетів зварювального обладнання, в тому числі перший універсальний мікроскоп, придбаний інститутом у 1938 р.

У ті непрості роки академік Патон прокладає нові шляхи пропагування і практичного залучення уваги громадськості до новітніх досягнень зварювальної техніки і технологій: зокрема він створює пересувний вагон-лабораторію, що курсував з командою фахівців-інструкторів та зварювальним обладнанням по усій величезній тоді країні.

Головна експозиція музею історії інституту завершується матеріалами про найбільш видатних учених, які пройшли наукову школу Є.О. Патона і склали основу найбільшого науково-технічного комплексу, що виріс з невеликого колективу самовідданих соратників Євгенія Оскаровича початку 1940-х років.

Тематичні експозиції, як різновиди головної, побудовані на макетах і натурних зразках устаткування, ілюструють фундаментальний внесок патонівців у розвиток будівництва газонафтопроводів, рухомого складу залізниць, обладнання для вугільної промисловості, спеціальної техніки, напівавтоматів для зварювання під флюсом, впровадження принципово нової технології секційної зборки і зварювання корпусів річкових та морських суден. Не тільки для рядового відвідувача музею, а й для фахівців великий інтерес являють мікроплазмове зварювання тонколистових конструкцій товщиною 0,1...1,0 мм, виготовлення зварних листових конструкцій методом рулонування.

Експозиції музею цілеспрямовано корелюються з хронологією наукової діяльності ІЕЗ, що органічно відбито в побудові тематичного і тематико-експозиційного планів. Прикладом є експозиції «Зварні мости і зварні конструкції», «Зварювання найбільших доменних печей», «Зварювання об-



Стенди музею

садних труб над устям шпар», а також заключна експозиція 4-ого залу музею «Суцільнозварна телевізійна вежа в м. Києві».

Далі представлене автоматичне зварювання титана під флюсом. Тут розкривається метод, за допомогою якого співробітникам інституту вдалося спростувати помилкове уявлення тодішньої науки, що титан і його сплави можна варити лише в середовищі аргону.

Великий розділ присвячений ряду технологій, створених на основі відкриття контактного зварювання оплавленням: зварюванню кільцевих заготовель у машинобудуванні, зварюванню магістральних трубопроводів і рейкових шляхів, зварюванню конструкцій з уніфікованих елементів. Окремо представлене дифузійне зварювання металевих і неметалевих матеріалів, наплавлення й ізотермічне напилювання.

Спеціальний розділ розповідає про практичний внесок патонівців в дослідження космосу, з підкресленням унікальності вітчизняних космічних технологій. Тут представлені: установка «Вулкан», що дозволила космонавтам Кубасову В. та Шоніну Г. на кораблі «Союз-6» 16 жовтня 1969 р.



Мікроскоп фірми БУШ 1938 р.

уперше виконати експерименти по зварюванню в космосі; установка «Испаритель», завдяки якій вперше за допомогою зварювального процесу вдалося нанести захисні покриття на вироби в умовах космічного вакууму; установка УРІ, на якій С. Савицька 25 липня 1984 р. виконала зварювання у відкритому космосі.

Представлене обладнання систем «Зарница» і «Аракс», що забезпечили ежектування в космічний простір пучків електронів і в наукових цілях викликали штучне північне полярне сяйво.

Визначний внесок колективу інституту в зміцнення оборонної промисловості країни в роки Другої світової війни увічнений у спеціальному меморіалі, розташованому під відкритим небом на території озелененої рекреації. Біля встановленого на постаменті танка Т-34 розташована меморіальна дошка, на якій викарбовані імена співробітників ІЕЗ, що у воєнні роки зварювали танки у м. Нижній Тагіл.

Впродовж більш, ніж столітньої історії зварювання показало себе як незамінна, завжди сучасна, перспективна і гнучка технологія створення нероз'ємних з'єднань, яка органічно вписувалась у кожен новий етап науково-технічного прогресу.

Свого часу інформаційні матеріали, експонати, фотографії, бібліотеку виданих праць, зразки зварювального обладнання збирали, зберігали, консервували для музею з фаховістю і любов'ю такі науковці і соратники фундатора Інституту електрозварювання: к.т.н. Соф'я Островська, к.т.н. Лія Гутман, к.т.н. Тамара Слуцька, Валентина Убель, Борис Єфетов, к.ек.н. Всеволод Троїцький.

Сьогодні час ставить нові вимоги і завдання. Музей потребує суттєвих змін і вдосконалення, покращення технічного обладнання і збільшення цільових музейних експозицій. Конче необхідно створити експозиційний фонд видатних учених інституту. До прикладу, меморіальний куточок кабінету Володимира Євгеновича Патона територіально ізольований від музею, практично не відвідується багато років, а відтак повільно згасає, як кажуть музейники. Доцільно було б знайти місце і розмістити цей куточок пам'яті в Головному корпусі.

Всі ці питання та багато інших входять до наших планів у майбутньому. Головною метою музею завжди було, є і буде зацікавлення молоді, долучення її до всіх видів зварювальних технологій та виробництва, від практичного зварювання до наукових досліджень та досягнень.

Наразі музейний комплекс Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона активно сприяє збереженню, зміцненню і популяризації вітчизняних традицій науково-технічної творчості, сформованих всесвітньо відомими засновниками зварювального виробництва та науки України.

