

# З АВТОМАТИЧНЕ ЗВАРЮВАННЯ

08  
2020

## Автоматическая сварка

## Automatic Welding

Видається 12 разів на рік з 1948 р.

Published 12 times per year since 1948

### ЗМІСТ

Кривцун І.В., Лобода П.І., Фомічов С.К., Квасницький В.В.  
В КПІ ім. Ігоря Сікорського створено Інститут ма-  
теріалознавства та зварювання імені Є.О. Патона ..... 3

#### НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

Головко В.В., Єрмоленко Д.Ю., Степанюк С.М.,  
Жуков В.В., Костін В.А. Вплив введення тугоплав-  
ких часток до зварювальної ванни на структуру та  
властивості металу швів ..... 9

Ющенко К.А., Булат О.В., Звягінцева Г.В., Самой-  
ленко В.І., Каховський Ю.М. Дослідження шляхів  
модифікації структури аустенітичних зварних швів та  
зони їх сплавлення з перлітним основним металом ... 16

#### ВИРОБНИЧИЙ РОЗДІЛ

Похмурський В.І., Хома М.С., Рябцев І.О.,  
Перепльотчиков Є.Ф., Винар В.А. Застосування  
плазмово-порошкових та електродугових покриттів  
для підвищення трибокорозійної стійкості сталей у  
агресивних середовищах ..... 20

Фальченко Ю.В., Петрушинець Л.В., Поло-  
вєцький Є.В. Особливості отримання біметалевих  
тонколистових з'єднань Al-Ti методом дифузійного  
зварювання у вакуумі ..... 27

Бризгалін А.Г., Пекар Є.Д., Шльонський П.С.,  
Царенко Л.В. Підвищення службових властивостей  
металоконструкцій обробкою вибухом ..... 32

Зяخور І.В., Завертанний М.С., Левчук А.М.,  
Капітанчук Л.М. Особливості формування  
з'єднань різнойменних жароміцних нікелевих  
сплавів при зварюванні тертям ..... 38

Полещук М.А., Матвеев І.В., Бовкун В.О.,  
Адеєва Л.І., Тунік А.Ю. Використання магнітно-  
імпульсного зварювання для з'єднання пластин з  
однорідних та різнорідних сплавів ..... 45

#### КОРОТКІ ПОВІДОМЛЕННЯ

Шльонський П.С. Зварювання вибухом мідно-  
алюмінієвих труб за «зворотною схемою» ..... 51

#### ХРОНІКА

С.І. Кучуку-Яценку – 90! ..... 54

#### ІНФОРМАЦІЯ

По закордонним журналам  
(Welding in the World № 7, 2020) ..... 56  
Установка АУНП-002 ..... 60

### CONTENTS

Krivtsun I.V., Loboda P.I., Fomichov S.K., Kvasnytskyi V.V.  
In Igor Sikorsky KPI established the E.O. Paton  
Institute of Materials Science and Welding ..... 3

#### SCIENTIFIC AND TECHNICAL

Golovko V.V., Yermolenko D.Yu., Stepanyuk S.M.,  
Zhukov V.V., Kostin V.A. Influence of introduction of  
refractory particles to welding pool on structure and  
properties of weld metal ..... 9

Yushchenko K.A., Bulat O.V., Svyagintseva G.V.,  
Samoilenko V.I., Kakhovskiy Yu.M. Investigation of the  
methods of modifying the structure of austenitic welds  
and the zone of their fusion with pearlitic base metal ..... 16

#### INDUSTRIAL

Pokhmursky V.I., Khoma M.S., Ryabtsev I.O.,  
Pereplyotchikov Ye.F., Vynar V.A. Application of  
plasma-powder and electric arc coatings to increase  
tribocorrosion resistance of steels in aggressive  
environment ..... 20

Falchenko Iu.V., Petrushynets L.V., Polovetskyi Ye.V.  
Peculiarities of producing Al-Ti bimetal sheet joints by  
the method of vacuum diffusion welding ..... 27

Bryzgalin A.G., Pekar Ye.D., Shlonskiy P.S.,  
Tsarenko L.V. Improvement of service properties of  
metal structures by explosion treatment ..... 32

Ziakhor I.V., Zavertannyi M.S., Levchuk A.M.,  
Kapitanchuk L.M. Peculiarities of formation of joints of  
dissimilar high-temperature nickel-base alloys in friction  
welding ..... 38

