

З АВТОМАТИЧНЕ ЗВАРЮВАННЯ

04
2020

Автоматическая сварка

Видається 12 разів на рік з 1948 р.

Automatic Welding

Published 12 times per year since 1948

ЗМІСТ

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

Лобанов Л.М., Пащин М.О., Тимошенко О.М., Гончаров П.В., Міходуй О.Л., Шиян К.В. Підвищення довговічності зварних з'єднань алюмінієвого сплаву АМг6 3

Фальченко Ю.В., Петрушинець Л.В., Половецький Є.В. Особливості отримання металевих шаруватих композиційних матеріалів на алюмінієвій основі 11

Книш В.В., Соловей С.О., Ниркова Л.І., Кот В.Г., Гришанов А.О. Вплив високочастотної проковки та атмосфери морського клімату на циклічну довговічність таврових зварних з'єднань з поверхневими втомними тріщинами 22

Хаскін В.Ю., Коржик В.М., Бернацький А.В., Войтенко А.М., Ілляшенко Є.В., Саї Д. Особливості прояву синергетичного ефекту при лазерно-плазмовому зварюванні сталі SUS304 з використанням випромінювання дискового лазера 29

ВИРОБНИЧИЙ РОЗДІЛ

Юрженко М.В., Кораб М.Г., Колісник Р.В., Масючок О.П., Андреев А.В., Петропольський В.С. Зварювання термопластичних полімерних композитів в авіаційній промисловості (Огляд) 34

Маградзе Эр. О старейшей технологии пайки на примере археологических находок – золотого кубка из Триалети и муфеля из Квацхели..... 41

КОРОТКІ ПОВІДОМЛЕННЯ

Інституту зварювання Польщі – 75 років!..... 47

ХРОНІКА

Збори, присвячені 150-річчю від дня народження Є.О. Патона..... 50

ІНФОРМАЦІЯ

По закордонним журналам 55

TransTig 170/210: розширений набір можливостей TIG та MMA з мінімізацією витрат 59

CONTENTS

SCIENTIFIC AND TECHNICAL

Lobanov L.M., Pashchyn M.O., Tymoshenko O.M., Goncharov P.V., Mikhoduj O.L., Shiyani K.V. Increase in the life of welded joints of AMg6 aluminum alloy 3

Falchenko Yu.V., Petrushinets L.V., Polovetskii E.V. Peculiarities of producing layered metal composite materials on aluminum base 11

Knysh V.V., Solovei S.O., Nyrkova L.I., Kot V.G., Grishanov A.O. Influence of high-frequency peening and atmosphere of marine climate on the cyclic life of T-welded joints with surface fatigue cracks 22

Khaskin V.Yu., Korzhik V.M., Bernatskii A.V., Voitenko O.M., Ilyashenko Y.V., Sai D. Features of synergistic effect manifestation in laser-plasma welding of SUS304 steel, using disc laser radiation 29

INDUSTRIAL

Iurzhenko M.V., Korab M.G., Kolisnyk R.V., Masiuchok O.P., Andreev A.S., Petropolsky V.S. Welding of thermoplastic polymer composites in the aviation industry (a review) 34

Magradze Er. About the oldest technology of brazing on the example of archaeological findings – a golden cup from Trialeti and mufler from Kvatskheli 41

BRIEF INFORMATION

Institute of Welding of Poland – 75 years! 47

NEWS

Meeting dedicated to the 150th anniversary of E.O. Paton 50

INFORMATION

According to foreign welding journals 55

TransTig 170/210: Extended TIG and MMA features with minimization costs 59



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 Автоматическая сварка Automatic Welding

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

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

Засновники

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

Адреса

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАНУ
03150, Україна, Київ-150,
вул. Казимира Малевича, 11
Тел.: (38044) 200 6302, 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 182, 191, 192, 263.
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

Передплатний індекс 70031.
12 випусків на рік (видається щомісячно).
Друкована версія: 2400 грн. за річний комплект
з урахуванням доставки рекомендованою банделлюю.
Електронна версія: 2400 грн. за річний комплект
(випуски журналу надсилаються електронною поштою
у форматі .pdf або для IP-адреси комп'ютера
передплатника надається доступ до архіву журналу).

Журнал «Автоматичне зварювання» перевидається
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:
B.E. Paton (Editor-in-Chief),
S.I. Kuchuk-Yatsenko (Deputy Editor-in-Chief),
V.M. Lipodaev (Staff Deputy Editor-in-Chief)
O.M. Berdnikova, Yu.S. Borisov,
V.V. Knysh, V.M. Korzhyk, I.V. Krivtsun,
Yu.M. Lankin, L.M. Lobanov,
S.Yu. Maksimov, M.O. Pashchin,
V.D. Poznyakov, I.O. Ryabtsev,
K.A. Yushchenko;
V.V. Dmytryk, 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 Kasymyr Malevych Str.
Tel.: (38044) 200 6302, 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 182, 191, 192, 263.

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

Subscription index 70031.
12 issues per year (issued monthly), back issues available.
\$180, subscriptions for the printed (hard copy) version,
air postage and packaging included.

\$150, subscriptions for the electronic version
(sending issues of Journal in pdf format
or providing access to IP addresses).

«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.

Підписано до друку 24.04.2020.
Формат 60×84/8. Офсетний друк. Ум. друк. арк. 6.98.
Друк ТОВ «ДІА».
03022, м. Київ-22, вул. Васильківська, 45.

ПОЛЬСКОМУ ИНСТИТУТУ СВАРКИ 75 ЛЕТ!

Польский Институт сварки был основан 28 марта 1945 г. Его возглавили директор Болеслав Шупп и заместитель Юзеф Пилярчик, который в декабре 1959 г. принял на себя обязанности директора. В первые послевоенные годы Институт занимался обучением сварщиков. В последующие годы Институтом проводилась научно-исследовательская деятельность в области технологий дуговой и контактной сварки, сварочных материалов, сварных конструкций, свариваемости, систем управления и источников сварочного тока. Изготавливали опытные образцы и небольшие серии сварочных аппаратов, партии новых сварочных материалов для сварки, наплавки и пайки, а также посты для механизированной сварки. Новинки внедрялись в производство на промышленных предприятиях.

В рамках трансформации в 1990-х годах была упрощена организационная структура, проведен интенсивный поиск новых задач в области сварки, особенно тех, которые экономически оправданы. Уже почти 30 лет Институт работает в свободном и конкурентном рынке, в условиях самофинансирования.

С 1 апреля 2019 г., в рамках проводимой в Польше реформы, связанной с достижением целей стратегии Европа 2020, Институт сварки вошел в Исследовательскую сеть ЛУКАСЕВИЧ, вместе с другими 35 научно-исследовательскими институтами (почти 8 тыс. сотрудников).

Организационная структура Института сварки включает пять научно-исследовательских отделов: отдел свариваемости и сварных конструкций, отдел неразрушающего контроля, отдел технологии контактной сварки, склеивания и инженерии окружающей среды, отдел сварочных технологий, отдел электронного сварочного оборудования и три центра: Центр по сварочной подготовке и надзору, Центр сертификации, Центр маркетинга и научной информации.

В Институте сварки работают 148 сотрудников, в том числе 7 профессоров и 19 кандидатов технических наук.

Основными направлениями деятельности исследовательских отделов института является проведение исследовательских и опытно-конструкторских работ и их внедрение в различных областях сварочного производства.

Отдел свариваемости и сварных конструкций проводит испытания новых конструкционных материалов и занимается вопросами проектирования сварных конструкций. Завершен международный проект по проектированию спиральношовных сварных труб для применения при строительстве трубопроводов. Проводятся работы по сварочным

остаточным напряжениям, разработана технология и оборудование для вибрационной стабилизации размеров конструкции после сварки с частотой до 700 Гц. Отделом проводятся работы по инженерии поверхности, в том числе разрабатывается технология нанесения поверхностных слоев, содержащих соединения рения, с использованием электронно-лучевого процесса, и технология электронно-лучевой сварки разнородных материалов. Важной областью деятельности отдела является экспертиза по определению причин отказов сварных конструкций – сосудов, мостов, трубопроводов и т.д., а также по определению свариваемости неизвестных материалов при ремонте старых конструкций мостов и гидротехнических сооружений.

