

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Вчені ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАНУ, м. Київ:

С.В. Ахонін (головний редактор),

В.О. Березос, Ю.В. Костецький, В.А. Костін,

І.В. Кривцун, Л.Б. Медовар, Г.П. Стівченко,

А.І. Устїнов, В.О. Шаповалов;

М.М. Гасик, Аалто Університет, Еспоо, Фінляндія,

М.І. Гречанюк, Інститут проблем

матеріалознавства НАНУ, м. Київ,

М. Зініград, Аріельський університет,

Центр матеріалознавства, Ізраїль,

О.М. Івасішин, Інститут металофізики

ім. Г.В. Курдюмова НАНУ, м. Київ,

Ю.Г. Квасницька, ФТМС НАНУ, м. Київ,

П.І. Лобода,

НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ,

О.В. Овчинников, ЗНТУ, м. Запоріжжя

Виконавчий директор — О.Т. Зельніченко,

Міжнародна Асоціація «Зварювання», м. Київ

Засновники

Національна академія наук України,

Інститут електрозварювання

ім. Є.О. Патона НАНУ,

Міжнародна Асоціація «Зварювання» (видавець)

Редакція

Д.М. Дяченко (відповід. секретар),

Л.М. Герасименко, Т.Ю. Снегірьова, А.А. Чайка

Адреса

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАНУ,

03150, Україна, Київ,

вул. Казимира Малевича, 11

Тел./факс: (38044) 205 23 90

E-mail: journal@paton.kiev.ua

<https://patonpublishinghouse.com/ukr/journals/sem>

Журнал входить до переліку затверджених
Міністерством освіти і науки України видань

для публікації праць здобувачів наукових ступенів
за спеціальностями 132, 133

Наказ МОН України № 409 від 17.03.2020

Рекомендовано до друку

редакційною колегією журналу

Свідцтво про державну реєстрацію

КВ № 24212-14052 ПР від 03.12.2019

ISSN 2415-8445

DOI: <https://doi.org/10.15407/sem>

Передплата 2024

Передплатний індекс 70693

4 випуски на рік (видається щоквартально)

Друкована версія: 1200 грн. за річний комплект

з урахуванням доставки

рекомендованою бандероллю.

Електронна версія: 1200 грн. за річний комплект.

ЗМІСТ*

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона — сьогоднішня
та погляд у майбутнє 3

ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВІ ПРОЦЕСИ

*Овчинников О.В., Ахонін С.В., Березос В.О., Северин А.Ю.,
Галенкова О.Б., Шевченко В.Г.* Отримання перспективних
сплавів на основі алюмінідів титану для сучасного
авіамоторобудування 9

ЕЛЕКТРОШЛАКОВА ТЕХНОЛОГІЯ

Протоковілов І.В., Бейнертс Т., Порохонько В.Б., Петров Д.А.
ЕШП титану у вакуумі 17

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Демчишин А.В., Демчишин А.А., Єгоров С.П. Структура
і механічні властивості товстих конденсатів міді, дисперсно-
зміцнених хромом, оксидом цирконію та їх сумішшю 24

ЕЛЕКТРОМЕТАЛУРГІЯ СТАЛІ ТА ФЕРОСПЛАВІВ

*Богаченко О.Г., Черняков А.В., Гончаров І.О., Кійко С.Г.,
Логозинський І.М., Левін Б.А., Федьков А.Г., Горбань К.М.*
Застосування графітованих гнотових електродів на 50-тонній
дуговій сталеплавильній печі змінного струму типу ДСВ-50 32

ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ МЕТАЛУРГІЇ

Барабаш В.В., Біктагіров Ф.К. Застосування зовнішнього
впливу при виробництві сталевих зливків. Огляд 40

*Козін Р.В., Калинюк О.М., Кібкало А.М., Калинюк М.М.,
Пузрін О.Л.* Аналізування кремнію на вміст домішок кисню,
нітрогену і гідрогену 49

ІНФОРМАЦІЯ

Створення наукових основ металургії зварювання 57

*Статті з журналу «Сучасна електрометалургія» вибірково перекладаються
на англійську мову та публікуються в «The Paton Welding Journal»:
<https://patonpublishinghouse.com/eng/journals/tpwj>

EDITORIAL BOARD

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

S.V. Akhonin (Editor in Chief),

V.O. Berezos, Yu. V. Kostetskyi, V.A. Kostin, I.I. Krivtsun, L.B. Medovar, G.P. Stovpchenko,

A.I. Ustinov, V.O. Shapovalov;

M.M. Gasik, Aalto University, Espoo, Finland,

M.I. Grechanyuk, Institut for Problems of Material Science of NASU, Kyiv,

M. Zinigrad, Ariel University,

Materials Science Centre, Israel,

O.M. Ivasishyn, G.V. Kurdyumov Institute

for Metal Physics of NASU, Kyiv,

Yu.H. Kvasnytska, Physico-Technological

Institute of Metals and Alloys, Kyiv,

P.I. Loboda, NTUU «Igor Sykorsky

Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv,

O.V. Ovchynnikov, Zaporozhye National Technical University, Ukraine

Executive Director — O.T. Zelnichenko,
International Association «Welding», Kyiv, Ukraine

Founders

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

Editors

D.M. Diachenko (execut. secretary),
L.M. Gerasymenko, T.Yu. Snegiryeva, A.A. Chaika

Address

E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU,
03150, Ukraine, Kyiv,

11 Kasymyr Malevych Str.

Tel./Fax: (38044) 205 23 90

E-mail: journal@paton.kiev.ua

<https://patonpublishinghouse.com/eng/journals/sem>

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 132, 133

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 № 24212-14052PR dated 03.12.2019
ISSN 2415-8445

DOI: <https://doi.org/10.15407/sem>

Subscription 2024

Subscription index 70693

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

\$128, subscriptions for the printed (hard copy) version,
air postage and packaging included.