Polieshchuk M.A., Matveiev I.V., Bovkun V.O.,  
Adeeva L.I., Tunik A.Yu. Use of magnetic pulse welding  
for joining plates from similar and dissimilar alloys ..... 45

#### BRIEF INFORMATION

Shlyonskiy P.S. Explosion welding of copper-aluminium  
pipes by the «reverse scheme» ..... 51

#### NEWS

S.I. Kuchuk-Yatsenko – 90! ..... 54

#### INFORMATION

According to foreign journals  
(Welding in the World № 7, 2020) ..... 56  
Installation of AUNP-002 ..... 60



Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАНУ представляє Україну  
в Міжнародному інституті зварювання  
та в Європейській зварювальній федерації

The E.O. Paton Electric Welding Institute of the NASU represents Ukraine  
in International Institute of Welding  
and in European Federation for Welding



**Автоматичне зварювання**  
**Автоматическая сварка**  
**Automatic Welding**

**РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ**

Вчені ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАНУ:  
**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 131, 132, 151  
Наказ МОН України № 409 від 17.03.2020.

Рекомендовано до друку  
редакційною колегією журналу

Свідоцтво про державну  
реєстрацію KB 4788 від 09.01.2001

ISSN 0005-111X

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

**Передплата**

Передплатний індекс 70031.

12 випусків на рік (видається щомісячно).

Друкована версія: 2400 грн. за річний комплект  
з урахуванням доставки рекомендованою банделроллю.

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» перевидается  
англійською мовою під назвою  
«The Paton Welding Journal»:  
[www.patonpublishinghouse.com/eng/journals/tpwj](http://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. Dmitrik**, NTU «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv;  
**V.V. Kvasnytskyi, E.P. Chvertko**, NTUU «Igor Sykorsky  
Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv;  
**M.M. Student**, Karpenko Physico-Mechanical Institute  
of NASU, Lviv;  
**M. Zinigrad**, Ariel University, Israel;  
**U. Reisgen**, Welding and Joining Institute, Aachen, Germany;  
**Ja. Pilarczyk**, Welding Institute, Gliwice, Poland

**Founders**

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

**Address**

E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU  
03150, Ukraine, Kyiv-150,  
11 Kasymyr Malevych Str.  
Tel.: (38044) 200 6302, 200 8277  
Fax: (38044) 200 8277  
E-mail: [journal@paton.kiev.ua](mailto:journal@paton.kiev.ua)  
[www.patonpublishinghouse.com/eng/journal/as](http://www.patonpublishinghouse.com/eng/journal/as)

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

Order of the MES of Ukraine № 409 of 17.03.2020.

Recommended for printing editorial board of the Journal

Certificate of state registration  
of KV 4788 dated 09.01.2001

ISSN 0005-111X

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

**Subscription**

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](http://www.patonpublishinghouse.com/eng/journals/tpwj)

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

## **В КПІ ім. Ігоря Сікорського створено Інститут матеріалознавства та зварювання імені Є.О. Патона**

**Кривцун І.В., Лобода П.І., Фомічов С.К., Квасницький В.В.**

Згідно наказу ректора, академіка НАН України, проф. Згуровського М.З., відповідно до Рішення Вченої ради в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» на базі Інженерно-фізичного (ІФФ) та Зварювального (ЗФ) факультетів і кафедри Лазерної техніки та фізико-технічних технологій Механіко-машинобудівного інституту (ММІ) з 1 липня 2020 р. розпочав роботу новостворений Інститут матеріалознавства та зварювання імені Є.О. Патона (E.O. Paton Institute of Materials Science and Welding), скорочена назва – ІМЗ ім. Є.О. Патона (E.O. Paton IMSW). Виконувачем обов'язків директора Інституту матеріалознавства та зварювання імені Є.О. Патона призначено члена-кореспондента НАН України, професора, д.т.н. Лободу П.І. Створений інститут не є звичайним об'єднанням матеріалознавчих факультетів та кафедр. За своєю сутністю він є новою сучасною формою учбово-науково-виробничої організації – кластером, діяльність якого передбачає тісне співробітництво з інститутами Національної академії наук України та промисловими підприємствами. При цьому основною ідеєю створення нового інституту не є звичайне об'єднання цих трьох, безумовно найважливіших напрямків діяльності, а досягнення певного синергетичного ефекту, коли внаслідок взаємодії окремих складових утворюється нова якість. Партнерами ІМЗ ім. Є.О. Патона є інститути ВФТПМ НАН України, в першу чергу, Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона, Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича, Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля, Фізико-технологічний інститут металів та сплавів. Серед промислових бізнес-партнерів стратегічні підприємства України, зокрема, група компаній «ПлазмаТек» – один з провідних виробників витратних матеріалів для зварювання, гірничо-металургій-