Созданный недавно отдел неразрушающего контроля реализует проект по методологии и оценке достоверности контроля сварных соединений, исследований тонкостенных труб для энергетики с использованием фазированной решетки Phased Array, проводит исследования по ультразвуковому контролю сварных соединений из аустенитной стали и соединений разнородных сталей. Выполняет сравнительные испытания методов TOFD, Phased Array и цифровой радиографии сварных соединений, а также ряд экспертных работ. Полученные знания сотрудники отдела широко используют на курсах неразрушающего контроля, проводимых по методам VT, PT, MT, UT, RT на всех трех уровнях квалификации. Отдел является национальным лидером в области обучения неразрушающему контролю – ежегодно обучается около 2000 студентов, что составляет более 55 % рынка обучения в Польше.

Отдел технологии контактной сварки, склеивания и инженерии окружающей среды проводит работы в трех направлениях. Первое направление предусматривает разработку и внедрение технологий сварки трением и контактной сварки, в том числе сварки трением с перемешиванием FSW (Friction Stir Welding) и ультразвуковой сварки меди и алюминия. В рамках международных и европейских проектов разработана технология сварки трением с перемешиванием и был получен первый патент в области сварки FSW, касающийся соединения листов и плит с существенно различными физическими свойствами. Другие проекты в области метода FSW касались сварки титановых сплавов Ti64 и CP-Ti, предназначенных для хирургических инструментов и имплантатов, а также разработки и внедрения технологии кольцевой сварки методом FSW пневматических цилиндров. В последнее время в Институте разработаны технологии соединения методом FSW армирующих вставок с алюминиевыми корпусами автомобиль-

ных двигателей. Результатом этого проекта стала заявка, совместно с автомобильной компанией, международного патента по производству блоков двигателя с использованием метода FSW. Инновационные проекты, реализуемые отделом, посвящены также применению метода высокоскоростной сварки трением HSFW (сварка со скоростью до 24000 об/мин) для соединения элементов из стали и сплавов алюминия. По второму направлению проводятся исследовательские работы и обучение в области сварки и контактной сварки термопластов, а также курсы склеивания на основе требований EWF в сотрудничестве с Институтом Фраунгофера IFAM в Бремене. В рамках третьего направления выполняются проекты по исследованию вредных для здоровья химических веществ и пыли при сварке, пайке, пайкосварке и термической резке металлов; по выбросам загрязнений окружающей среды в процессах сварки MIG/MAG с применением новых присадочных материалов, а также исследование выделений (выбросов) загрязняющих веществ в атмосферу при контактной сварке листов, покрытых современными антикоррозийными покрытиями. Последний инновационный проект касается разработки методики исследования эмиссии при лазерной сварке.

В отделе сварочных технологий в последнее время были выполнены исследовательские проекты: по твердой пайке нержавеющей стали с титаном, гибридной сварке лазер + MIG/MAG конструкционных сталей и алюминиевых сплавов, лазерной пайкосварке YAG и лазерной сварке с присадочным материалом в виде проволоки. Разработано и внедрено технологию роботизированной сварки T-образных соединений деталей авиационных двигателей, разработано технологию лазерной сварки оребренных котельных труб из аустенитной стали и никелевых сплавов, предназначенных для работы в котлах со сверхкритическими параметрами, технологию сварки броневой стали, низкоэнергетические технологии сварки MIG/MAG с управлением переносом капли за счет изменения формы сварочного тока, технологию роботизированной гибридной сварки деталей кар-

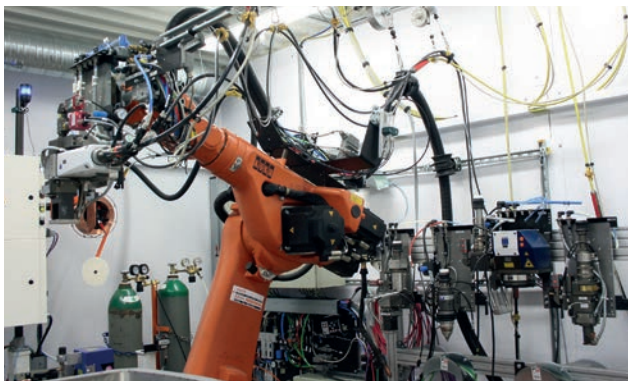
каса шасси и стрел кранов из термоупрочненной стали с высоким пределом текучести и технологию лазерной наплавки градиентных слоев. Отдел также активно участвует в процессе подготовки польской промышленности к строительству первой в стране атомной электростанции, в том числе разрабатывая для отечественных компаний, по запросу правительства, рекомендации по требованиям правил ASME, AFCEN и систем обеспечения качества, а также рекомендации по обучению сварочного персонала и неразрушающего контроля.

В последние годы ведущим продуктом отдела электронного сварочного оборудования, широко внедряемого в промышленности, являются устройства, разработанные для индукционного нагрева мощностью до 100 кВт и рабочей частотой до 400 кГц. Они используются в процессах термообработки: в металлургии и электромеханической промышленности, в плавке металлов, обработке поверхности, при нагреве и соединении металлов. Этим отделом также разрабатываются системы регистрации параметров дуговой и контактной сварки, в том числе разработано и внедрено систему регистрации технологических условий роботизированной сварки T-образных соединений деталей авиационных двигателей.

Основной деятельностью Центра по сварочной подготовке и надзору Института сварки является непрерывное обучение персонала для сварочного производства. В Центре проводится подготовка сварочного персонала на всех уровнях в соответствии с программами MIS и EWF: I/EWE, I/EWT, I/EWS, I/EWP и I/EWIP (таблица).

Институтом сварки выдано также около 2000 сертификатов персонала по неразрушающему контролю, в соответствии с EN ISO 9712 и на основе аккредитации Польского центра аккредитации PCA.

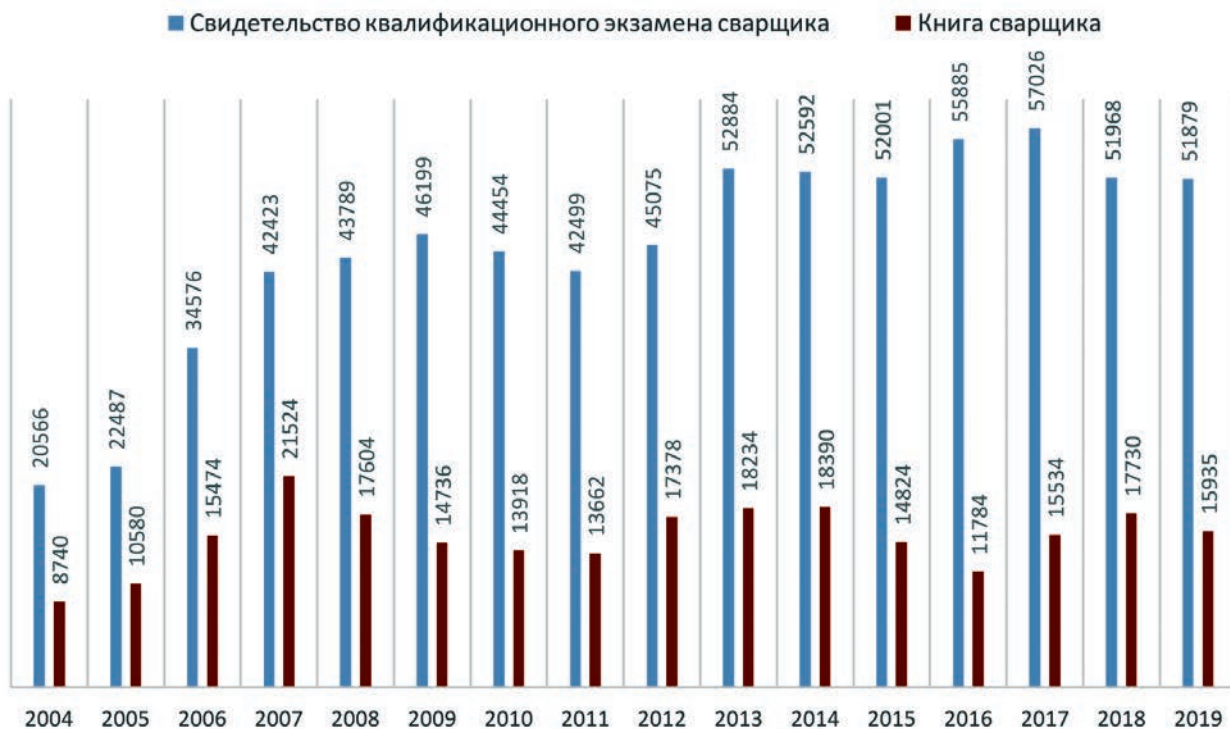
Другие формы деятельности Центра в области обучения и подготовки кадров – это обслуживание и контроль польской системы подготовки сварщиков в локальных обучающих центрах на территории всей страны, курсы по неразрушающему контролю (VT, PT, UT, RT, MT) и специальные курсы (орбитальная сварка труб, сварка арматурной стали и т.д.).