\$96, subscriptions for the electronic version
(sending issues of Journal in pdf format
or providing access to IP addresses).

CONTENTS*

The E.O. Paton Electric Welding Institute — the Present
and a Look Into the Future 3

ELECTRON BEAM PROCESSES

Ovchinnikov O.V., Akhonin S.V., Beresos V.O., Severin A.Yu., Galenkova O.B., Shevchenko V.G. Producing advanced alloys based on titanium aluminides for modern aircraft engine manufacturing 9

ELECTROSLAG TECHNOLOGY

Protokovilov I.V., Beinerts T., Porokhonko V.B., Petrov D.A. ESR of titanium in vacuum 17

MATERIALS SCIENCE

Demchyshyn A.V., Demchyshyn A.A., Egorov S.P. Structure and mechanical properties of thick copper condensates, dispersion-strengthened with chromium, zirconium oxide and their mixture 24

ELECTROMETALLURGY OF STEEL AND FERROALLOYS

Bogachenko O.G., Chernyakov A.V., Goncharov I.O., Kiiko S.G., Logozinskyi I.M., Levin B.A., Fedkov A.G., Gorban K.M. Application of graphitized cored electrodes in 50 ton steel melting AC arc furnace of DSV-50 type 32

GENERAL PROBLEMS OF METALLURGY

Barabash V.V., Biktahirov F.K. Application of external influence in the production of steel ingots. Overview 40

Kozin R.V., Kalinyuk O.M., Kibkalo A.M., Kalinyuk M.M., Puzrin O.L. Analyzing silicon for the content of oxygen, nitrogen and hydrogen impurities 49

INFORMATION

Establishing the scientific fundamentals of welding metallurgy 57

*Articles from «Electrometallurgy Today» are selectively translated into English and included in to the contents of «The Paton Welding Journal»:
<https://patonpublishinghouse.com/eng/journals/tpwj>

ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАННЯ ім. Є.О. ПАТОНА — СЬОГОДЕННЯ ТА ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ



У січні цього року відзначалась 90-та річниця заснування Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України.

Самовіддана праця багатьох поколінь патонівців, які вкладали в улюблену справу свої знання, енергію та досвід, стали запорукою того, що сьогодні Інститут електрозварювання імені Євге-

на Оскаровича Патона Національної академії наук України — це потужний науково-технічний комплекс, у структуру якого входять науково-дослідний Інститут, дослідне конструкторсько-технологічне бюро, дослідний завод, низка науково-інженерних, учбовий та атестаційний центри.

Основна тематика робіт Інституту електрозварювання — це дослідження зварювальних і споріднених процесів, розроблення відповідних технологій та створення обладнання для їх практичної реалізації.

Сьогодні сфера досліджень та розробок нашого Інституту охоплює майже всі існуючі способи зварювання: від добре відомих та широко використовуваних способів дугового та контактнo-стикового зварювання до високотехнологічних процесів зварювання із застосуванням електронного променя та лазерного випромінювання; від зварювання та різання під водою до зварювання в космосі; від зварювання та обробки металів вибухом до зварювання живих тканин у медицині. Але працівники Інституту не зупиняються і постійно розширюють сфери своєї діяльності.


На початок цього року Інститут налічує 996 працівників, у т.ч. 522 наукових співробітника, серед них 227 кандидатів і докторів наук.

ІЕЗ успішно співпрацює з науково-дослідними інститутами НАН України, які входять до складу різних відділень — фізико-технічних проблем матеріалознавства, механіки, фізики та астрономії, ядерної фізики і енергетики, хімії, а також з багатьма установами Національної академії медичних наук України. Маємо тісні контакти з закладами вищої освіти України, які готують спеціалістів в галузі зварювання і споріднених технологій.

Інститут електрозварювання має плідну співпрацю з великими промисловими підприємствами України, зокрема, ДП «Антонов», ДП «Конструкторське бюро «Південне» ім. М.К. Янгеля», ДП «Запорізьке машинобудівне конструкторське бюро «Прогрес» імені академіка О.Г.Івченка», ДП «НАЕК «Енергоатом», АТ «Укрзалізниця» тощо. Нашими партнерами є гіганти світового виробництва — Boeing, Airbus, Holland (USA), Plasser&Theurer (Austria), ProgressRailService (USA) та інші. Підтримуються широкі міжнародні зв'язки з провідними науковими центрами матеріалознавства і зварювання в США, Європі та Азії, довготривалі стосунки з низкою іноземних установ, які з року в рік зміцнюються через укладання та переукладання угод про виконання спільних проєктів. Серед партнерів — Інститут зварювання та з'єднань Університету м. Аахен (Німеччина), Французький національний центр наукових досліджень (CNRS), Центр полімерних та вуглецевих матеріалів Польської академії наук, м. Забже (Польща) і багато інших. Деякі науковці є дійсними членами AWS (Американського зварювального товариства), виступають експертами Міжнародного інституту зварювання, входять до складу програмного комітету Програми ЄС «Горизонт Європа».

В останні роки в рамках програм Європейського Союзу реалізована низка спільних дослідницьких проєктів, у т.ч. проєкти з питань нарощування наукового потенціалу, проєкти наукової мобільності в межах програми «Дії імені Марії Складовської-Кюрі». Окрім того, Інститут активно співпрацює з іноземними партнерами в рамках різноманітних білатеральних програм.