Історію творять люди, а наука формує майбутнє.

Ольга Селівєрстова,
завідувачка музею ІЕЗ ім. Є.О. Патона м. Київ

FRONIUS iWAVE: ІННОВАЦІЙНИЙ ПРОДУКТ «3 в 1», ГОТОВНІСТЬ ДО ВИРІШЕННЯ БУДЬ-ЯКИХ ЗАДАЧ

Серія інтелектуальних удосконалених пристроїв iWave від компанії Fronius встановлює нові стандарти якості, гнучкості та можливостей підключення. Джерело живлення TIG дозволяє створювати ідеальні зварні шви при використанні будь-яких зварювальних матеріалів. Крім того, завдяки ряду інноваційних функцій він забезпечує можливість виконання кількох процесів одночасно. Спеціальна модульна конструкція системи призначена для виконання будь-яких вимог як зараз, так і в майбутньому.

Компанія Fronius створила серію iWave, щоб гарантувати найвищу якість зварювання TIG, а також бездоганні результати роботи з використанням різних матеріалів. Інноваційна функція CycleTIG призначена для забезпечення максимального контролю зварювальної дуги та цілеспрямованого теплового впливу. Серед ключових особливостей також можна відзначити удосконалений контроль над запаленням та максимальну простоту використання завдяки інтуїтивно зрозумілому керуванню. iWave – це ідеальний вибір в умовах, коли необхідно уникати утворення пор і кольорів мінливості, наприклад, при зварюванні судин високого тиску, труб або при виконанні вкрай суворих вимог у галузі медичних технологій, а також виробництва продуктів харчування. Серія пристроїв тепер доступна в категорії потужності від 190 до 500 А.



iWave – це поєднання передового досвіду зварювання TIG, максимального контролю та неперевершеної точності завдяки функції Fronius CycleTIG

Універсальне рішення з функцією Multiprocess PRO

Можливість одночасного виконання кількох процесів є дуже важливою, якщо повсякденна експлуатація вимагає постійного перемикання між різними завданнями. Завдяки новітній технології TIG серія пристроїв iWave ідеально підходить для зварювання стрижневим електродом навіть за умови використання електродів з целюлозним покриттям. Опція Multiprocess PRO відкриває користувачеві необмежений доступ до всіх процесів MIG/MAG у категоріях потужності від 300 А. Як результат, універсальна багатофункціональна система iWave дозволяє досягти найвищої якості під час виконання будь-яких процесів зварювання.

Гнучкість, адаптація під вимоги клієнта та можливість використання для майбутніх завдань.

iWave – гнучка система, яка адаптується під вимоги клієнта та надає користувачам можливість вибрати із широкого асортименту модульних зварювальних пакетів ті функції, які їм справді потрібні. Інші функції можна додавати в міру потреби. Використання iWave не обмежується стандартним зварюванням TIG або MIG/MAG: система здатна виконувати весь діапазон функцій Fronius після модернізації зварювальних пакетів Cold Metal Transfer (CMT), Pulse Multi Control (PMC) та Low Spatter Control (LSC).



Завдяки функції Multiprocess PRO висококласне джерело живлення TIG перетворюється на комплексну систему для зварювання MIG/MAG, яку можна модернізувати, доповнивши стандартну програму пакетами CMT, PMC та LSC



Можливості iWave практично безмежні: наприклад, у режимі зварювання стрижневим електродом можна використовувати електроди з целюлозним покриттям



Модульна конструкція системи дозволяє користувачам адаптувати пристрій iWave під свої індивідуальні потреби

Пристрої iWave підтримують основні стандарти зв'язку та готові до викликів Індустрії 4.0. Сучасні рішення для бездротового підключення розширюють можливості роботи та гарантують безпеку, дозволяючи використати весь потенціал пристрою. Периферійні пристрої, такі як пульт дистанційного керування або високотехнологічний зварювальний шолом Vizor Connect, можна підключити за допомогою бездротової технології Bluetooth. Wi-Fi забезпечує зв'язок з іншими пристроями в межах однієї мережі, що надає зварювальнику всі переваги циф-



Інтуїтивно зрозуміла динамічна концепція управління за допомогою графічного інтерфейсу забезпечує користувачам безпосередній доступ до необхідних налаштувань більш ніж на 30 мовах

рових можливостей, таких як центральне управління користувачами, передача даних у режимі реального часу та миттєве встановлення оновлень.

Компанія Fronius доклала максимум зусиль для створення системи iWave, об'єднавши технологію економії ресурсів з міцною та надійною конструкцією. Це перше представлене на ринку джерело живлення TIG з підтримкою функції відображення та аналізу Real Energy (у кДж). Крім того, функція компенсації коефіцієнта потужності (PFC) забезпечує ефективне енергоспоживання, а значення потужності на холостому ходу ніколи не піднімаються вище 50 Вт.

Перш ніж зварювальна система Fronius надійде у виробництво, вона проходить низку обов'язкових випробувань на навантаження та міцність. Такі випробування виходять за межі стандартних вимог, але саме завдяки ним системи Fronius відомі своєю довговічністю. До того ж, зручна в обслуговуванні конструкція максимально спрощує процес заміни основних компонентів.