на компанія «Метінвест» – один із головних світових виробників основного конструкційного матеріалу – сталі. Головне завдання ІМЗ ім. Є.О. Патона є прискорення формування наукового світогляду інженерних і наукових кадрів шляхом тісного поєднання освітньої, наукової та практичної виробничої підготовки. Основою наукового світогляду є засвоєння принципів створення нових, або вибору із тих, що вже існують, матеріалів з необхідним комплексом фізичних, хімічних і технологічних властивостей, що забезпечують надійну експлуатацію виробів за визначених умов. Саме комплекс властивостей залежить від природи, атомно-кристалічної будови, мікроструктури, фазового складу матеріалу і безпосередньо впливає на параметри процесів обробки матеріалів або виготовлення деталей та вузлів сучасної техніки. Вибір параметрів технологічного процесу в першу чергу залежить від фізичних, хімічних та технологічних властивостей матеріалів. Тому вибір найбільш продуктивного, ресурсо- та енергозберігаючого процесу, найбільш безпечного для навколишнього середовища і природи в цілому для високотехнологічного виробництва, потребує знань щодо зв'язку між хімічним складом – параметрами технологічних процесів обробки чи виготовлення – мікроструктурою та властивостями матеріалу чи виробу, що забезпечують виконання заданих умовами експлуатації функцій. Такий підхід дозволить поєднати знання щодо створення, виробництва, експлуатації та утилізації матеріалів з найбільш тривалим надійним терміном експлуатації. Іншими словами, об'єднання зусиль науково-педагогічних колективів кафедр дозволить сформулювати сучасний науковий світогляд щодо вибору як матеріалів, так і технологій, найбільш ефективного енергетичного, технічного, економічного та екологічного супроводження матеріалів на всіх стадіях створення

та життя нових матеріалів довготривалої експлуатації. Головною конкурентною перевагою ІМЗ ім. Є.О. Патона є те, що наукові напрямки діяльності кафедр охоплюють всі етапи життєвого циклу продукції на базі найсучасніших технологій, від розробки нових матеріалів з заданими характеристиками та створення деталей і конструкцій до вирішення проблем утилізації (рис. 1).

Головна мета об'єднання науково-педагогічного потенціалу, методичної та лабораторної бази кафедр інституту є створення умов для генерування наукових знань за безпосередньої участі здобувачів вищої освіти студентів (бакалаврів, магістрів), аспірантів та роботодавців. Головні теми для наукових досліджень передбачається знаходити виходячи з конкретних технологічних проблем виробників промислової продукції. Для підсилення як науково-педагогічного потенціалу, так і лабораторної бази передбачається тісна співпраця з інститутами НАН України. Починаючи з 2 курсу науковці інститутів НАН України зможуть відбирати та керувати кваліфікаційними науковими роботами бакалаврів, магістрів та докторів філософії. Таким чином, в сфері освіти забезпечується нова якість підготовки фахівців згідно з трирівневою системою відповідно до схеми «бакалавр – магістр – PhD». Така підготовка відбуватиметься у щільній співпраці з академічними інститутами, які, в свою чергу, потребують залучення молодих наукових кадрів, а також з промисловими підприємствами-партнерами, яким вкрай необхідні молоді, гарно підготовлені та висококваліфіковані інженери. При цьому така підготовка буде здійснюватися в межах