Особливо важлива співпраця з Міжнародним інститутом та Європейською федерацією зварювання, в яких Інститут є повноправним членом. Ці організації є провідними щодо розробки міжнародних стандартів в галузі зварювання. Науковці мають можливість брати безпосередню участь в розробленні стандартів та інших документів через роботу в комітетах, підкомітетах, робочих групах МІЗ та ЄФЗ. Це сприяє вирішенню таких основних завдань, як узгодження технічної політики України з технічною політикою, яку проводять закордонні партнери, використання міжнародних стандартів для поліпшення якості та конкурентоспроможності продукції України.



МІЗ проводить свої щорічні асамблеї, в яких Інститут представляє офіційна особа з певними повноваженнями, а також проводить міжнародні науково-технічні конференції. Науковці Інституту є постійними учасниками таких конференцій. Так, у Міжнародній конференції минулого року, що проходила в Сінгапурі, 16 наших науковців представили 17 доповідей, більша частина з яких була рекомендована для публікації в престижних наукових виданнях.

Протягом усієї своєї історії Інститут електрозварювання є яскравим прикладом комплексного підходу до розвитку науки і технологій, який було започатковано Євгеном Оскаровичем та розвинуто Борисом Євгеновичем Патонем. Суть такого підходу полягає в тому, що наш Інститут не обмежується проведенням лише фундаментальних досліджень, а націлений на комплексне вирішення реальних проблем економіки держави: від поглибленого теоретичного пошуку та експериментальних досліджень до впровадження отриманих науково-технічних результатів і розробок у промислове виробництво. І сьогодні наші розробки знайшли практичне застосування майже в усіх галузях економіки та в багатьох сферах повсякденного життя.

Прикладом таких розробок можна назвати технологію та мобільне устаткування для автоматичного контактнo-стикoвого зварювання оплавленням (КСЗО) залізничних рейок у заводських та польових умовах при будівництві та ремонті залізничних колій.

За останні роки було експортовано більше 95 мобільних рейкозварювальних машин для зварювання високоміцних рейок, зокрема, із натягом, на суму понад 32 млн. дол. США. Ці машини були виготовлені за ліцензійною угодою на Каховському заводі електрозварювального обладнання за документацією, розробленою в Інституті.

Результати новітніх досліджень удосконаленої технології КСЗ пульсуючим оплавленням заплановані до впровадження при будівництві та ремонті залізничних колій «Укрзалізниці», що вкрай важливо для вирішення проблем повоєнного відновлення України.

Традиційним напрямом робіт Інституту є розробка технологій зварювання труб — від металевих труб великого діаметру, які використовуються при будівництві магістральних трубопроводів, до неметалевих, зокрема полімерних. Так, інноваційну технологію та обладнання для зварювання поліетиленових труб зовнішнім діаметром до 250 мм при будівництві трубопроводів для водотако газопостачання впроваджено на ТОВ «Євротрубпласт» (м. Київ).

В цілому напрями теоретичних й експериментальних досліджень у галузі полімерного матеріалознавства (створення, дослідження і застосування біополімерів, композиційних матеріалів та наноматеріалів на їхній основі) розвиваються в Інституті дуже інтенсивно.

На особливу увагу заслуговують нові перспективні напрями досліджень з 3D друку виробів з антибактеріальною та противірусною активністю, полімерних матеріалів і виробів з них зі здатністю до самозаліковування та створення технологій їх хімічного зварювання, впливу за допомогою різноманітних фізичних полів на структуру і властивості полімерних матеріалів та їх зварних з'єднань.

Новітня технологія зварювання закладним елементом високотехнологічних полімерних композитів та листових виробів з них успішно пройшла випробування та використовується в авіакосмічній галузі на ДП «Антонов» та ДП «КБ «Південне» ім. М.К. Янгеля».

Спільно з промисловими компаніями та інститутами НАН України проводяться роботи з дослідження впливу водню та його газових сумішей на поліетиленові труби з метою визначення можливості його транспортування по трубопроводах газотранспортних мереж України та Європи.

Ще одним традиційно важливим напрямом досліджень і розробок нашого Інституту є променеві, а саме електроонно-променеві та лазерні технології. В Інституті розроблено і успішно використовується високопродуктивне обладнання для електронно-променевого зварювання деталей газотурбінних двигунів великої потужності. Наприклад, для підприємства АТ «Мотор-Січ» розроблена технологія електронно-променевого зварювання корпусу камери середнього тиску газової турбіни, виготовленої з титанового сплаву.

Щодо лазерного зварювання, зокрема, у галузі вагобудування, науковці Інституту розробили установку для ручного напівавтоматичного лазерного зварювання. Вона необхідна для зварювання конструктивних елементів у важкодоступних місцях, де неможливо використовувати автоматичне зварювання або роботизовані комплекси. Цей інструмент успішно використовується на світових вагобудівних заводах.

Інститут виконує також розробку та виготовлення автоматизованих комплексів для лазерного, плазмового і гібридного зварювання, різання, наплавлення та інших технологічних процесів. Оригінальні багатокординатні маніпулятори, розроблені в ІЕЗ, оснащені високоякісними комплектуючими, завдяки чому мають високі показники точності, надійності та дозволяють вирішувати різноманітні



прикладні задачі. Створені комплекси знайшли своє успішне застосування у приладобудівній, хімічній, енергетичній та інших галузях промисловості.

Інститут успішно продовжує розвиток космічних технологій зварювання. Для реалізації технології 3D друку в умовах космосу створено принципово нову конструкцію електронно-променевої гармати для роботи в автоматичному та довготривалому режимі з суттєво покращеними технічними характеристиками. За допомогою розробленого обладнання планується створювати 3D вироби з алюмінієвих, титанових та інтерметалідних сплавів, які застосовуються в сучасному космічному апаратобудуванні. Комплекс нового покоління електронно-променевого обладнання для зварювання у відкритому космосі був успішно продемонстрований на 30-й Міжнародній виставці оборонної промисловості MSPO-2022 у м. Кельце (Польща).