Лабораторный комплекс роботизированной лазерной сварки, укомплектованный лазером YAG мощностью 12 кВт, TruDisk 12002 TRUMPF



Сварка трением с перемешиванием радиатора из медного сплава



Количество документов, выданных Институтом сварки в период 2004–2019 гг.

Количество международных дипломов, выданных Центром сертификации Института сварки до 18.03.2020 г.

Количество дипломов	IWE	IWT	IWP	IWS	IW	IWI
		2986	384	233	881	31

С целью помощи локальным обучающим центрам и одновременно обеспечения соответствующего уровня подготовки сварщиков в Польше, Институт сварки проводит:

- предметный надзор над подготовкой сварщиков во всей стране;
- аттестацию польских центров по подготовке сварщиков (в Польше 308 таких центров);
- проверку экзаменаторов, проводящих экзамены, на основании полномочий (лицензии), выданных Институтом сварки (в Польше имеется 219 таких экзаменаторов);
- выдача сварщикам свидетельств квалификационного экзамена сварщика по PN-EN ISO 9606 и документов «Книга сварщика» на основании экзаменационных протоколов, присылаемых в Институт сварки.

В сферу деятельности института также входит аттестация процедур сварки, аттестация заводов, производящих сварные конструкции, экспертиза и сертификация сварных конструкций, экспертиза и сертификация продукции, предназначенной для сварочного производства, а также разработка инструкций и руководств. Благодаря этому сегодня Институт предлагает практически все, что нужно современной промышленности в области сварки.

Проф. Ян Пилярчик, директор Института в 1990–2015 гг., характеризует деятельность Института в области обучения таким образом: «Институт сварки в Гливицах является в Польше самым большим и очень важным научно-исследовательским центром, который проводит работы по исследованию, развитию и внедрению во всех областях и направлениях сварочного производства, что очень помогает в процессе обучения и подготовки кадров. Научные сотрудники Института, которые десятки лет работают во многих областях сварочного производства, совмещают в рамках своих специальностей глубокие теоретические знания с огромным лабораторным опытом и ценными результатами практического сотрудничества с промышленными предприятиями, благодаря этому всецело удовлетворяют требованиям, выдвигаемым к преподавателям наивысшего уровня».

По материалам пресс-релиза
Института сварки Польши



В отделе электронно-лучевой сварки

ЗБОРИ, ПРИСВЯЧЕНІ 150-річчю ВІД ДНЯ НАРОДЖЕННЯ Є.О. ПАТОНА

5 березня 2020 р. у конференц-залі Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України відбулися Загальні збори НАН України, присвячені 150-річчю від дня народження всесвітньо відомого вченого в галузі мостобудування та зварювання академіка НАН України Євгена Оскаровича Патона. У зборах прийняли участь співробітники ІЕЗ, академічних інститутів, КПП ім. Ігоря Сікорського та представники підприємств зварювальної індустрії України. А також у зборах прийняв участь академік Борис Євгенович Патон, якого присутні привітали тривалими оплесками.

З привітанням до учасників Загальних зборів звернувся віце-президент Національної академії наук України академік *А.Г. Наумовець*. Він наголосив, що академік Євген Оскарович Патон, знаний і авторитетний фахівець з мостобудування та електрозварювання, фундатор і керівник першого в світі наукового інституту електрозварювання, засновник і керівник кафедр мостів та електрозварювання Київського політехнічного інституту все своє життя присвятив інженерній, науковій та організаційній діяльності, підготовці молодих вчених і фахівців у галузі мостобудування та електрозварювання.

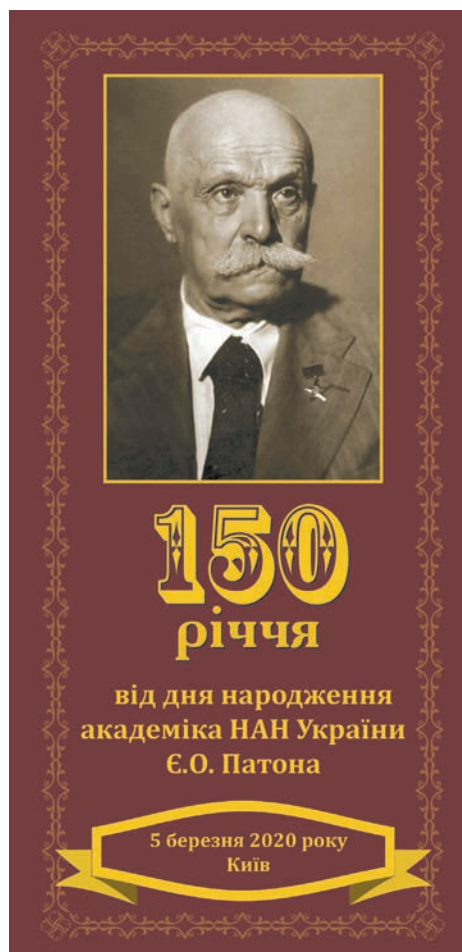
Наприкінці 1920-х років Євген Оскарович Патон прийшов до твердого переконання, що технічний прогрес у виробництві металевих конструкцій в значній мірі буде визначатися використанням зварювання на заміну іншим способом нероз'ємного з'єднання деталей.

Євген Оскарович взяв за мету створити технологію електрозварювання та науково довести її перевагу. Вирішенню цієї задачі Євген Оскарович Патон присвятив другу половину своєї творчої діяльності.

У найкоротші терміни Євгеном Оскаровичем у створеному ним у 1934 р. Інституті електрозварювання були вирішені складні наукові проблеми: вивчено особливості роботи зварних конструкцій у стані напруження, що виникає в них у процесі виготовлення, розроблено методи розрахунку на міцність, створено раціональні технологічні конструкції.

Ці перші дослідження разом із багатьма наступними стали теоретичною основою науки про зварювання, перетворили її на потужне знаряддя технічного прогресу, привели до революційних зрушень у багатьох галузях виробництва – нафтохімічній, гірничо-видобувній, металургійній промисловості, та інших галузях.

На початку 1940 р. Євген Оскарович і його співробітники розробили новий спосіб зварювання ме-



талів – автоматичне дугове електрозварювання під флюсом. Це відкриття дозволило перейти від ручного зварювання до індустріального, механізованого високоякісного виробництва зварних конструкцій.

Плідна робота Євгена Оскаровича Патона у роки війни була особливо відзначена танкобудівниками. У важких умовах воєнного часу Є.О. Патон і його співробітниками були створені технологія та обладнання для зварювання броньованих корпусів танків, артилерійських снарядів, боеприпасів. Вперше у світі був налагоджений масовий випуск танків з корпусами, звареними автоматами.

Надалі наполеглива робота Євгена Оскаровича Патона перетворила створений ним метод автоматичного зварювання під флюсом у потужне знаряддя технічного прогресу. Широке впровадження автоматичного зварювання дозволило перейти до застосування у багатьох галузях виробництва високопродуктивних механізованих поточних ліній.

Наукові труди Євгена Оскаровича Патона заклали тверду основу для масового впровадження автоматичного зварювання у виробництво мостів, про що красномовно свідчить перший найбільший

у світі цільнозварний шосейний міст імені Євгена Оскарівича Патона, збудований у Києві у 1953 р.

Євген Оскарівич створив в Інституті електрозварювання злагоджений колектив, він став фундатором славнозвісної Патонівської школи, яка здобула величезний авторитет і широке визнання в світі.

За всіма здобутками Євгена Оскарівича Патона бачиться глибока переконаність у непересічному значенні науки в житті суспільства, його захопленість головною справою життя – наукою, цілеспрямованість і наполегливість у досягненні поставленої мети, унікальна працездатність і організованість. Його праця у науці – це як міст через все життя.

У своїй доповіді «Патони і Київський політехнічний інститут» ректор НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» академік *М.З. Згуровський* висвітлює «чи найславетнішу сторінку історії Київського політехнічного інституту», яка розпочалася у 1905 р., коли директор Київського політехнічного інституту імператора Олександра II К.О. Зворикін запросив молодого професора Імператорського Московського інженерного училища шляхів сполучень Євгена Оскарівича Патона працювати у КПІ.