великих науково-технічних та науково-виробничих проектів, які реалізуватимуться ІМЗ ім. Є.О. Патона спільно з академічними інститутами та бізнес-партнерами. Іншими словами, навчання буде фактично відбуватися в умовах, максимально наближених до реального виробництва. Це дозволить суттєво підвищити рівень та якість підготовки випускників – фахівців, які будуть більш адаптовані для подальшої роботи як в науці, так і в промисловості. В сфері науки головною проблемою сьогодення України є нестача здібних і талановитих молодих вчених – фахівців, здатних вирішувати складні завдання, що висуваються сучасною наукою, в першу чергу, матеріалознавчих. Створення в рамках ІМЗ ім. Є.О. Патона нових лабораторій, їх оснащення за фінансової підтримки бізнес-партнерів надсучасним дослідницьким обладнанням, дозволить реалізувати спільні з інститутами НАН України партнерами широкомасштабні науково-технічні проекти, зокрема, і міжнародні з залученням до їх виконання молодих людей – студентів, які здатні вирішувати складні завдання сучасного матеріалознавства. Щодо сфери виробництва, то в межах новостворених лабораторій ІМЗ ім. Є.О. Патона здійснюватимуться не лише фундаментальні дослідження, результати яких забезпечать вагомий внесок в сучасне матеріалознавство, але і прикладні, технологічні дослідження, спрямовані на вдосконалення існуючих та створення нових виробничих технологій отримання, обробки та з'єднання матеріалів. При цьому проблематика фундаментальних досліджень повинна бути сформована на основі запитів та невирішених питань виробництва з метою



Рис. 1. Етапи життєвого циклу продукції, які охоплюються напрямками діяльності ІМЗ ім. Є.О. Патона

розв'язання існуючих проблем та підвищення продуктивності виробничих процесів, забезпеченні ресурсозбереження і подовження строку експлуатації виробів та конструкцій, що забезпечить створення нових проривних технологій та ефективного використання енергетичних і трудових ресурсів, створення нових матеріалів. Результати таких досліджень мають бути використані при створенні технологічних процесів та обладнання для їх реалізації не лише на промислових підприємствах – партнерах, а і на інших виробничих підприємствах України та світу. Згідно запропонованої концепції і відбувалося формування організаційної структури ІМЗ ім. Є.О. Патона, яка була затверджена на засіданні Вченої ради КПІ ім. Ігоря Сікорського 30 червня 2020 р. (рис. 2).

ІМЗ ім. Є.О. Патона створений на базі 9 кафедр трьох факультетів КПІ ім. Ігоря Сікорського, зокрема:

- Лазерної техніки та фізико-технічних технологій – ММІ;
- Високотемпературних матеріалів та порошкової металургії – ІФФ;

- Ливарного виробництва чорних і кольорових металів – ІФФ;
- Металознавства та термічної обробки – ІФФ;
- Фізико-хімічних основ технології металів – ІФФ;
- Фізики металів – ІФФ;
- Зварювального виробництва – ЗФ;
- Електрозварювальних установок – ЗФ;
- Інженерії поверхні – ЗФ.

Шляхом об'єднання кафедр Електрозварювальних установок та Інженерії поверхні (ЗФ) в рамках ІМЗ ім. Є.О. Патона створена нова потужна кафедра Смарт технологій з'єднань та інженерії поверхні. Перспективність створення ІМЗ ім. Є.О. Патона пов'язана з розширенням можливостей окремих структурних підрозділів, що входять до його складу. Зокрема, таке об'єднання створює передумови для підсилення науково-інноваційного та освітнього потенціалу структурних підрозділів, надає можливість виконання викладачами і науковими співробітниками залучених кафедр крупних комплексних стратегічних наукових і освітніх проектів державно-цивілізаційного