Продовжує удосконалюватися технологічний процес плазмово-індукційного вирощування монокристалічних тіл обертання з тугоплавких металів. Уперше в світі вирощено експериментальні монокристалічні тиглі з вольфраму. Зокрема, отримано тиглі і зливки діаметром 85 мм з дезорієнтацією субблоків, що не перевищує 5 кутових градусів.

Розроблено обладнання, технологія та матеріали для одношарового антикорозійного електрошлакового наплавлення стрічками. Отримані результати використовуються при виборі матеріалів і технологій антикорозійного наплавлення деталей енергетичного та хімічного обладнання. Також створено технології і матеріали для дугового наплавлення сталевих валків гарячої прокатки різних станів, за допомогою яких можна отримувати на будь-якій складній поверхні наплавлений шар необхідної товщини з мінімальними допусками на механічну обробку.

Із початком широкомасштабного російського військового вторгнення переглянуті та актуалізовані основні напрями наукової діяльності Інституту. І тут у нас є два головні пріоритети. Перший, безумовно, це дослідження і розробки, пов'язані з підвищенням обороноздатності нашої країни.

Розроблені нашими спеціалістами технології зварювання типових з'єднань броньованих сталей високої твердості вітчизняного та закордонного виробництва дозволяють відмовитися від термічного оброблення корпусів легкоброньованої техніки та за рахунок цього суттєво скоротити час на її виготовлення і знизити собівартість виробу.

Розроблено та впроваджено ремонтно-зварювальні технології для відновлення цілісності корпусів БТР та БМП, які зазнали бойових і експлуатаційних пошкоджень. За рахунок наплавлення останніх

шарів шва спеціальними зварювальними матеріалами кулеустійкість зварних з'єднань підвищується до рівня кулеустійкості броньових сталей.

Коротко відмітимо ще декілька прикладів наших новітніх розробок для потреб безпеки і оборони.

Технологія відновлення та зміцнення поверхні штоків віддачі артилерійських установок шляхом нанесення шару захисного покриття електродуговим напиленням. Технологія відновлення та зміцнення поверхні штоків гідравлічної системи основних стояків шасі літака шляхом нанесення газотермічного покриття. Технологія відновлення та зміцнення поверхні деталей бронетанкової техніки нанесенням газотермічних покриттів.

На кількох українських підприємствах, зокрема, ДП «Івченко-Прогрес», АТ «Мотор Січ» практично впроваджена технологія відновлення за допомогою мікроплазмового порошкового наплавлення деталей авіаційних газотурбінних двигунів з важкозварюваних нікелевих жароміцних сплавів. На вітчизняних авіаремонтних підприємствах застосовується технологія продовження тривалості експлуатації робочих лопаток авіаційних газотурбінних двигунів у 3–4 рази.


З використанням зварювання вибухом запропонована технологія створення високоміцних багатошарових композиційних матеріалів для застосування в якості броні.

Розроблена також технологія виготовлення біметалевої броні для захисту машин спеціального призначення.

За розробленою в Інституті спеціальною технологією дугового напівавтоматичного наплавлення відновлено партію зношених траків та пальців, які були випробувані в польових умовах та показали стійкість на рівні нових деталей.

Розроблені в Інституті лазерні технології сьогодні успішно використовуються для зварювання та наплавлення малогабаритних соплових блоків рідинних ракетних двигунів, зразки яких пройшли успішну перевірку, згідно спеціалізованій програмі випробувань, розробленій у КБ «Південне».

Створена технологія електронно-променевого плавлення титанових сплавів забезпечує отримання з вітчизняної сировини високоякісних зливок як традиційних промислових титанових сплавів, так і новітніх високоміцних титанових сплавів для авіаційної і ракетної галузей. Для практичної реалізації розроблених технологій на ДП «Науково-виробничий центр «Титан» Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона» організовано промислове виробництво зливок титанових сплавів у складі п'яти електронно-променевих установок власної



конструкції. Продукція підприємства у вигляді зливків титанових сплавів масою до 15 т постачається як вітчизняним заводам (АТ «Мотор Січ» та інші), так і за кордон. У кооперації з підприємствами-партнерами (ДП «Південний машинобудівний завод», «УкрНДІспецсталь», ТОВ «Дніпропрес Сталь» та ін.) зі зливків титанових сплавів, отриманих методом електронно-променевого плавлення, організовано виробництво поковок, прутків та труб, якість яких повністю відповідає вимогам стандартів, що дозволило на теперішній час повністю забезпечити потреби підприємств оборонного комплексу України в напівфабрикатах з високоміцних титанових сплавів.

Для медичної галузі спеціалістами розроблене також нове покоління медичного обладнання, що поєднує зварювання живих тканин з використанням ВЧ струму та одночасного гемостазу і дезінфекції ран конвекційно-інфрачервоним опроміненням.

Другий пріоритетний нині напрям досліджень спрямований на повоєнну відбудову України та майбутню структурну модернізацію вітчизняної економіки на найвищому технологічному рівні. Тут дослідження і розробки спрямовуються на перспективний розвиток вітчизняної промисловості, створення нових високотехнологічних галузей. Серед них: інформаційні технології в зварюванні та споріднених процесах, 3D технології, нові матеріали, технології та вироби медичного призначення, технології ремонту та відновлення інфраструктурних і промислових об'єктів тощо.