На той час Євген Оскарівич вже був відомим вченим мостобудівником, автором знаменитого двотомника «Залізні мости», мав чин колезького радника, був удостоєний ордена Анни 3-го ступеня «в нагороду подвигів, совершаемых на поприще госслужбы».

Рішення переїхати в Київ стало доленосним як для родини Патонів, так і для української промисловості, науки і освіти. Талант Євгена Оскарівича поєднувати якості організатора, вченого та викладача відіграв визначальну роль в подальшій долі КПІ. Його система підготовки інженерів нового типу, яка ґрунтувалася на тріаді «Наука – Виробництво – Кадри», вивела КПІ на рівень провідних вищих навчальних закладів у Російській Імперії.

На початку роботи у КПІ Євгена Оскарівича вразила так звана умоглядність викладання, коли студентам все пояснювалося на словах, без предметної демонстрації. І тому, коли в жовтні 1906 р. Євгена Оскарівича обрали деканом інженерного відділення, він доклав багато зусиль для відкриття нових лабораторій, обладнання навчальних кабінетів наочними посібниками, запрошення відомих професорів і вчених. І вже в наступному 1907 р. на інженерному відділенні було 6 спеціалізацій: архітектура, гідротехніка, залізниця, мости, санітарна техніка, земсько-міська справа.

Окремою великою заслугою Євгена Оскарівича Патона було створення і подальший розвиток Інженерного музею КПІ, прообразу нинішнього державного політехнічного музею України. Інженерним музеєм він керував впродовж семи років – з 1905 по 1912. Саме Євген Оскарівич розробив

каталог експонатів, що стали надбанням музею. На той час їх було 1200. З його ініціативи музей був органічно інтегрований в навчальний процес. Під час лекцій викладачі користувалися моделями та зразками для наочного пояснення студентам складних з'єднань, зарубок, вузлів та різних конструктивних частин.

Для наочної демонстрації мостобудування в Інженерному музеї була розміщена унікальна експозиція дерев'яних мостів, виконаних у масштабі від 0,5 до 0,75 натуральної величини. Експозиція була настільки цікавою та корисною, що Московський інститут інженерів шляхів сполучень замовив комплект таких моделей, які були виготовлені для нього в механічних майстернях КПІ.

Інженерний музей став основою для створення нових навчально-допоміжних підрозділів КПІ: мостової дослідної станції, кабінету моделей та відділення архітектури при музеї.

Також з ініціативи Євгена Оскарівича Патона у КПІ було відкрито кабінет мостів – для напрацювання нових інженерних рішень і виконання проєктів по них. У 1930 р. кабінет мостів, якому Євген Оскарівич присвятив 26 років, був переданий до Дніпропетровського інституту інженерів залізничного транспорту під час його виділення з КПІ.

У 1906-1907 рр. Євген Оскарівич Патон видає третій і четвертий томи курсу «Залізні мости», у 1910 р. – «Дерев'яні мости». Одночасно Євген Оскарівич був одним з перших мостовиків у Російській Імперії, хто почав залучати студентів до роботи з проєктування реальних споруд. Найбільш відомими проєктами того часу, на яких Євген Оскарівич виховав із студентів цілу плеяду майбутніх мостобудівників, стали проєкт відомого в Києві пішохідного мосту через Петровську алею, побудованого у 1909-1910 рр., та проєкт Мухранського мосту через річку Куру в Тифлісі, побудованого у 1911 р.

14 квітня 1913 р. Євген Оскарівич Патон був нагороджений Імператорським орденом Святого Рівноапостольного князя Володимира 4-го ступеня.

В роки Першої світової війни Євген Оскарівич організував роботи з забезпечення армії засобами подолання водних перешкод, зокрема, він вирішив проблему швидкої заміни знищених мостів. Маловідомим є той факт, що Євген Оскарівич облаштував в маєтку свого старшого брата Михайла приватний госпіталь, в якому після поранення військовослужбовці проходили безкоштовне лікування. У вільний від навчального процесу час він обходив київські госпіталі, спілкувався з лікарями, складав списки поранених для відправки їх до брата в садибу Нова Ушиця.

Під час революції 1917 р. та громадянської війни навчання у КПІ то припинялося, то відновлю-

валося, кількість студентів і викладачів зменшилась вдвічі, а їх матеріальні умови наблизилися до критичної межі. Для збереження інституту Євген Оскарівч організував комітет виживання, який налагодив постачання продуктів із сільської місцевості та надавав допомогу тим, хто її вкрай потребував. Завдяки цьому викладачі та студенти КПІ, їхні сім'ї змогли пережити ті страшні незгоди.

Незважаючи на неймовірні складнощі того часу, справу свого життя – зведення мостів – Євген Оскарівч не припиняв. У 1920 р. він очолив проектування та будівництво на місці зруйнованого поляками Миколаївського ланцюгового мосту – підвісного балочного мосту імені Євгенії Бош, який був відкритий 10 травня 1925 р.

У вересні 1921 р. з нагоди 25-річчя викладацької діяльності Євгена Патона Рада Механічного факультету КПІ організувала мостову дослідну станцію, названу його ім'ям. Станція призначалася для навчально-методичної роботи та давала студентам можливість брати участь у випробуванні мостів на практиці.

На загал, спільно зі студентами та науковцями КПІ, підтверджуючи свій девіз «Наука – Виробництво – Кадри», Євген Оскарівч Патон створив понад 35 проектів мостів, більшість з яких були втілені в життя.

У 1928 р. Євген Оскарівч різко змінив напрям своєї роботи. Він дійшов висновку, що в проектуванні мостів досягнуто великих успіхів, але процес їх виготовлення надто трудомісткий, і для його спрощення він запропонував використання методу електрозварювання. Ця галузь тільки починала розвиватись на основі ідеї дугового електрозварювання Миколи Бенардоса. Але в баченні Патона вона мала стати принципово міжdisciplinaryною, ґрунтуючись на фізиці, математиці, механіці, металургії, електротехніці, науці про матеріали. Нова справа стала предметом особливого захоплення Євгена Оскарівча.

У 1929 р. Київський політехнічний інститут висунув свого професора для обрання членом Всеукраїнської академії наук. Першою важливою справою академіка Євгена Патона стало започаткування секції матеріалознавства в системі Академії наук. Очоливши цю секцію, він впродовж декількох років сформував напрям матеріалознавства як стратегічний для української науки.

Завжди зберігаючи вірність мостобудуванню, Євген Оскарівч повністю віддав справі становлення наукової школи зварювання. Для нової галузі була необхідною підготовка відповідних інженерних кадрів. Тому у 1935 р., вже як директор Інституту електрозварювання Всеукраїнської академії наук, Євген Патон організував на механічному факультеті КПІ кафедру зварювального вироб-

ництва та став її першим завідувачем. Провідні викладачі цієї кафедри, як і він сам, одночасно працювали науковими співробітниками Інституту електрозварювання. Заснована Євгеном Оскарівчем наукова школа «Фізико-хімічні і термодформаційні основи зварювання та споріднених процесів» і сьогодні є провідною науковою школою кафедри зварювального виробництва КПІ.

Наступною справою Євгена Патона було створення у 1948 р. зварювального факультету КПІ як унікальної школи підготовки інженерів, що базувалася на загальнонауковому фундаменті математики, механіки, фізики, металургії, матеріалознавства і електротехніки.

За 72 роки зварювальний факультет КПІ став справжнім центром підготовки та перепідготовки висококваліфікованих інженерів-зварювальників. З його лав вийшло понад 6500 інженерів, 55 випускників факультету стали докторами наук, 160 – кандидатами наук, 7 – академіками Національної академії наук України.

На шану Євгена Оскарівча Патона у 2002 р. йому був споруджений пам'ятник роботи скульптора Олександра Скоблікова з вибитими на підніжжі словами «З надією я дивлюся на нашу талановиту молодь». Ці слова Євгена Оскарівча виявилися пророчими. Нові покоління київських політехніків вважають за честь вчитися на прикладі життєвого та трудового подвигу Патонів і ставати продовжувачами їх великих справ.



Академік Б.С. Патон біля пам'ятника Є.О. Патону в НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Автор-скульптор О.П. Скобліков, 2002 р.