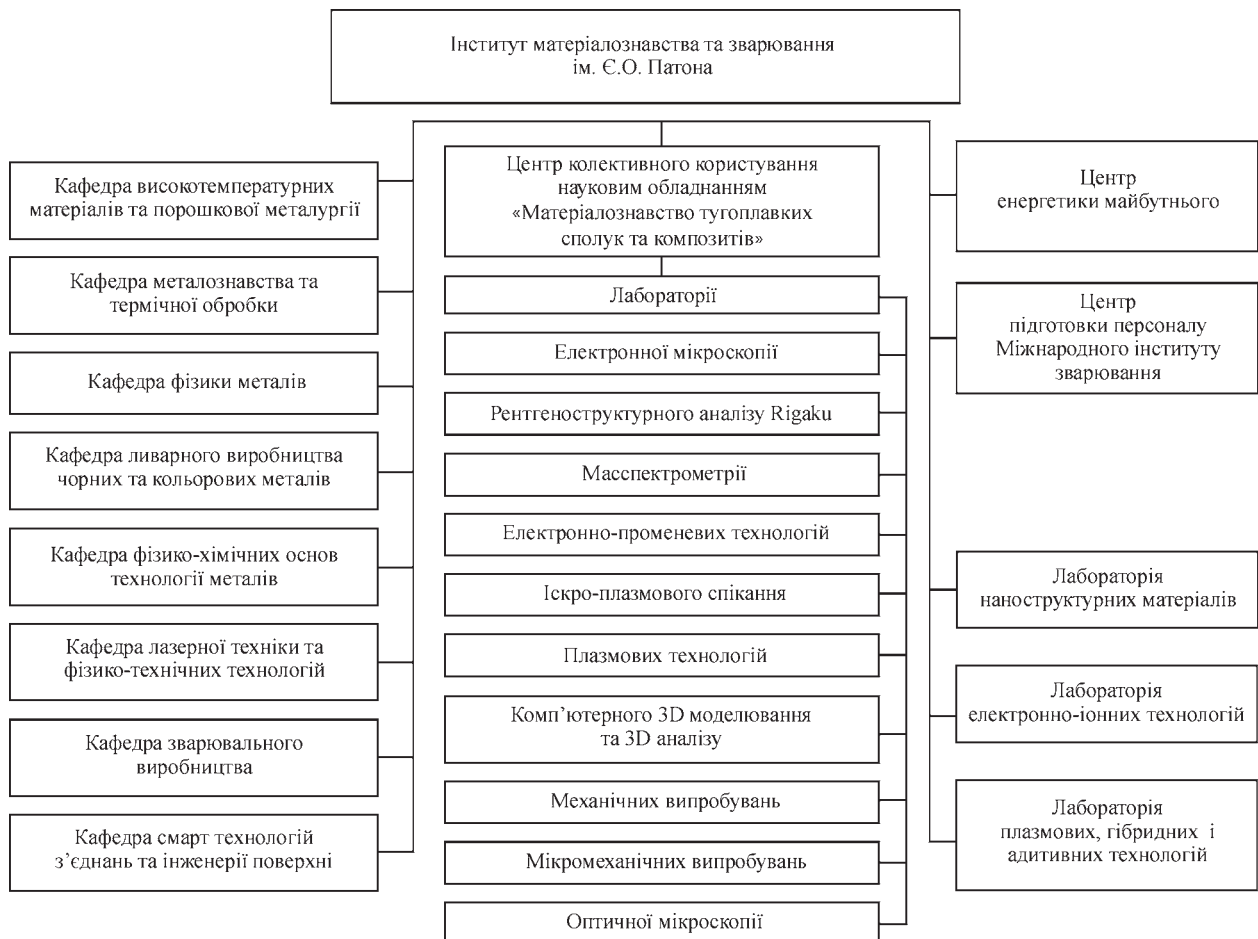


Рис. 2. Організаційна структура Інституту матеріалознавства та зварювання імені Є.О. Патона

рівня, включаючи якість життя. Окрім того, забезпечується скорочення процесу отримання нового інноваційного конкурентоспроможного продукту з одночасним синергетичним підсиленням задіяних провідних наукових шкіл та зміцненням і підвищенням професійності науково-педагогічного потенціалу підрозділів. Це є вкрай важливим, оскільки згідно даних QS World University Rankings 2020, КПІ ім. Ігоря Сікорського посідає четверте місце серед українських вищих навчальних закладів (ВНЗ), які увійшли до рейтингу найкращих університетів світу. При укладанні рейтингу автори керуються низкою критеріїв, таких як академічна репутація закладу, індекс цитування статей його викладачів та співробітників, відсоток іноземних студентів, репутація ВНЗ серед роботодавців тощо. Однак, згідно аналізу, наявна вітчизняна мережа ВНЗ видається недостатньо результативною й ефективною через її «замкненість у собі», а сучасний університет світового класу передбачає реальне й відчутне перебування відповідного наукововиробничо-освітнього закладу в глобальному просторі. Згідно Положення про акредитацію освітніх програм, за якими здійснюється підготовка здобувачів вищої освіти, затвердженого Наказом Міністерства освіти і науки України, від 11 липня 2019 р. № 977, проведений самоаналіз відповідності кафедр вимогам Національного агентства із забезпечення якості вищої освіти (НАЗЯВО), результати якого свідчать про не повну відповідність діючим вимогам окремих кафедр. Тому, створення ІМЗ ім. Є.О. Патона є одним із засобів подолання відставання КПІ ім. Ігоря Сікорського від передових університетів світу та забезпечення повної відповідності якості підготовки студентів кафедрами інституту і діючих освітніх програм всіх рівнів Критеріям оцінювання якості освітніх програм, прийнятим НАЗЯВО. Широке об'єднання та залучення інститутів НАН України та підприємств роботодавців до реалізації освітнього процесу в ІМЗ ім. Є.О. Патона створює передумови для покращення результатів діяльності згідно критеріїв щодо доступу до освітніх програм та визнання результатів навчання, людських ресурсів, освітнього середовища та матеріальних ресурсів, внутрішнього забезпечення якості освітніх програм, прозорості та публічності,