Fronius International — австрійська компанія з головним офісом в місті Петтенбах і відділеннями в містах Вельс, Тальхайм, Штайнхаус і Замтледт. Компанія, штат якої налічує 5660 співробітників по всьому світу, працює в галузях зварювального обладнання, фотовольтаїки та систем для заряджання акумуляторних батарей. Близько 92 % продукції компанії постачається на експорт за допомогою 36 міжнародних дочірніх компаній Fronius, а також мережі торгових партнерів і представників у більш ніж 60 країнах. Компанія Fronius пропонує інноваційні продукти та послуги, а також володіє 1321 чинними патентами, що робить її світовим лідером інновацій.



ПРОВІДНІ СВІТОВІ ВИСТАВКИ WIRE 2022 І TUBE 2022 У ДЮСЕЛЬДОРФІ: ОЧІКУВАНІ ГОЛОВНІ ПОДІЇ ГАЛУЗІ В ЧЕРВНІ



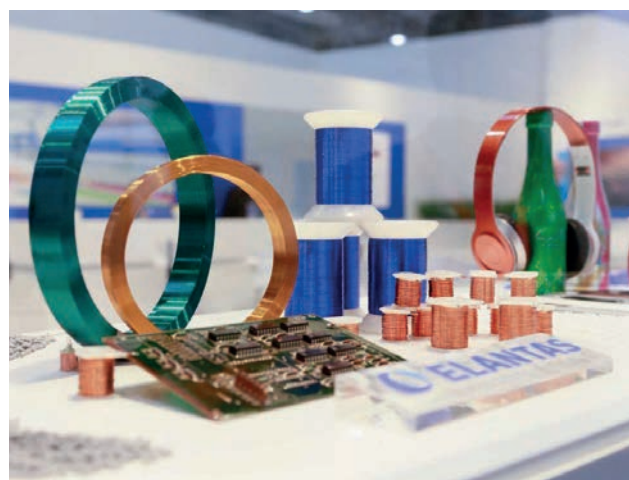
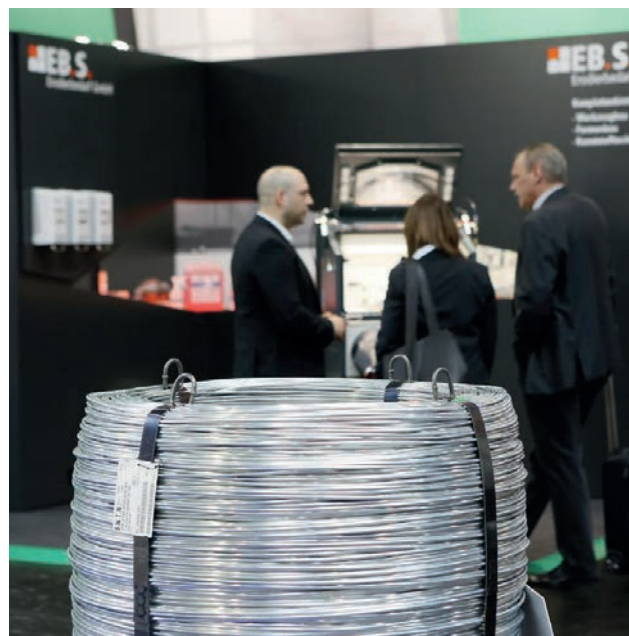
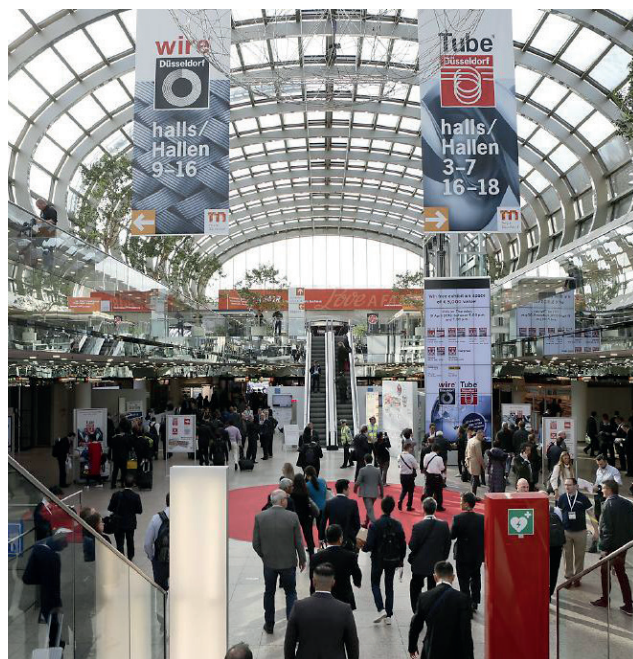
Після 4-річної перерви через Covid найбільші в світі торгові ярмарки International Trade Fair Wire and Cable і Tube, International Tube and Pipe Trade Fair знову проходять спільно в торговельно-виставковому центрі Дюсельдорфа з 20 по 24 червня 2022 р.