Повноту образу академіка Є.О. Патона можна скласти, лише розглядаючи його діяльність у комплексі як ученого, інженера-практика, педагога, державного та громадського діяча, наголосив у своїй доповіді «Суспільне значення творчої спадщини академіка Євгена Оскарівича Патона» академік *О.С. Онищенко*.

Наукові відкриття, технічні та технологічні винаходи стають суспільною силою, коли знаходять широке застосування, вносять зміни у виробництво, побут, способи праці. Електрозварювання служить яскравим прикладом цього. Безперервні ініціативи Євгена Оскарівича привели до того, що електрозварювання швидко стало та досі залишається загальноприйнятним робочим процесом на всіх ділянках народного господарства, а професія зварника – масовою та престижною.

Велике суспільне значення мала діяльність Євгена Оскарівича, спрямована на утвердження в науці гідного статусу інженера та інженерної справи. На власному досвіді, зокрема, на прикладі мостобудування та електрозварювання, Є.О. Патон довів, що технічні науки являють собою міждисциплінарні комплекси, де дослідження і впровадження їх результатів зливаються в єдине ціле.

Центральне місце в педагогіці життя академіка займав культ праці. Працю він вважав основою життя. «Праця, – говорив він, – завжди була найголовнішим у моєму житті». Тверде місце в трудовій етиці академіка Є.О. Патона займали оптимізм, упевненість у досягненні науково поставленої мети, долання невіри, сумнівів, розчарувань і категоричне неприйняття поразницьких настроїв. Він справедливо вважав, що наукова думка, помножена на експеримент і волю дослідника, обов'язково знайде вдале рішення нової проблеми.

Інтелектуальний авторитет, талант організатора науки і трудова етика академіка Є.О. Патона породили конкурентні на світовому рівні науково-дослідний інститут, великі наукові школи мостобудівників і електрозварників, когорта видатних учених, інженерів, конструкторів, успішних керівників промислових підприємств і галузей, гігантських новобудов. Як приклад можна назвати Івана Гавриловича Александрова – учня Євгена Оскарівича, який став автором проекту Дніпрогесу, проекту генеральної схеми електрифікації нинішніх країн Центральної Азії, одним з творців Арало-Байкало-Амурської магістралі.

Масштаб особистості академіка Є.О. Патона, ідеї та технології якого революціонізували технічну сферу країни, сам по собі мав суспільне значення. Але Євгену Оскарівичу доводилося і брати безпосередню участь у розв'язанні державних проблем як депутату Верховної Ради СРСР, депутату Київської міської ради, державному раднику та члену машинобудівної ради при РНК СРСР, члену Президії, голові Відділу технічних наук і віце-президенту АН УРСР. А ще на початку трудової діяльності (1905 р.) він був членом Мостової комісії при інженерній раді тодішнього Міністерства шляхів сполучення.

Після закінчення війни Є.О. Патон очолював низку академічних комісій і комітетів, діяльність яких мала широке суспільне значення. Це, насамперед, Комісія по відновленню народного господарства, промисловості та культосвітніх закладів. Є.О. Патон об'єднував зусилля всіх установ АН УРСР для подолання наслідків війни. Головна увага зверталася на допомогу відбудові і розбудові флагманів індустрії в регіонах Великого Дніпра і Великого Донбасу.

Не можна забути і відповідальну діяльність під керівництвом Є.О. Патона Комісії АН УРСР з питань повернення вивезених німецько-фашист-





Президія зборів, зліва направо: Л.М. Лобанов, А.Г. Наумовець, Б.Є. Патон, М.З. Згуровський, О.С. Онищенко, С.І. Кучук-Яценко

ськими окупантами українських цінностей. Євген Оскарович домігся, щоб у Німеччині постійно працювало представництво Академії, на перевалочних базах у Бресті та Ковелі були її постійні уповноважені. Завдяки його прямим виходам на союзних міністрів, АН УРСР отримала право розшукувати у всіх чотирьох зонах окупації Німеччини наше майно, замовляти в порядку репарації наукове обладнання і відправляти все це прямо в Київ. Було повернуто ботанічні гербарії, значну частину бібліотечних, архівних, музейних фондів, лабораторного обладнання.

Академік Є.О. Патон був справжнім дипломатом від науки. Не раз йому доводилося зустрічати спротив консервативних кіл. Але йому вдавалося переконати високопосадовців і керівників промпідприємств у перевагах пропонованих ним технологій. І неодноразово приймалися урядові рішення, спрямовані на впровадження патонівських науково-технічних здобутків. Показовою може бути постанова Ради Міністрів СРСР від 27 березня 1952 р. про заходи щодо впровадження в народне господарство нових способів електрозварювання.

Він послідовно проводив політику керівництва Академії на розширення її науково-технічного сектору як найбільш затребуваного народним господарством. Не тільки в Києві, а й у Харкові, Донецьку, Дніпрі, Львові, Одесі зміцнювалися існуючі та відкривалися нові наукові установи. З їх об'єднання виникли пізніше відомі нам сьогодні регіональні наукові центри, формувалася українська національна наукова система. Це був і шлях становлення АН як головної наукової організації України і одного з провідних міжнародних наукових центрів. У всіх цих трансформаціях Академії Є.О. Патон був реальною рушійною силою.

Громадська діяльність – такий же вагомий складник багатогранного образу академіка Є.О. Патона як і наукова, педагогічна та державна робота. Він був уключений у різноманітні громадські організації – товариства, спілки, комісії, комітети. Першою знаковою серед них був Ко-

мітет електрозварювання – об'єднання науковців, викладачів, представників промислових і будівельних організацій з метою поширення знань і досвіду в галузі електрозварювання. Він його організував і очолював. Так само з його ініціативи виникло та діяло під його керівництвом у Києві Науково-інженерне товариство працівників зварювальної справи. Він був і членом президії такого ж Всесоюзного товариства.

Республіканська Рада науково-технічної пропаганди та її наступник республіканське Товариство для поширення політичних і наукових знань створювалися та розгортали діяльність за його активної участі.

Академік Є.О. Патон – зіркова постать історії науки. Він утвердив епоху електрозварювання в способах виробництва, наповнив її науковими технологіями та високопродуктивним устаткуванням. Створював прообрази техніки майбутнього – механізми-автомати, які переросли в роботів. Відкрив, що методи з'єднання матеріалів і матеріали для з'єднання невичерпні. Показав, що шлях цивілізації не в постіндустріалізації, а в суперіндустріалізації. На особистому прикладі довів, що творчості всі вікові категорії людей підвладні. Дав переконливі докази, що в критичні часи рятівною силою є наука.

З доповіддю «Життєвий та творчий шлях видатного вченого Є.О. Патона» виступив академік-секретар Відділення фізико-технічних проблем матеріалознавства академік НАН України **Л.М. Лобанов**.

Спогадами про особисті зустрічі з Є.О. Патонем та стиль його роботи та керівництва поділився перший заступник директора ІЕЗ академік **С.І. Кучук-Яценко**.

По закінченню зборів до присутніх звернувся **Борис Євгенович Патон**. Він подякував за участь у зборах з нагоди дня народження його батька – академіка Євгена Оскаровича Патона. Борис Євгенович побажав усім здоров'я, успіхів та наголосив, що чесне служіння науці це величезна радість, величезна, часом виснажлива, праця, праця на все життя!

О.К. Маковецька, О.Т. Зельніченко

По закордонним журналам

Реферати статей з журналу
«Welding in the World», №2, 2020 р.*

Ультразвукове з'єднання керамікою, міддю та алюмінієвим сплавом з використанням припою типу Sn–Zn–Sb. *Yongchao Wu, Hong Li, Wenqing Qu, Jie Zhang, Hongshou Zhuang*, pp. 247–256.

Керамічно-металеві композитні компоненти, виготовлені технологією пайки, мають широке застосування в промисловості завдяки своїм чудовим властивостям. Було досліджено паяння кераміки (Al_2O_3) з керамікою, міддю та алюмінієвим сплавом 5056 відповідно, використовуючи припой нового типу Sn–Zn–Sb при температурі 250 °C на повітрі за допомогою ультразвуку. Проаналізовано мікроструктуру припоїв Sn–9Zn–xSb з різним вмістом Sb. Вивчено вплив вмісту Sb на міцність з'єднання «кераміка–кераміка». Вивчали мікроструктуру межі інтерфейсів припою кераміки та механізм з'єднання. Значно нова інтерметалічна фаза (Zn_4Sb_3) виявлена в мікроструктурі припою, а вміст фаз Zn_4Sb_3 та β -Sn збільшується зі змістом елемента Sb. Під час процесу пайки припою (Sn–Zn–Sb) складався з рідкого сплаву Sn–Zn і твердої металевої фази ZnSb, а вирішальним фактором у досягненні надійних паяльних зв'язків кераміки було визнано квазіплавлення припою. На межі кераміки/припою не було реакційного шару, і пайка заповнювала канавки на керамічній поверхні для утворення міцного механічного з'єднання, що призводить до підвищення міцності. На межі кераміка/пайка траплялися переломи, і частинки Zn_4Sb_3 були знайдені в керамічній стороні.