Затребуваною виявилася технологія технічної діагностики великогабаритних конструкцій (як-то телевізійні та електричні вежі, мости) з використанням безпілотного літального апарату для аерофотозйомки та побудови тривимірної моделі конструкції методом фотограмметрії. Вона дала змогу провести дистанційне обстеження руйнувань Київської телевежі після ракетного удару 1 березня 2022 р. і отримати дані про дефекти, візуалізувати пошкодження опорних елементів конструкції.

Науковці Інституту реалізували технологію одержання бездефектних і хімічно однорідних зливків перспективного титанового сплаву медичного призначення Ti-6Al-7Nb методом електронно-променевої плавки. Зливки мають дрібнозернисту структуру без жодних проявів зональної ліквіації. Така структура забезпечує якнайкраще поєднання механічних характеристик сплаву — високу міцність і пластичність, що задовольняють вимоги міжнародних стандартів для титанових сплавів медичного призначення і, саме головне, повністю відповідають комплексу механічних характеристик людських кісток.

За останні роки в Інституті створено цілу низку найсучаснішого обладнання для практичної реалізації технологій електронно-променевого, лазерного та плазово-дугового 3D друку металевих виробів для потреб аерокосмічної галузі, медицини, військово-оборонного комплексу та інших галузей промисловості. Наприклад, оперативний 3D друк деталей складної військової техніки дозволяє швидко здійснювати її ремонт у польових умовах.

Не дивлячись на складні умови сьогодення, велика увага приділяється покращенню дослідної інфраструктури Інституту, зокрема, створенню спільних лабораторій.

Одна з них Міжнародна польсько-українська науково-дослідна лабораторія (ADPOLCOM). Її створенню передувало багаторічне плідне співробітництво між Інститутом та Центром полімерних та вуглецевих матеріалів Польської академії наук (м. Забже) на основі міжнародних договорів між двома академіями наук та білатеральних проектів.

Наукова та науково-технічна діяльність лабораторії зосереджена на фундаментальних та прикладних дослідженнях в сфері створення, комплексного вивчення та з'єднання різноманітних полімерних матеріалів, біоматеріалів, композитів та нанокompозитів для багатьох галузей людської життєдіяльності — від побутового використання, наприклад, екологічного біодеградабельного пакування, зокрема, харчових продуктів, до матеріалів і виробів медичного призначення, наприклад, полімерних імплантів тощо.

Нині в Інституті підготовлено майданчик для встановлення обладнання для нової дослідно-технологічної дільниці по проведенню науково-дослідних робіт та тестування передових розробок в галузі зварювальних і споріднених технологій. Розроблено технічний проект даної дільниці, узгоджено перелік і технічні вимоги до дослідно-технологічного обладнання, яке буде використовуватись на цьому майданчику.

Із самого початку повномасштабної агресії рф співробітники Інституту активно долучились до волонтерської та благодійної діяльності. Організували збір та передачу грошей і необхідних речей (води, медзасобів, засобів гігієни тощо) для потреб Територіальної оборони Києва та Збройних сил України.

Науковці Інституту виготовляють та передають на фронт власну розробку — медичні імобілізаційні пневматичні шини для тимчасової фіксації травмованих частин тіла людини та її транспортування з мінімальною травматичністю. Також Інститут передає військовим зварювальні матеріали для проведення зварювання металоконструкцій у зоні бойових дій, а у медзаклади — апарати для



зварювання живих тканин ПАТОНМЕД та інструменти для операції.

Більше 20 молодих науковців інституту організували у вільний від роботи час виробництво теплових печей (буржуйок) для військовослужбовців, які зараз воюють на сході та півдні України. До збору коштів на матеріали для цих печей, а це на сьогодні більше 300 тис. грн., активно долучились співробітники, волонтери та просто небайдужі українці.

На волонтерських засадах виконується ціла низка науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт для потреб ЗСУ. Нажаль, не про всі роботи, які Інститут виконував та виконує на потреби ЗСУ, можна зараз говорити відкрито. Але вони постійно проводяться і одним з важливих напрямів цих робіт є експертна діяльність. Наприклад, у минулому році науковці ІЕЗ виконали 11 робіт, пов'язаних з експертизою для військових інститутів та підприємств оборонного комплексу.

Відмічаючи внесок співробітників ІЕЗ у перемогу, неможна оминати увагою 19 колег, які з перших днів війни добровільно вступили до лав ЗСУ та ТРО і наразі перебувають на військовій службі. Один з них був поранений і в Інституті був організований збір коштів на його лікування. Один наш молодий колега був нагороджений сталевим хрестом.

Цими днями на адресу колективу нашого Інституту надійшло багато теплих привітань з нагоди ювілею. Зокрема, це привітання від Офісу Президента України, Міністерства освіти і науки України, Президії Національної академії наук України, АТ «Українська оборонна промисловість», Болгар-

ського Союзу Зварювання, Фізико-технологічного інституту металів і сплавів НАН України, Інституту фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського НАН України, Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України, Інституту мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України, Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України, Інституту імпульсних процесів і технологій НАН України, Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Національного університету «Чернігівська політехніка», Інституту термоелектрики НАН України, Кременчуцького національного університету ім. Михайла Остроградського, Українського трубного заводу.

На урочистих зборах колективу з нагоди ювілею нас привітали президент Національної академії наук України академік Анатолій Загородній, голова Західного наукового центру НАН України та МОН України, директор Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка академік Зіновій Назарчук, голова Північно-Східного наукового центру НАН України і МОН України, генеральний директор НТК «Інститут монокристалів» академік Володимир Семиноженко, в.о. директора Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича член-кореспондент Геннадій Баглюк, перший заступник директора Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича академік Сергій Фірстов, директор Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля академік Володимир Туркевич, заступник директора Фізико-технологічного



Під час урочистих зборів, ІЕЗ ім. Є.О. Патона, 18 січня 2024 р.