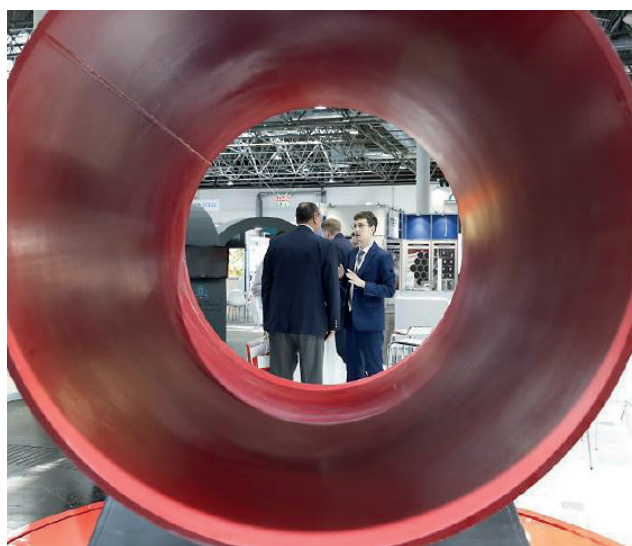
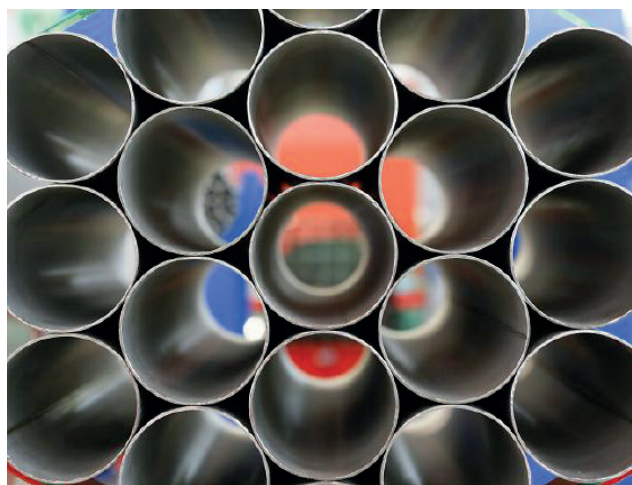
Учасники мають високі очікування та впевнені, що у Дюсельдорфі вони зможуть провести п'ять днів, наповнених технологічними інноваціями, поспілкуватися з експертами з усього світу, а також знову взяти участь у заходах торгового ярмарку у вільний час. Сприяння спілкуванню та обміну ідеями має дуже велике значення, особливо в наш час.

Оскільки влітку пандемія іде на спад, а правила в'їзду та виїзду у багатьох країнах пом'якшуються, як учасники, так і відвідувачі з усього світу зможуть приїхати у Дюсельдорф на виставкові заходи. Гігієнічні умови по всій території ярмарку та у павільйонах забезпечено великою кількістю дозаторів дезінфікуючих засобів і постійною циркуляцією повітря. Втім, рекомендується носити маски та дотримуватися дистанції в 1,5 м під час спілкування.

Вже понад 35 років ключові гравці галузі виробництва дроту, кабелю, труб збираються разом у Дюсельдорфі, щоби продемонструвати новітнє обладнання, установки, продукцію та послуги, зустрітися з міжнародними клієнтами та укласти ділові угоди.

Наразі на Wire 2022 вже зареєструвалися 1000 компаній з 47 країн, які будуть розташовані на 53210 м² виставкової площі. На провідній міжнародній виставці кабельної галузі представлено машини для виробництва та оздоблення кабелів, технологічні інструменти та допоміжне виробниче устаткування, а також матеріали, спеціальні дроти та кабелі. Крім того, на виставці представлено інновації в галузі технологій вимірювання та управління, а також у техніці для випробувань і спеціалізованих галузях. Також вперше будуть презентовані готові вироби з традиційних сегментів технології виготовлення кріплень і пружин. Таким чином, такі готові вироби, як технічні пружини, гвинти, троси, люверси тощо, також будуть представлені на виставці Wire 2022.





Міжнародна виставка дроту розташована у виставкових залах з 9 по 14 із секторами дроту, кабелю, виробів з дроту та технологій виробництва, кріплення та виготовлення пружин, а також готової продукції. Павільйон 13 буде присвячений винятково технологіям виготовлення кріпежу та пружин і готовій продукції з них. Далі у залі 15 буде встановлено велике та енергомстке обладнання для зварювання сіток, а також представлені пов'язані з ними технології.

У 2022 р. очікується традиційно велика кількість учасників з Італії, Туреччини, Іспанії, Бельгії, Франції, Австрії, Нідерландів, Швейцарії, Великої Британії, Швеції, Польщі, Німеччини, США, Канади, Південної Кореї, Тайваню, Індії, Японії та КНР.

На більш ніж 40000 м² виставкової площі міжнародна виставка труб і трубної продукції Tube представляє повний спектр послуг від виробництва та оздоблення труб до переробки труб і торгівлі трубами. Експонати варіюються від сировини, труб та обладнання для їх виробництва, вживаного обладнання до технологічних інстру-

ментів, допоміжного обладнання та технологій вимірювання та контролю, а також техніки для випробувань. Трубопроводи та технології OCTG, а також профілі та обладнання доповнюють асортимент. На даний момент зареєструвалося 735 учасників з 44 країн.