Мікроструктура та механічні властивості з'єднань нержавіючої сталі та титанового сплаву при лазерному зварюванні та паянні з використанням сплаву 63Sn–37Pb в якості металевого наповнювача. *Yan Zhang, YanKun Chen, JianPing Zhou, DaQian Sun, HongMei Li*, pp. 257–266.

Лазерне зварювання та паяння сплаву титану TC4 (Ti) до нержавіючої сталі 304 (SS) було проведено із застосуванням сплаву 63Sn–37Pb в якості металевих наповнювачів. На основі керування утворенням інтерметалідів Ti–Fe в зоні з'єднання був запропонований новий спосіб зварювання з'єднань SS–Ti. Одним із способів було зварювання в одному проході, що передбачає створення з'єднання з одним плавким зварним швом чи одним паяним. Коли лазерний промінь на стороні SS становив 1,4 мм, SS не було повністю розплавлено в зоні з'єднання. Через теплопровідність неоплавленого SS металевий наповнювач розплавився і заповнив простір в зоні з'єднання SS–Ti. Паяний шар утворювався на межі сплаву SS–Ti з основною мікроструктурою $Fe_3Sn + Fe_3Sn_2$, (β Sn, Pb),

(β Sn) + Sn_2Fe і (β Sn) + Sn_3Ti_2 . При випробуванні з'єднання зламалося на паяному шві з максимальною міцністю на розрив 108 МПа.

Дифузія водню в стійкому до повзучості багатошаровому зварному металі P91 (9%Cr). *Michael Rhode, Tim Richter, Peter Mayr, Alexander Nitsche, Tobias Mente, Thomas Böllinghaus*, pp. 267–281.

Зварені компоненти сталі P91 з 9% Cr потребують ретельного зварювання з необхідною термообробкою після зварювання. Перед PWHT необхідна термічна обробка для видалення водню, щоб уникнути розтріскування, пов'язаного з воднем (HAC). У цьому контексті важлива мікроструктура та температурно-залежна дифузія водню, а надійні коефіцієнти дифузії металу шва P91 є рідкісними. З цієї причини дифузійну поведінку багатошарового металу зварного шару P91 досліджували на стан зварювання (AW) та PWHT шляхом експериментів електрохімічного проникнення при кімнатній температурі та гарячому відведенні носія газу (CGHE) при температурі від 100 до 400 °C. Розраховували коефіцієнти дифузії водню та вимірювали відповідну концентрацію водню. Було встановлено, що обидві умови термічної обробки показують значні відмінності. При кімнатній температурі стан AW показав значне захоплення водню, виражене в сім разів меншими коефіцієнтами дифузії. Переважний напрямок дифузії було знайдено в перпендикулярному напрямку, вираженому високою проникністю. Експерименти CGHE виявили менші коефіцієнти дифузії для умови AW до 400 °C. У зв'язку з цим, водень з концентрацією приблизно 21 мл/100 г залишався ще захопленим при 100 °C. З цієї причини не може бути включена певна схильність зварного металу шва P91 до HAC і слід проводити видалення водню перед PWHT.

Шов багатопрхідного дугового зварювання супердуплексної нержавіючої сталі. *Vahid A Hosseini, Kjell Hurtig, Leif Karlsson*, pp. 283–299.

Дане дослідження має на меті дослідити геометрію металевих швів та еволюцію мікроструктури його під впливом термічних циклів при багатопрхідному захищеному дуговому зварюванні (MIG) супердуплексної нержавіючої сталі товщиною 13 мм. Шов складався з чотирьох проходів, вироблених з енергією дуги 0,81...1,06 кДж/мм. Верхній валик виявив мінімальну частку основного металу (BM), ніж перший валик. Теплові цикли фіксувались термопарами, що свідчить про зменшення швидкості охолодження в зоні зварного шва при додаванні нового наплавленого шару. Феритова частка в структурі шва в умовах зварювання була нижчою для верхніх валиків. Морфологія зерна аустеніту в прогрітих проходах змінювалася залежно від локальних пікових температур та

кількості проходів (повторних нагрівів). Сигма-фаза виділяється в дільницях металу, повторно нагрітому третім та четвертим проходимами, який піддавався критичній піковій температурі для виділення σ -фази. Вміст фериту, виміряний за допомогою аналізу зображень та методики Fisher FERITSCOPE, показав, що феритова частка рухається у напрямку 50/50% у металі зварного шва зі збільшенням кількості циклів повторного нагрівання. Нарешті, було представлено схематичну карту, що показує огляд мікроструктури в багатопрхідному шві.

Вплив оптичної методики вимірювання та підходу оцінювання на визначення локальних параметрів геометрії зварювання для різних типів зварних швів. *Jan Schubnell, Matthias Jung, Chanh Hieu Le, Majid Farajian, Moritz Braun, Sören Ehlers, Wolfgang Fricke, Martin Garcia, Alain Nussbaumer, Jörg Baumgartner*, pp. 301–316.

З'єднання за допомогою зварювальних процесів деталей зазвичай пов'язане із створенням додаткових виїмок та геометричних особливостей. Багаторазові дослідження показали, що існує чітка кореляція між локальною геометрією зварювання та терміном втомлення зварних з'єднань. Тим самим локальне збільшення локального напруження може виражатися коефіцієнтом концентрації напруги при переході від основного матеріалу до матеріалу наповнювача, так званому посиленню. Коефіцієнт концентрації напруги можна визначити для більшості типів зварних швів, якщо відомі геометричні параметри, такі як товщина пластини зварного шва і радіус кута. Однак стандартизованого методу визначення цих параметрів не існує. Окрім відомих 2D-методів вимірювання на поперечних перерізах з аналізом відбитків зварних швів, в останні роки для геометричного аналізу зварних з'єднань були застосовані нові 3D-методи, засновані на безконтактному оптичному вимірюванні. За допомогою цих методів велика довжина зварних швів може бути проаналізована за дуже короткий час і з малим зусиллям. Однак вплив вимірювальної системи (геометрична точність, бічна роздільна здатність) ще не був кількісно визначений. Крім того, у всіх відомих випадках застосування були використані різні алгоритми оцінювання. Це не дозволяє просте порівняння досліджуваних параметрів та результатів. У цьому круглому дослідженні робочого типу порівнюють визначення радіусів посилень зварних валиків і кутів з бічних сторін підсилень різними алгоритмами оцінювання та системами 3D-вимірювання та різними інститутами. Крім того, було реалізовано підхід для безпосереднього визначення коефіцієнтів концентрації напруги зварних швів шляхом перекладу складної форми зварного шва в 2D-кінцеве моделювання елемента. Результати цього прямого підходу порівнюються з коефіцієнтами концентрації напруги, визначеними опосередковано

з використанням геометричних параметрів, та тими, які розраховуються за встановленими формулами наближення.

Нова технологія проєкційного зварювання для з'єднання сталєво-алюмінієвих гібридних компонентів – частина 1: Технологія та її потенціал для промислового використання. *Anastasiia Zvorykina, Oleksii Sherepenko, Sven Jüttner*, pp. 317–326.