Поздоровлення від Центрального науково-дослідного Інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України



Поздоровлення від Наукового комітету Національної ради України з питань науки та технологій



Поздоровлення від НТК «Інститут монокристалів»



Вручення відзнаки за професійні здобутки президентом НАН України академіком Анатолієм Загороднім вченому секретарю ІЕЗ Іллі Клочкову



Поздоровлення від НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

Інституту металів та сплавів доктор технічних наук Микола Тарасевич, голова Наукового комітету Національної ради України з питань науки та технологій Олександра Антонюк, начальник Центрального науково-дослідного Інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України генерал-майор Ігор Чепков, ректор Національного

технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського» академік Михайло Згуровський, ректор Національного університету «Чернігівська політехніка» доктор технічних наук Олег Новомлинець.

Співробітники Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона заслуговують на повагу суспільства за вірність патонівським традиціям, героїчну працю, яка допомагає зміцнювати обороноздатність України і наближає Перемогу. Патонівці внесуть значний вклад в справу повоєнного відродження та подальшого інноваційного розвитку рідної держави.

Ігор Кривцун, академік НАН України,
директор ІЕЗ ім. Є.О. Патона

СТВОРЕННЯ НАУКОВИХ ОСНОВ МЕТАЛУРГІЇ ЗВАРЮВАННЯ

У першій половині ХХ століття зварювання у виробництві металокопункцій витісняє традиційні перевірені способи з'єднань — болтові, клепані та ін. Проте якість зварних з'єднань викликає недовіру будівельників споруд, що піддаються динамічним навантаженням. У 1935 р. американське зварювальне товариство визначило проблеми, що підлягають вирішенню: фізичні (механічні) властивості сполук; металургійні основи зварювання; фізичні та хімічні процеси при зварюванні. Аналогічні завдання поставили вчені Німеччини, Великобританії та інших країн.

У 1929 р. Є.О. Патон зацікавився будівництвом зварного мосту та за кілька років спроектував раціональні зварні конструкції, досліджував їхню працездатність та розробив методи розрахунку. З 1935 р. ще одним завданням стало забезпечення міцності зварних з'єднань і експлуатаційної надійності зварних просторових конструкцій. Є.О. Патон організував в ІЕЗ технологічний відділ під керівництвом Дятлова В.І., досвідченого металурга, який розпочав вивчення металургійних особливостей процесів зварювання. На першому етапі було визначено вплив режиму зварювання на склад та якість металу шва. В.І. Дятловим та І.І. Фрумїним були створені покриття електродів для високоякісного ручного дугового зварювання змінним струмом нержавіючих сталей, засновані на двоокису титану (рис. 1).

У 1935 р. фірма «Linde» запатентувала спосіб високопродуктивного та високоякісного зварювання під флюсом (Л.Т. Джонсон, Г.Е. Кеннеді та М.А. Роттермунд). Створенням автоматичного зварювання під шаром флюсу зайнялися у низці НДІ та вищих навчальних закладах СРСР. Є.О. Патон поставив таке завдання перед технологічним (В.І. Дятлов) та конструкторським (П.П. Буштєдт) відділами ІЕЗ.



Рис. 1. Атомно-водневе зварювання в ІЕЗ

У 1937 р. у Бельгії через канал Альберта збудували кілька зварних мостів. Їх широко розрекламували як визначне досягнення техніки. А зимовим ранком 1938 р. зварні з'єднання тріснули і прольоти мостів впали (рис. 2). Незабаром зруйнувалися й зварні мости у Німеччині.

Фахівці низки країн, поряд з емпіричним підходом до проблеми якості металу швів, намагалися розрахувати процеси взаємодії кисню та азоту повітря з компонентами зварювальних матеріалів та елементами сплавів, що зварюються. Але підхід із позицій загальних закономірностей металургії сталеплавильного виробництва не забезпечував адекватних результатів. В.І. Дятлов почав розглядати зварювальні процеси як металургійні, але такі, що протікають за секунди у зварювальній ванні малого обсягу при великих градієнтах температур. Враховуючи цю особливість, для розрахунку взаємодії компонентів флюсу, електродів та складу зварюваного металу в системі газ–рідина, він застосував теорію правила фаз зі статистичної термодинаміки та кристалографії американського фізика академіка Дж. У. Гіббса (монографія з фізичної хімії Josiah Willard Gibbs «On the Equilibrium of Heterogeneous Substances»). При цьому В.І. Дятлов припускав те, що температура зварювальної ванни та питома теплоємність металу в ній є функцією теплофізичних властивостей компонентів сплаву.

В ІЕЗ було досліджено мікроструктуру та хімічний склад металу шва. Встановлено, що виділення газу зі шлакового розплаву підвищує ефективність захисту розплавленого металу від контакту з атмосферою, а умови кристалізації зварювальної



Рис. 2. Руйнування зварного моста через канал Альберта (1938)



Рис. 3. Доповідь В.І. Дятлова у КПІ (1936 р.)

ванни дуже впливають на кінцевий вміст газів у металі. Сформувався знання про термодинаміку процесів плавлення електродного та основного металів, взаємодію металу з газами та шлаками, кінетику реакцій окислення та відновлення, про основні стадії кристалізації.

У 1936 р. В.І. Дятлов почав викладати курс «Металургійні засади зварювання» на зварювальному факультеті Київського політехнічного інституту. Його доповіді були цікаві як початківцям, так і досвідченим спеціалістам (рис. 3).