На Tube найбільшими країнами-учасницями також будуть Італія, Туреччина, Велика Британія, Нідерланди, Франція, Австрія, Швейцарія, Польща, Іспанія, Чехія, Німеччина, США, Індія, Південна Корея, Тайвань і КНР.

Виставка № 1 для трубної промисловості вперше буде розташована в новому залі 1, а також у сусідніх залах 3 і 4 з секторам виробництва труб, супутнього устаткування і торгівлі трубами. Поряд з цим залом буде виконуватись згинання та формування заготовок в залах 5 і 6, а також обробка труб в залах 6 і 7а. У залі 7а буде розташовано велике промислове обладнання.

Прем'єра маршрутів есоMetal під час виставки

Стійкі, екологічні, енергоефективні та інноваційні – саме так більшість компаній-виробників хочуть «блищати» на публиці. Проте шлях до цього часто довгий, особливо в ресурсоємних технологічних компаніях дротової, кабельної та трубної промисловості. Часто компаніям потрібні роки, щоб запровадити вимоги кліматичної ефективності, стійкості та економії ресурсів у власні виробничі операції.

Виставковий центр Дюсельдорфа представить свою компанію есоMetals на провідних світових виставках Wire and Tube: з 20 по 24 червня для відвідувачів щодня будуть проводитися безкоштовні екскурсії. Ці так звані маршрути есоMetals приведуть відвідувачів до стендів учасників, які впроваджують сталі виробництва.

Зустріч експертів, присвячена «Зеленій Трансформації»

У понеділок, 20 червня, під назвою «Металургійна галузь впроваджує Зелену Трансформацію» відбудеться нарада експертів. З 14⁰⁰ 4-годинна програма буде складатися з восьми лекцій експертів у новому залі 1, перший поверх, кімната 15. Приймаючи виклики Зеленої Трансформації, експерти міжнародних компаній доповідатимуть про захоплюючі процеси трансформації у своїх виробничих цехах і дослідницьких лабораторіях.

Організатором заходу є агенство Stahl-Kommunikation. У зв'язку з тим, що кількість відвідувачів обмежена, рекомендовано неформально зареєструватися заздалегідь – надіслати своє ім'я, адресу компанії, номер телефону та адресу електронної пошти на e-mail: hgd@stahl-kommunikation.de.

Актуальна інформація про обидві виставки розміщена на сайтах www.wire.de і www.tube.de.

Календар квітня*

01 квітня 1939 року

Було спущено на воду «Тірпіц» (нім. Tirpitz) – другий лінкор типу «Бісмарк», що входив до складу Крігсмаріне (Німеччина). У бойових діях практично не брав участі, проте своєю присутністю в Норвегії загрожував арктичним конвоям СРСР і сковував значні сили британського флоту. Цей лінкор відрізнявся великим обсягом застосування зварювання під час його будівництва. Приблизно на 90-95% корпус корабля був зварним. Це дозволило суттєво зменшити вагу корабля в порівнянні з клепаним варіантом та створити більш потужний броньовий захист.



02 квітня 1924 року

Народився Уолтер Персі Крайслер (1875-1940) – американський автомобілебудівник, промисловець, засновник корпорації Chrysler. Прагнучи скоротити трудовитрати та стандартизувати автомобілі, компанія Chrysler почала розглядати можливість застосування роботизованого зварювання і зрештою зупинилася на зварювальній роботі від Lincoln Electric/Fanuc. В підсумку Chrysler вдалося скоротити час виготовлення одного шасі на 75% порівняно з ручним зварюванням.



03 квітня 1984 року

У 1984 р. Ракеш Шарма у складі міжнародного космічного екіпажу на розробленому ІЕЗ ім. Є.О. Патона приладу для нанесення покриттів «Испаритель-М» провів експеримент «Переохолодження». Ракеш Шарма – перший індійський космонавт і 138-й чоловік у світі, який здійснив політ у космос. У ході експерименту проводилася плавка і кристалізація сферичних виливків, що вільно переміщуються в невагомості і вакуумі. Ці експерименти мали важливе значення для розвитку зварювальних технологій за умов космосу.



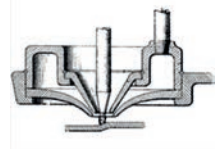
04 квітня 1973 року

Відбулося офіційне відкриття Світового торгового центру у Нью-Йорку. Для будівництва комплексу із семи будівель було використано 139500 кг наплавленого металу. Архітектурною домінантою комплексу, автором якої став Мінора Ямасакі, були дві вежі, кожна по 110 поверхів – Північна (заввишки 417 м) та Південна (заввишки 415 м). Проект будівель є структурною системою «труба-каркас», яка використовувалася в вежах-близнюках. Принцип «труба-каркас» був новим підходом, який дозволив збільшити простір корисних площ, на відміну від традиційного дизайну. Дві вежі було зруйновано 11 вересня під час терористичної атаки двома цивільними літаками.



05 квітня 2012 року

Компанія Lincoln Electric запатентує зварювальний процес STT (Surface Tension Transfer – перенесення за рахунок сил поверхневого натягу). Це один з різновидів процесу перенесення короткими замиканнями, при якому розплавлений метал переноситься за рахунок сил поверхневого натягу зварювальної ванни, яка втягує рідку краплю на кінці дроту. Таким чином, STT забезпечує більш високу якість під час виконання швів у всіх просторових положеннях. Це досягається за рахунок низького тепловкладання, незначного окислення металу шва і кращого проплавлення навіть за низької якості збирання під зварювання.