Мультиматеріальна конструкція пропонує економічно вигідні легкі рішення для автомобільних виробництв. Сталі надміцної міцності залишаються невід'ємною частиною легкої конструкції і все частіше застосовуються в поєднанні з компонентами, виготовленими з алюмінієвих сплавів, у конструкціях кузова. Для цих застосувань загальноживані процеси з'єднання (клепки, затискання, зварювання опором, тощо) досягли своїх технологічних меж і тому необхідний подальший технологічний розвиток. У цьому дослідженні описана нова технологія з'єднання, що базується на способі зварювання опором для з'єднання вуглецевої сталі з високою міцністю 22MnB5 (AS150) з алюмінієвими листами зі сплаву AW 6016. Технологія складається з двоступеневого процесу точкового зварювання з додатковим простим рентабельним з'єднанням елементів. Його реалізація дозволяє з'єднувати алюміній і сталь на надзвичайно коротких ділянках (10 мм), використовуючи короточасне проєкційне зварювання з високою енергетичною концентрацією. З'єднувальні елементи – циліндри, виготовлені з дротів на основі Cu і Fe діаметром 1,6 мм і довжиною 10 мм – були зварені за допомогою загального обладнання для точкового зварювання. Експериментальні результати показали, що всі випробувані матеріали для з'єднання різних сталє-алюмінієвих сполук можуть бути успішно використані, а діапазони струму зварювання достатньо для промислового застосування.

Вплив проникнення зварного шва на втомну міцність несучих хрестоподібних з'єднань. *Takeshi Hanji, Kazuo Tateishi, Yuko Ohashi, Masaru Shimizu*, pp. 327–334.

У цьому дослідженні було вивчено поведінку навантажувальних з'єднань з хрестоподібними елементами на втому при малоциклового перевантаженні, що містять неповне проникнення. П'ять типів зразків з різними розмірами проникнення зварних швів були випробувані на циклічних пластичних деформаціях. Під час випробувань на бічній поверхні зразка спостерігали тріщинність. Результати випробувань показали, що втомна міцність та розтріскування залежать від відношення проникнення зварного шва до основної товщини пластини та відношення довжини кореня зварного шва до товщини пластини п'ятьох типів відповідно. Потім були проведені аналізи кінцевих елементів, включаючи концепцію ефективної висічки. Результати вказують на те, що втомна міцність і розтріскування зразків можна співвіднести з ло-

кальним розподілом деформацій навколо ефективної виїмки.

Мікроструктурна характеристика зварної точки при подвійному імпульсному зварюванні опором високоміцної сталі (1200 МПа). *Manfred Stadler, Martin Gruber, Ronald Schnitzer, Christina Hofer*, pp. 335–343.

В автомобільній промисловості точкове зварювання опором є домінуючою технологією при з'єднанні листових металів із прогресивних високоміцних сталей. З метою поліпшення механічних характеристик зварних швів можливий підхід загартовування за допомогою другого імпульсу. У цій роботі було застосовано дві різні схеми зварювання з подвійним імпульсним зварюванням для сталі, спричиненої трансформацією 1200 МПа, що сприяє перетворенню пластичності (TRIP). Охарактеризували різні мікроструктури зварних швів за допомогою світлооптичної та скануючої електронної мікроскопії. Крім того, було проведено зіставлення твердості з кількома сотнями вимірювань. Показано, що другий імпульс після низького першого імпульсу, який є достатньо високим для отримання зварювального якісного шва, який відповідає критерію якості мінімального діаметра точкового зварного шва, призводить до часткової реуспенізації та, отже, до феритної / мартенситної мікроструктури після остаточного гасіння. Зображення твердості показало, що цей внутрішній ФЗ важче, ніж навколишній ФЗ, який складається із загартованого мартенситу. На відміну від цього, якщо для першого імпульсу обраний найвищий струм без бризок, той самий другий імпульс не реагує на ФЗ, а лише гартує мартенсит.

Експериментальний аналіз впливу швидкості потоку та типу газу на різання дуги плазмою hardox-400. *Deepak Kumar Naik, Kalipada Maity*, pp. 345–352.

Цей дослідний документ демонструє експериментальне дослідження різання дуги плазмою hardox-400 з використанням різних типів плазмових газів. Природа та поведінка плазмової дуги були вивчені, та описані вплив плазмового газу на заготовлю. Експерименти проводилися на 10-мм hardox-400 за допомогою плазморізальної машини з ЧПУ. Вибраний матеріал заготовки має дуже хороші механічні властивості, такі як висока в'язкість, хороша гнучкість і хороша зварюваність. Ця спеціальна стійкість до стирання використовується в частині виготовлення фронтальних навантажувачів, ковшів, барж та різного гірничого обладнання. Для цього експерименту було обрано чотири різні плазмові гази, тобто повітря, аргон, кисень та азот. Термофізичні властивості плазмових газів, властивості генерованої дуги, продуктивність різання та енергетичний баланс пояснюються для різних використовуваних плазмових газів. Виміряли форму і швидкість видалення матеріалу (MRR) завдяки створеній дузі та проаналізували ефект. У цій роботі роз'яснюється потенціал про-

цесу різання шляхом зміни швидкості потоку та хімічного складу плазмового газу.

Числове моделювання динамічної поведінки у процесі передачі короткого замикання. *Satoshi Eda, Yosuke Ogino, Satoru Asai*, pp. 353–364.

Існує великий попит на підвищення ефективності та якості зварювання, особливо для зварювання металевими дугами у захисних газах, яке має широке промислове застосування. Більше того, незалежний контроль введення тепла та швидкості плавлення також важливий для деяких застосувань, таких як зварювання різного матеріалу та адитивному виробництві «дротяної» дуги, що потребує низького введення тепла, незважаючи на більш високу швидкість плавлення, що керований процес передачі короткого замикання буде якісним та високопродуктивним процесом. У цьому процесі передача короткого замикання стабільно та періодично повторюється, щоб забезпечити низький вхід тепла та високу швидкість плавлення, а в певній мірі було досягнуто незалежне регулювання введення тепла та швидкості плавлення. Однак коефіцієнти контролю над подачею тепла та швидкістю осадження в цьому процесі недостатньо чіткі через відсутність досліджень для цього процесу. У цьому дослідженні ми дослідили явища зварювання керованого процесу передачі короткого замикання, розробивши єдину модель дуги-електрода. У цій моделі був проведений процес передачі короткого замикання, включаючи згасання та відновлення плазми дуги, і спостерігалось динамічна поведінка дуги та розплавленого металу. Отримані результати добре узгоджувались з експериментальними вимірюваннями. Крім того, ми також визначили коефіцієнти управління подачею тепла до електродів.

Вплив активного нагрівання та охолодження на мікроструктуру та механічні властивості з'єднань алюмінієвого сплаву з титаном, виконаних зварюванням тертям з перемішуванням. *Prins Patel, Harikrishnasinh Rana, Vishvesh Badheka, Vivek Patel, Wenya Li*, pp. 365–378.

Стик сплава AA6061 з чистим Ті був зварен за допомогою фрикційного зварювання (FSW) з допоміжними умовами охолодження та нагрівання, спрямована на досягнення бездоганного з'єднання. Охолодження при фрикційному зварюванні з перемішуванням (CFSW) здійснювалося з різним охолоджуючим середовищем, таким як CO₂, стиснене повітря та вода з регульованою витратою. Однак нагрівання за допомогою нагрівання при фрикційному зварюванні (HFSW) проводили з джерелом нагріву факела GTAW безпосередньо перед інструментом при різній щільності струму. Підготовлені зразки піддавали оптичній мікроскопії, скануючій електронній мікроскопії та електророзрядній спектроскопії для мікроструктурних характеристик. На міцність на розрив та мікротвердість суттєво впливали різні умови охолодження та нагрівання,

що пояснюється чіткою часткою інтерметалічних сполук (ІМК), що виявляються в мікроструктурі. Зразки, підготовлені з умовами охолодження, мали чудові властивості зразка порівняно з нормальними та нагрівальними умовами.

Еволюція мікроструктури металу шва типу 2.25Cr-1Mo-0.25V при дуговому зварюванні під флюсом. *Hanna Schönmaier, Fred Grimm, Ronny Krein*, pp. 379–393.

Теплостійкий модифікований ванадієм метал шва типу 2.25Cr-1Mo-0.25V зазвичай використовується в нафтохімічній промисловості для товстостінних посудин високого тиску з високотемпературним водневим середовищем. Для підвищення ефективності реактора зварні шви повинні витримати ще більш високі температури та тиск. Голчастий ферит (ГФ) часто розглядають як оптимальну мікроструктуру завдяки гарному поєднанню міцності та в'язкості. Оскільки мало літератури про еволюцію мікроструктури та кінцевих складових мікроструктури зварного металу 2.25Cr-1Mo-0.25V, нинішній документ має намір забезпечити вичерпну інформацію за допомогою мікроскопії, кристалографічного дослідження шляхом дифракції розсіяних зворотних електронів та спостереження *in situ* перетворення аустеніту в феритну фазу за допомогою високотемпературної лазерної скануючої конфокальної мікроскопії (HT-LSCM). Досліджений метал зварного шва виявляє високу щільність складних алюмінієво-кремній-марганцевих оксидів із сферичною формою та великі зерна первинного аустеніту, що в поєднанні сприятливо для внутрішньозернистого зародження ГФ. Тим не менш, обстеження кінцевої мікроструктури після перетворення було недостатнім для однозначного твердження про наявність ГФ в металі зварного шва 2.25Cr-1Mo-0.25V. За допомогою *in-situ* HT-LSCM спостереження за фазовим перетворенням було виявлено внутрішньозернене зародження ГФ на неметалічних включеннях в межах аустенітних зерен, що підтверджує, що навіть якщо мікроструктура зварного металу 2,25Cr-1Mo-0,25V в основному є бейнітною, в ній також присутня мала кількість ГФ.