До кінця 1939 р. в ІЕЗ був розроблений плавний флюс (АН-1) для автоматичного зварювання конструкційних сталей плавким електродом (сталевим кремнемарганцевим дротом). Випробування на міцність (у тому числі й за періодичних динамічних навантажень) довели можливість застосування цієї технології в машинобудуванні та будівництві відповідальних сталевих конструкцій та Є.О. Патон розпочав проєктування зварного мосту через Дніпро. У червні 1940 р. учасникам першої Всесоюзної конференції з автоматичного зварювання було продемонстровано зварювання листів конструкційної сталі товщиною понад 10 мм зі швидкістю 30 м/год. Якість з'єднання автоматичним зварюванням відповідало всім вимогам. Стандартне випробування зразка показало максимальний кут загину (рис. 4).



Рис. 4. Є.О. Патон демонструє випробуваний зразок (1940 р.)

Флюс АН-1 був виплавлений на Костянтинівському скляному заводі (Донбас) і відправлений на 20 провідних машинобудівних заводів країни. Після вторгнення Німеччини в СРСР ІЕЗ та Харківський танковий завод було евакуйовано до Нижнього Тагілу, де співробітник інституту В.І. Дятлов та інженер харківського заводу Б.О. Іванов розробили спосіб автоматичного зварювання броньових сталей (Спосіб дугового автоматичного зварювання під шаром флюсу. Авторське свідоцтво СРСР № 64057, заявлено 29.05.42). Продуктивність зварювання збільшилася у 10 разів.

Наприкінці 1944 р. броньові конструкції зварювали під флюсом АН-1 на 52 заводах країни. Цю небачену раніше техніку називали «Автомат Патона». Керівництво оцінило заслуги Євгена Оскаровича наданням йому звання Героя Соціалістичної Праці.

Коли запас флюсу АН-1 (в евакуації) закінчувався В.І. Дятлов розробив новий склад флюсу з урахуванням місцевих уральських мінералів. Однак налагодити масове виробництво флюсу АН-2 не було можливості. Тоді В.І. Дятлов дослідив доменний шлак і запропонував доповнити шлак Ашинської домни феромарганцем. Шлак АШМА був універсальним, придатним і для конструкційних сталей, і використовувався до 1947 року.

«Зварювання псує метал!» — з цією оцінкою металургів та інших опонентів змушені були погоджуватися і прихильники застосування зварювання.

В ІЕЗ при розробці автоматичного зварювання під флюсом броньових сталей великої товщини серед безлічі проблем, які довелося подолати, основною була проблема тріщин. У лютому 1942 р. В.І. Дятлов та Б.А. Іванов знайшли рішення. У стик між кромками помістили низьковуглецеву присадку (дріт, прутки). Таким чином, у металі шва та в зоні сплавлення зменшився вміст легуючих елементів. Водночас у США при будівництві цільнозварних океанських вантажних суден (проєкт «Liberty») і танкерів зі звичайної конструкційної сталі виникали тріщини, а деякі з суден взагалі розколювалися. Не забували й про мости, що впали в Бельгії та Німеччині.

Завдання поліпшення технологій електро- і газового зварювання залишалось єдиним до тих пір, поки не звернули увагу на властивості основного матеріалу, що зварюється. Ще у 1940 р. Дж. Дірден і Г.О. Нейл запропонували використати вуглецевий еквівалент для кількісної оцінки зварюваності сталей. Формула являла собою суму часток кожного компонента сталі. По суті це був перший

крок на шляху створення вимог до металургів, які виплавили сталь для зварних виробів.

З низки припущень про причини виникнення холодних тріщин найбільше визнання набула воднева гіпотеза. У 1944 р. Г. Хопкін (США) повідомив, що атомарний водень, дифундуючи зі шва в зону термічного впливу, з'єднується в молекули, об'єм яких значно перевищує об'єм атома водню, що призводить до розриву металу. Тому, проблемі забезпечення міцності шва рівної міцності основного металу вивчали та вирішували десятки вчених і інженерів. Розгорнулися дослідження та дискусії, у провідних журналах світу публікували гіпотези і результати досліджень. Щоб не залежати від редакції всесоюзного журналу «Автогенна справа», Є.О. Патон випускає збірки праць, а в 1948 р. з'являється власний журнал «Автоматичне зварювання».

У 1945 р. Є.О. Патон розгорнув цілеспрямовані фундаментальні дослідження актуальних проблем зварювання. Результати досліджень показали, що при зварюванні сталей утворенню тріщин сприяє підвищений вміст вуглецю (Д.М. Рабкін, І.І. Фрумін), збільшення концентрації елементів, що викликають утворення евтектичних прошарків, спочатку збільшує схильність металу шва до гарячих тріщин, а потім зменшує її (Б.І. Медовар), а утворенню пор сприяють водень і азот (І.В. Кірдо, В.В. Підгаєцький, І.І. Фрумін).

Результати досліджень сплавів заліза виявилися застосовними і до алюмінієвих сплавів. Д.М. Рабкін встановив, що термін служби обладнання для одержання азотної кислоти з алюмінію високої чистоти, звареної «чистими» дротами СвА97 і СвА99, у 4...5 разів більший у порівнянні з обладнанням, виготовленим з технічного алюмінію АД00, АД000. Ця особливість була врахована у ракетобудуванні. Заготовки паливних баків з високоміцних легованих алюмінієвих сплавів плакували шаром чистого алюмінію товщиною до 1 мм.

Однією із задач було визначення вимог до металу для зварних виробів, впливу способів виробництва сталей та їх хімічного складу на зварюваність. Є.О. Патон звернув увагу на негативний вплив на якість зварювання сульфідних включень. В результаті досліджень встановили, що чутливість сталі до зварювального нагрівання залежить від її хімічного складу, способу розкислення при плавлі та розмірів зерна під час прокатування або кування. За цих операцій майбутні дефекти витягувалися у вигляді рядків і злипалися. А при зварювальному нагріванні в зоні термічного впливу вони розшаровувалися, через що й утворювалися тріщини. В ІЕЗ вирішили, що при виплавлі сталі

необхідно вводити кремній та алюміній, які «заберуть» кисень та оксиди, а прокатувати необхідно за оптимальної температури. Так були визначені науково обґрунтовані вимоги до металургів — необхідність кращого розкислення сталі та покращення її структури. Удосконалення технологій великої металургії дозволяло гарантувати службові властивості зварних конструкцій.