06 квітня 1890 року

Народився Антон Герман Герард (Ентоні) Фоккер (1890-1939) – нідерландський авіаконструктор. У 1913 р. Фоккер заснував поблизу Шверіна (Німеччина) авіаційний завод. Під час Першої світової війни Ентоні Фоккер почав використовувати зварювання у виробництві фюзеляжів німецьких винищувачів. Свій перший політ удосконалений літак Фоккер здійснив навесні 1914 р., а через рік він уже випускався серійно і широко застосовувався на фронтах. У 1920-х роках Ентоні Фоккер переїхав до США, де заснував відділення своєї фірми. Компанія Фоккера стала одним із провідних виробників цивільних літаків у світі. У 1926 р. на одному з літаків Фоккера було здійснено переліт через Північний полюс.



07 квітня 1947 року

Помер Генрі Форд (1863-1947) – американський промисловець, власник заводів з виробництва автомобілів по всьому світу, автор 161 патенту в США. Генрі Форд організував масове виробництво автомобілів на конвеєрі, орієнтувався на застосування контактної, дугової та газової зварювання замість ковальського зварювання та клепки. Конструкції шасі, кузовів, вихлопних труб, баків та інших вузлів і деталей відразу проектували з урахуванням технологічних можливостей зварювання. Шасі у вигляді рамної конструкції спочатку зварювали за допомогою ацетиленокисневого полум'я, потім дугою електрода, що плавиться. Значна частина з'єднань припадала на контактне стикове, шовне та точкове зварювання.



* Матеріал підготовлено компанією ТОВ «СТІЛ ВОРК» (м. Кривий Ріг) за участю редакції журналу.



08 квітня 1919 року

Народився Ю.М. Готальський (1919-2002) – відомий вчений, представник Патонівської школи. Результати наукових праць Ю.Н. Готальського дозволили створити матеріали для зварювання різномірних сталей, які й досі знаходять широке застосування. З їх використанням реалізується принципово нова технологія зварювання, а саме без підігріву та термообробки труб для нафтохімічної та електроенергетичної промисловості. У КНР завдяки допомозі Ю.Н. Готальського вже до кінця 1959 р. електрошлакове зварювання застосовували при виготовленні кувальних штампів, парових котлів, прокатного та іншого обладнання. Ю.Н. Готальський автор 2 монографій, понад 130 статей та авторських свідоцтв.



09 квітня 1939 року

Народився Б.В. Данильченко, представник Патонівської школи – один з розробників технології дугового наплавлення листів порошковими стрічками. Їм особисто і в співавторстві розроблена та доведена до промислового виробництва серія матеріалів для наплавлення спеціальних сталей та сплавів, нанесення захисних термопокриттів, створено низку технологій наплавлення різноманітних промислових деталей. Б.В. Данильченко автор та співавтор близько 130 наукових праць та понад 40 авторських свідоцтв.



10 квітня 1870 року

Народився Макс Ульріх Шооп (1870-1956) – творець методу термічного напилення металу (металізації). Цей процес є спорідненим до зварювання. Зварювання з'єднує металеві елементи, а газотермічне напилення захищає поверхні від корозії, зношування тощо. Перша установка Шоопа переносила рідкий свинець за допомогою водяної пари. У 1913 р. Ульріх Шооп удосконалив і запатентував конструкцію газополум'яного розпилювача, де матеріал для розпилення подавався в полум'я газового пальника у вигляді дроту. Завдяки значному внеску у початковий розвиток технологій, методи нанесення газотермічних покриттів шляхом розпилення називали шоопуванням.



11 квітня 1951 року

Народився Вільям Джон Абергаст молодший – американський інженер-металург, інженер-механік, спеціаліст зі зварювання тертям та зварювання тертям з перемішуванням. Працюючи в аерокосмічній компанії Lockheed Martin, Абергаст став великим фахівцем у таких галузях, як термічна обробка металів, зварювання, неруйнівний контроль, застосовуючи свої знання у виробництві та випробуваннях аерокосмічних матеріалів. Технологія зварювання тертям, розроблена вченим, використовувалася при виготовленні паливних баків космічних кораблів Space Shuttle із високоміцного алюмінієвого сплаву 2219 та дуже легкого алюмінієво-літєвого сплаву AA2195, які не могли бути зварені звичайними методами зварювання.



12 квітня 1962 року

Помер Антуан (Нота Беркович) Певзнер (1884-1962) – російський та французький художник, скульптор. У 1911 р. приїхав до Парижу, де познайомився з А.П. Архипенком та А. Модільяні. Розвиваючи ідеї конструктивізму, дійшов кінетичного мистецтва. Студія Певзнера була на околиці Парижу. Він був одним із перших художників, який скористався паяльною лампою при створенні скульптури, зварюванням мідної катанки на скульптурній формі, виробив низку методів, які можна використовувати при зварюванні в процесі створення скульптурних форм.