навчання через дослідження. Це сприятиме поглибленню інтернаціоналізації університету, посиленню міжнародної компоненти в усіх складових його діяльності, зокрема, і залученню до навчання більшої кількості іноземних студентів та запрошенню відомих іноземних науковців і викладачів для участі в навчальному процесі з одночасним розширенням участі співробітників інституту в міжнародних проєктах. Світові тенденції в вищій освіті свідчать про необхідність створення в рамках університету сприятливих умов для самореалізації студентів, молодих викладачів та вчених, забезпечення постійного вдосконалення знань фахівців протягом всього життя, що є одним з найважливіших завдань створення ІМЗ ім. Є.О. Патона. Швидка орієнтація структурних підрозділів інституту в підготовці фахівців вищої кваліфікації на виклики світового ринку, з урахуванням вимог роботодавців та промисловості України, забезпечується шляхом реалізації в рамках ІМЗ ім. Є.О. Патона сучасних методів управління, що включає і проєктний менеджмент. Такий підхід дозволяє суттєво підвищити якість наукових та освітніх проєктів новоствореного інституту як на етапі їх підготовки до подання, так і на етапі реалізації. З іншого боку, об'єднання надає нові розширені можливості студентам та співробітникам кафедр по підвищенню ефективності навчального процесу та наукових досліджень за рахунок спільного використання сучасної лабораторної бази кафедр інституту та створених в рамках ІМЗ ім. Є.О. Патона спільних з організаціями і підприємствами центрів та навчально-наукових лабораторій, оснащених сучасним обладнанням. Це забезпечує не тільки підвищення якості підготовки фахівців кафедрами інституту, а також сприяє розширенню компетентності випускників при вирішенні триєдиної задачі матеріал – обробка – з'єднання. З цією метою в структуру ІМЗ ім. Є.О. Патона включені наукові центри та лабораторії. Зокрема, до складу Центру колективного користування науковим обладнанням «Матеріалознавство тугоплавких сполук та композитів» входять лабораторії: електронної мікроскопії; рентгеноструктурного аналізу Rigaku; маспектрометрії; електронно-променевої технології; іскро-плазмового спікання; плазмових технологій; комп'ютерного 3D мо-



Рис. 3. Студенти працюють в лабораторії оптичної мікроскопії (а); лабораторія електронної мікроскопії (б); проведення досліджень в лабораторії рентгеноструктурного аналізу Rigaku (в); комп'ютеризована установка РМ-300 для плазмово-порошкового наплавлення в лабораторії електронно-іонних технологій (г)

делювання та 3D аналізу; механічних випробувань; мікромеханічних випробувань; оптичної мікроскопії. В рамках інституту діють Центр енергетики майбутнього, Центр підготовки персоналу згідно з вимогами Міжнародного інституту зварювання та спільні навчально-наукові лабораторії: наноструктурних матеріалів; електронно-іонних технологій; плазмових, гібридних і адитивних технологій (рис.3).

Створені наукові центри та лабораторії сприяють вирішенню як наукових, так і освітніх завдань ІМЗ ім. Є.О. Патона. Вони дозволяють підсилити наукову складову за рахунок залучення до наукового колективу не лише викладачів кафедр, а і наукових співробітників провідних дослідницьких інститутів, підприємств та організацій України, забезпечують створення наукової експериментальної бази колективного користування із залученням сучасного обладнання для проведення науково-дослідних робіт, підсилюють конкурентоспроможність ІМЗ ім. Є.О. Патона при підготовці спільних проєк-

тів в рамках державних та міжнародних наукових програм. В освітній сфері функціонування таких структур сприяє вдосконаленню існуючих та створенню нових програм навчальних курсів для студентів, які враховують сучасний досвід та потреби установ, що входять до складу Національної академії наук України, передових компаній та підприємств, полегшує впровадження в навчальний процес сучасних навчальних технологій, створює підґрунтя для залучення відомих українських та міжнародних вчених для викладання циклів лекцій для студентів інституту (рис.4), проведення спеціалізованих лабораторних робіт на унікальному обладнанні.