Додаткові дослідження та виробничі випробування сталей відбувалися на Жданівському заводі ім. Ілліча (м. Маріуполь). Була розроблена сталь із вмістом марганцю до 1,8 % та кремнію близько 0,40 % з межею плинності 320 МПа та тимчасовим опором розриву 500 МПа (марка 09Г2). Сталь мала гарну зварюваність. Незабаром в ІЕЗ ім. Є.О. Патона було створено мостову сталь підвищеної холодостійкості — М16С.

Під час Другої світової війни у СРСР кораблі не будували. Багато обладнання суднобудівних заводів було перевезено на інші оборонні заводи. Вже в 1944 р. почали відновлювати верфі в Ленінграді, Миколаєві, Києві, Херсоні.

Співробітниками ІЕЗ та Жданівського заводу ім. Ілліча були розроблені спеціальні корабельні броньові сталі, що добре зварюються і володіють стабільністю у вологій морській атмосфері. У 1948 р. Є.О. Патон створив спеціальну лабораторію, яку очолив О.М. Макара (рис. 5). Незабаром вона переросла у відділ зварювання високоміцних середньолегованих сталей у судно-, танко-, авіа- та ракетобудуванні.

21 грудня 1948 р. на заводі № 444 у Миколаєві було закладено крейсер проєкту 68 біс. У проєкті броньовані плити були повністю включені в силову схему корпусу та систему несучих корабельних конструкцій. Проте невдовзі у зварних з'єднаннях з'явилися тріщини. Виявилося, що склад і технологія виготовлення сталі на ленінградському заводі не відповідають вимогам, які розробили зварники. Нову низьколеговану сталь, що зварюється (межа



Рис. 5. Є.О. Патона разом із керівником відділу середньолегованих сталей А.М. Макарою



Рис. 6. Прогонні будови мосту через Дніпро у Києві в період будівництва



Рис. 7. Міст через річку Смотрич у м. Кам'янець-Подільський

плінності 40 кгс/мм²), виплавили і прокатили в Маріуполі і крейсер був закладений вдруге.

Через 10 років у Миколаєві збудовано крейсер нового проєкту з авіаційною зброєю «Тбілісі». Ще через 2 роки — кораблі «Мінськ» та «Новоросійськ». 25 листопада 1988 р. на стапелі «0» Чорноморського суднобудівного заводу закладено важкий атомний авіаносний крейсер (проєкт 1143.7, шифр «Кречет»), який мав стати першим повноцінним атомним авіаносцем. Заводи у Миколаєві були полігоном у випробуванні передових технологій ІЕЗ ім. Є.О. Патона, успішно конкурували у створенні військових судів із найпотужнішою корпорацією США «Northrop Grumman Newport News».

У 1953 р. зі сталі М16С був побудований суцільнозварний автодорожній міст через Дніпро у Києві (рис. 6). З холодостійкої високоміцної сталі 14Х2ГМР класу С70/60 збудовано автодорожній міст через річку Смотрич у Кам'янці-Подільському (рис. 7).

В ІЕЗ було створено високопродуктивне обладнання та технології автоматичного зварювання корабельних конструкцій. Роботи ІЕЗ дозволили ор-

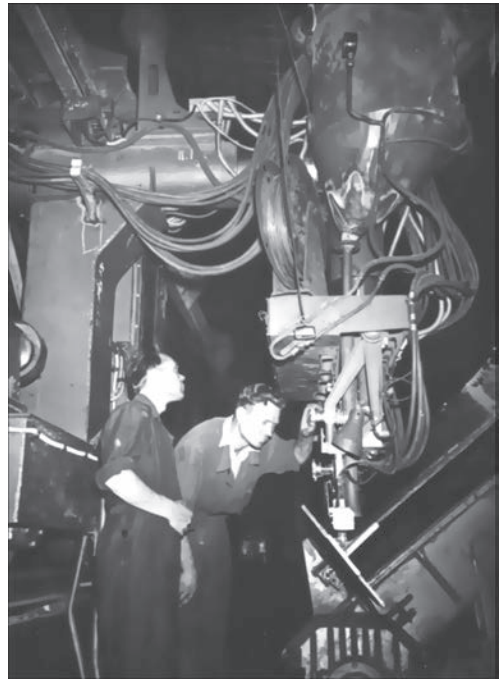


Рис. 8. Устаткування для автоматичного зварювання корабельних конструкцій



Рис. 9. Крейсер серії 68 біс

ганізувати виробництво суден на потокових лініях, застосувати конвеєрне складання і швидкісний блоковий монтаж з високим ступенем механізації та автоматизації технологічних операцій (рис. 8). За 10 років на 4-х заводах СРСР було побудовано 23 крейсери проєкту 68 біс. Патонівська сталь довела свою високу якість і більше ні в процесі будівництва, ні при експлуатації кораблів дефектів не відзначалося (рис. 9).

Досвід виробництва та багаторічна експлуатація відповідальних зварних конструкцій довели, що під час виробництва сталі необхідно враховувати вимоги зварників. На державному рівні було затверджено відповідні технічні умови та стандарти. Так особливості металургії зварювання почали удосконалювати металургію виробництва сталі та чавуну.

Д-р іст. наук О. Корнієнко