Управління мікроструктурою при адитивному виробництві «дротяною дугою» з компонентів на основі міді. *Justin Baby, Murugaiyan Amirthalingam*, pp. 395–405.

«Дротяну дугу» привабливо застосувати для отримання унікальних, складних і великих розмірів компонентів. Однак багатопрхідні теплові цикли

осадження при процесі WAAM часто породжують стовпчасті зернові структури в мікроструктурах компонентів. Ці компоненти проявляють анізотропні механічні властивості, що робить їх непридатними для основних технологічних застосувань. У цій роботі були вивчені характеристики перенесення металів у методі WAAM на основі дуги з захисним газом (MAG) та його вплив на еволюцію мікроструктури, щоб запропонувати оптимальну техніку осадження для отримання зрівняних зерен, що містять мікроструктури. Результати показали, що мікроструктура осадження звичайного імпульсного режиму містила довгі і стовпчасті зерна, тоді як осадження з коротким замиканням виробляли випадковим чином орієнтовані рівнодолні зерна. Для дослідження та оптимізації характеристик передачі металу було використано високошвидкісне фотографування камери. Для підтвердження ізотропного характеру відкладів було проведено детальний мікроскопічний аналіз та випробування на розтяг.

Уникнення кінцевих недосконалостей кратера при високопотужному зварюванні лазерним променем закритих окружних зварних швів. *Sergej Gook, Ömer Üstündağ, Andrey Gumenyuk, Michael Rethmeier*, pp. 407–417.

У цій роботі йдеться про розробку стратегії запобігання кінцевих дефектів кратерів при потужному лазерному зварюванні товстостінних окружних зварних швів. Була проведена серія експериментів, щоб зрозуміти вплив параметрів зварювання на утворення дефектів кінцевих кратерів, таких як пори, тріщини, надлишковий корінь металу і порожнини усадки в області перекриття. Різке відключення живлення лазера при закритті окружного зварного шва призводить до утворення отвору, який проходить через всю товщину зварного матеріалу. Лазерне нарощування потужності викликає тріщини затвердіння, які ініціюються при переході від режиму повного проникнення до часткового проникнення. Розфокусування лазерного променя призвело до перспективних результатів в частині уникнення кінцевих дефектів кратера. Тріщини і пори в області перекриття можна ефективно уникнути, використовуючи методи розфокусування. Стратегія уникнення недоліків кінцевих кратерів була випробувана на плоских зразках сталі марки S355 J2 товщиною стінки від 8 до 10 мм, а потім перенесена на трубопровідні секції товщиною 10 мм, виготовлені з високоміцної трубопровідної сталі API5L-X100Q.



**ЖУРНАЛИ
для професіоналів**

(380-44) 200-8277

journal@paton.kiev.ua

www.patonpublishinghouse.com

TransTig 170/210: розширений набір можливостей TIG та MMA з мінімізацією витрат

Зварювання вольфрамовим електродом у середовищі інертного газу (TIG). Жоден інший метод не забезпечує такої чистоти та якості зварного шва. Щоб максимально спростити процес зварювання TIG, компанія Fronius створила TransTig 170/210. Ця компактна система для зварювання TIG у ручному режимі вирізняється широким функціоналом для забезпечення ідеальних результатів зварювання.

Зварювання TIG застосовується в багатьох випадках: для з'єднання компонентів із будь-якого металу, роботи з тонкими листами, зварювання у незручному положенні та виконання кореневих проходів. При цьому можна використовувати присадний матеріал або обійтися без нього. Указаний метод зварювання чудово підходить для промислових потреб, зокрема, використовується під час виготовлення, обслуговування, монтажу і ремонту заводського обладнання, трубопроводів і різноманітних резервуарів. Таке устаткування виробляється переважно з нержавіючої сталі та алюмінію, тож якість зварних швів дуже важлива. Крім того, компактну і надійну систему TransTig зручно брати з собою на об'єкти та застосовувати для виконання найрізноманітніших завдань.

Нове покоління пристроїв для зварювання TIG постійним струмом від компанії Fronius вирізняється компактною конструкцією та широким спектром можливостей. Незважаючи на мобільні розміри і невелику вагу (лише 10 кг), нові моделі TransTig 170 і TransTig 210 не поступаються функціоналом професійним пристроям стандартного розміру. Розробники добилися максимально ефективного використання вхідної напруги, що зумовлює ощадливе енергоспоживання, а також надзвичайну надійність і продуктивність систем TransTig. Робочий цикл компактних пристроїв для зварювання TIG становить 40 %, а безперервна робота за максимальної вихідної потужності триває куди довше, ніж у інших моделей – цілих 4 хв.

Крім того, компенсація реактивного струму (PFC) системи TransTig забезпечує високий рівень допуску на напругу в мережі. Навіть за зниження вхідної напруги на 30 % пристрої працюватимуть із максимальною потужністю. Таким чином, функція PFC передбачає максимально ефективне використання доступного мережевого струму. Регулятором Fuse



Функції системи TransTig стануть у пригоді під час виконання різноманітних завдань



Такі додаткові можливості, як функція сенсорного високочастотного підпалювання і компактний зварювальний пальник (додаткова комплектація), спрощують зварювання компонентів у незручному розташуванні



Простий і зрозумілий принцип роботи TransTig покращує ефективність зварювання



Окремі функції систем TransTig 170 і TransTig 210, зокрема Anti-Stick, HotStart, зниження струму та імпульсне зварювання, забезпечують чудовий результат під час зварювання електродом

в ручному режимі від Fronius захищені від бризок води і підходять для роботи в складних умовах на будівельних майданчиках чи під час монтажу обладнання. З метою заощадження енергії системи TransTig через заданий проміжок часу автоматично переходять у режим очікування.

Fronius International — австрійська компанія з головним офісом в місті Петтенбах і відділеннями в містах Вельс, Тальхайм, Штайнхаус і Замтледт. Компанія, штат якої налічує 4760 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 30 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 1253 чинними патентами, що робить її світовим лідером інновацій.

зварювальник адаптує максимальний рівень отриманого з мережі струму до конкретних умов роботи – наприклад, під час зварювання на будівельних майданчиках, де ввімкнено велику кількість пристроїв. Це також уможливило зварювання за використання довгих мережевих кабелів та недостатньо надійних плавких запобіжників або під час роботи генератора.

За результатом зварювання компактні системи TransTig аж ніяк не поступаються пристроям стандартного розміру. Вони пропонують універсальний режим зварювання MMA, що включає режим CEL і різноманітні функції для зварювання TIG. Завдяки функції точкового зварювання (TAC) процес прихоплення компонентів став простішим і вдвічі швидшим за стандартний. Додаткова функція наростання і спадання дає змогу знизити струм для заміни зварювального прутка або зварювання в точках прихоплення. Силу струму можна зменшувати або навіть збільшувати відносно показника мережевого струму. Період продувки газу задається вручну або автоматично з огляду на рівень використовуваного зварювального струму. Сенсорна функція високочастотного підпалювання спрощує початковий етап зварювання: підпалювання високочастотної дуги відбувається через заданий час після виявлення контакту з деталлю та в точно визначеному місці. Це дає можливість використовувати пальники без кнопок та спрощує завдання, якщо інтерфейс установки залишився поза зоною досяжності.

Особливою системою TransTig роблять не тільки новітні технології. У неї простий та зрозумілий принцип роботи, зручні кнопки й перемикачі, яскравий дисплей з LED підсвіткою. Незважаючи на невелику вагу, корпус дуже міцний і, як довели випробування, витримує навіть більше механічних навантажень, ніж передбачено стандартом. Крім того, системи для зварювання