13 квітня 1961 року

Народився А.М. Бейніш (1911-1997) – представник Патонівської школи. За його активною участю розроблені високопродуктивні електроди із залізним порошком у покритті марки АНО-1. Крім того, його розробки були використані в технологіях промислового виробництва електродів та застосування їх на вагонобудівних заводах Нижнього Тагілу та Кременчука, низьководневі електроди АНП-6П та АНО-31.



14 квітня 1929 року

У Києві академік Є.О. Патон заснував зварювальну лабораторію. Маючи значний досвід, він розробив комплексну програму досліджень у напрямку створення матеріалів та обладнання, перспективних способів та технологій зварювання відповідальних інженерних споруд. У 1930 р. Є.О. Патон організував Електрозварювальний комітет – громадську організацію, основним завданням якої була координація робіт підприємств та установ, що займаються зварювальним виробництвом.

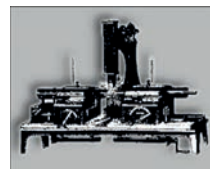


15 квітня 1939 року

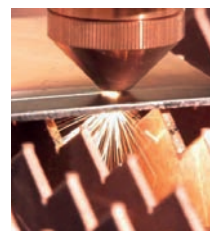
Народився Л.О. Семенов (1939-2013) – представник Патонівської школи. За його безпосередньої участю виконано комплекс науково-дослідних і технологічних робіт в області контактного стикового зварювання алюмінієвих сплавів. Створено та успішно впроваджено на підприємствах міністерств авіаційної промисловості, оборонної промисловості та загального машинобудування колишнього СРСР технології та обладнання для зварювання силових елементів (шпангоутів та обичайок) корпусів літальних апаратів. Займався розробкою технологій зварювання нових вузлів та деталей корпусів ракетноносіїв «Зеніт», «Циклон-4».

16 квітня 1889 року

Запропоновано принципово нове взаємне розташування електродів, виробу, що зварюється, і дуги. Менеджер компанії «Американ електрик» Ч.А. Коффін запатентував роликівий металевий електрод, що переміщається над поверхнею виробу на ізолюванні від нього каретці. Дуга збуджувалася між роликівим електродом, що обертався (позитивний потенціал), і виробом, підключеним до негативного потенціалу. Таку ж каретку Ч.А. Коффін використовував для кріплення двокутних електродів, що розміщуються по обидва боки від осі шва.

**17 квітня 2014 року**

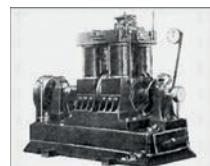
Компанією TeraDiode, разом із MIT Lincoln Laboratory, анонсований інноваційний лазер TeraBlade — перший діодний лазер з потужністю, достатньою для різання металу. TeraBlade — це 4-кіловатний лазер, який випромінює кілька окремих лазерних променів, які фокусуються в один, підвищуючи потужність діодного лазера. Таким чином, цей лазер здатний здійснювати різання та зварювання сталевих листів товщиною півтора сантиметри. Він у 100 разів яскравіший за існуючі і може використовуватися для зварювання та різання металу в промисловості, а в майбутньому і як військовий лазер у системах ПРО.

**18 квітня 1934 року**

Відкритий публіці продемонстрували автомобіль Citroën Traction Avant — один із перших у світі серійних передньо приводних автомобілів із цільнозварним кузовом. Він мав значну перевагу в масі, що позначилося на витраті палива. Так, автомобіль міг розвивати швидкість 100 км/год, споживаючи при цьому всього 10 л на 100 км. Інноваційний кузов надав автомобілю пізнавану, що виділяється серед інших низькою посадкою, а довгий термін виробництва призвів до того, що у 1934 р. модель сприймалася стильною, а у 1955 — сильно застарілою.

**19 квітня 1892 року**

Зареєстрований один із патентів Генрі Говарда. На основі ряду патентів конструктор створив першу стаціонарну зварювальну установку та впровадив її на заводах фірми «Lloid & Lloid» у Бірмінгемі у 1887 р. Вона складалася з чотирьох динамо-машин (500 А, 150 В), що приводилися в дію паровою машиною, 1800 «аккумуляторів Бенардосу» та баластних реостатів. Дещо пізніше новаторську, на ті часи, ідею виключити із зварювального ланцюга аккумуляторну батарею запропонував М.Г. Слов'янов для виготовлення двох потужних динамо-машин постійного струму (300 і 1000 А).

**20 квітня 1926 року**

Народився В.Я. Саєнко (1938-2015) — представник Патонівської школи, відомий спеціаліст у галузі електрометалургії, зокрема, електрошлакових технологій при переплаві, литті, зварюванні сталей та сплавів, виготовленні унікальних виробів для багатьох галузей промисловості. В. Я. Саєнко автор та співавтор близько 320 наукових праць та близько 300 авторських свідоцтв та патентів.

**21 квітня 1958 року**

Під час проведення Брюссельської всесвітньої виставки 1958 р. було оголошено про створення електрошлакового зварювання. Метод електрошлакового зварювання (ЕШЗ) було розроблено співробітниками Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона на початку 1950-х років. ЕШЗ є одним з різновидів зварювання плавленням. Воно засновано на виділенні тепла при проходженні електричного струму через рідкий шлак, за рахунок чого розплавляються кромки деталей, що зварюються, і присадковий метал, а також підтримується висока температура розплаву. Цей вид зварювання відкривав великі можливості у виробництві важкого металургійного, ковальсько-пресового та іншого обладнання.

**22 квітня 1966 року**

У Калькутті засновано Індійський інститут зварювання. Завдяки своїм різноманітним заходам та програмам, Інститут визнаний провідним, пов'язаним із зварюванням у країні, з більш ніж 5000 індивідуальних та корпоративних членів. Як член Міжнародного інституту зварювання, він допомагає донести до світової спільноти важливість та досягнення індійської зварювальної промисловості.

**23 квітня 1854 року**

Народився Макс Карл Ернст Людвіг Планк (1858-1947) — німецький фізик-теоретик, основоположник квантової фізики. Лауреат Нобелівської премії з фізики (1918), протягом багатьох років один із керівників німецької науки. Наукові праці Планка присвячені термодинаміці, теорії теплового випромінювання, квантової теорії, спеціальної теорії відносності, оптиці. Він сформулював другий початок термодинаміки як принципу зростання ентропії і використав його на вирішення різних завдань фізичної хімії. Планк отримав закон розподілу енергії у спектрі абсолютно чорного тіла (формула Планка) та обґрунтував цей закон, запровадивши уявлення про кванти енергії та квант дії.





24 квітня 2014 року

Скульптор під псевдонімом TEJN встановив одну з останніх своїх скульптур «Добитися свободи». TEJN – це псевдонім сучасного датського скульптора, який розпочав свою творчу роботу як вуличний художник у 2007 р. Виконуючи свої роботи з металу та використовуючи зварювання, він отримав популярність завдяки несанкціонованим розміщенням скульптур. Художник без дозволу влади приварює чи закріплює пам'ятники ланцюгами там, де йому заманеться. Пізніше скульптури почали повертати свої місця як пам'ятники архітектури. У своїх роботах скульптор користується зварюванням, різкою, наплавленням та іншими методами обробки металу. Сьогодні його роботи часто виставляються на престижних виставках.



25 квітня 1990 року

Шаттл «Discovery» (STS-31) вивів на орбіту космічний телескоп «Хаббл». Важливу роль у будівництві цього телескопа зіграло лазерне зварювання, яке використовувалося при виготовленні спеціальних легких пористих дзеркал. Космічний телескоп імені Е. Хаббла – один із найуспішніших орбітальних космічних апаратів наукового призначення. Він допомагає досліджувати Сонячну систему, далекі галактики, туманності та інші космічні об'єкти, які неможливо вивчати з Землі.



26 квітня 1986 року

Відбулася катастрофа на Чорнобильській атомній електростанції – найбільша у своєму роді аварія в атомній енергетиці, яка забрала життя сотень людей і спровокувала значні зміни економічного та політичного життя суспільства. Згідно з багатьма попередженнями, одним із недоліків у конструкції станції були неякісно виконані зварювальні роботи, які внесли свій внесок у трагедію. В даний час при проведенні зварювальних робіт для «сухого» зберігання відпрацьованого ядерного палива в сховищі широко використовується автоматичне зварювання електродом, що не плавиться, з подачею «гарячої» присадки в дистанційному управлінні.



27 квітня 1967 року

Відкрилася Всесвітня виставка 1967 р., символом якої стала Монреальська біосфера. Побудована як павільйон американської експозиції міжнародної виставки Ехро-67, біосфера стала одним із символів міста Монреаль. Конструкція має вигляд великої кулі, що складається з безлічі частин, з'єднаних між собою зварюванням. Кожна з них виглядає як спеціальне молекулярне з'єднання, що належить до особливого класу проалотропних форм всім відомого вуглецю. У травні 1976 р. під час ремонтних зварювальних робіт купол біосфери спалахнув, але, на щастя, обійшлося без жертв.



28 квітня 1934 року

Народився Б.І. Казимов, відомий спеціаліст у галузі контактного стикового зварювання труб різного призначення – представник Патонівської школи. За його участю розроблено та впроваджено унікальний зварювальний комплекс «Північ-1». Контактне стикове зварювання, яке здійснюється «Північ», один з небагатьох способів, що дозволяють поєднати практично всі відомі метали та сплави, забезпечуючи високу стабільність та якість з'єднань. Для зварювання газопроводів діаметром 1420 мм переважно у польових умовах, у тому числі в екстремальних умовах Крайньої Півночі, широко використовувався зварювальний комплекс «Північ-1».



29 квітня 1897 року

Сер Джозеф Джон Томсон (1856-1940) – англійський фізик, лауреат Нобелівської премії (1906) за заслуги в області теоретичних й експериментальних досліджень провідності електрики в газах, серед яких найважливіша – відкриття електрона (29 квітня 1897 р.), ізотопів і винаходу мас-спектрометра.



30 квітня 1941 року

Закладено корабель SS Patrick Henry – перший із серії «Ліберті», побудованої для транспортного флоту США. Він був спушений на воду 27 вересня 1941 р. Завдяки заміні клепаної конструкції та технології клепок на зварювальну конструкцію було заощаджено 500 тис. т сталі, а цикл споруди скоротився до 50 днів. За рахунок цього до 1943 р. було побудовано близько 500 судів, а всього було побудовано 2710 кораблів даної серії.

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

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

ЖУРНАЛИ

для професіоналів

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

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