Окрім цього, наявність тісної співпраці колективу ІМЗ ім. Є.О. Патона з науковцями інститутів НАН України та провідних підприємств сприяє підвищенню якості навчально-методичних матеріалів кафедр, полегшує організацію тривірневої системи підготовки фахівців за схемою бакалавр – магістр – PhD, надає можливість здійснювати підготовку фахівців всіх



Рис. 4. Юрій Гогоці – всесвітньо відомий випускник ІФФ КПІ, д.т.н, проф., засновник Інституту нанотехнологій Університету Дрекселя (Філадельфія, США), номінант на Нобелівську премію в галузі фізики 2019 р., проводить відкриту лекцію в КПІ ім. Ігоря Сікорського (2020 р.).

рівнів під спільним науковим керівництвом. Не менш важливою є інноваційна складова в роботі інституту. Таке широке об'єднання дозволяє інтенсифікувати процес оприлюднення результатів наукових досліджень, сприяє зосередженню спільних зусиль в організації конференцій, семінарів, публікації результатів у відомих наукових виданнях, що забезпечує ефективне інформування підприємств та виробників про створені нові матеріали та технології, сприяє обміну досвідом з провідними фахівцями України та світу. Така робота сприяє розбудові кадрового потенціалу університету та відповідних наукових шкіл. Загалом, наявність в структурі інституту таких наукових центрів та лабораторій сприяє залученню підприємств та організацій роботодавців до реалізації навчального процесу та наукової роботи студентів та аспірантів, забезпечує підвищення якості виконання студентами кваліфікаційних робіт всіх рівнів та отримання ними практичних навичок дослідницької роботи, вдосконаленню викладання навчальних дисциплін з урахуванням сучасних вимог науки, промисловості та роботодавців. ІМЗ ім. Є.О. Патона входить до складу спільного німецько-українського факультету (Університет Отто Фон Геріке), бере участь в програмі подвійного диплому з Федеральним університетом Уберландія (Бразилія). Вкрай важливе завдання покладене на Центр підготовки персоналу Міжнародного інституту зварювання (МІЗ), який є акредитованим Навчальним центром МІЗ з підготовки міжнародних сертифікованих фахівців-зварників за програмами підготовки: International Welding Engineer, International Welding Technologist,

International Welding Inspector. Ним забезпечується підвищення рівня підготовки не лише бакалаврів, магістрів та аспірантів ІМЗ ім. Є.О. Патона та інших інженерних факультетів КПІ ім. Ігоря Сікорського, а і дипломованих фахівців підприємств і організацій, що працюють в напрямку зварювання. Розвитку цього напрямку діяльності сприяє залучення провідних фахівців України до створення новітньої методичної бази, яка відповідає світовим вимогам, включаючи підручники для навчання міжнародних інженерів, технологів і інспекторів зварників відповідно до вимог Міжнародного інституту зварювання з урахуванням тенденцій розвитку зварювальної науки, техніки і технологій. Таким чином, створення ІМЗ ім. Є.О. Патона забезпечить існування в КПІ ім. Ігоря Сікорського сучасного навчально-наукового центру міжнародного рівня з розробки нових матеріалів і інтелектуальних технологій їх з'єднання на основі об'єднання потенціалу провідних наукових шкіл КПІ ім. Ігоря Сікорського в галузі матеріалознавства, металургії, зварювання, інженерії поверхні і лазерних технологій, а також забезпечення якості матеріалів, виробів та конструкцій. А основною перевагою новоствореної структури є можливість забезпечення повного життєвого циклу матеріалів, що об'єднує їх створення, виробництво, з'єднання, застосування та утилізацію. Такий підхід дозволить ІМЗ ім. Є.О. Патона виконувати розширене коло наукових та інноваційних проектів та підвищить внесок української науки в сучасне світове матеріалознавство.



## С.І. КУЧУКУ-ЯЦЕНКУ – 90



2 серпня 2020 р. виповнилося 90 років з дня народження першого заступника директора Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, академіка НАН України Сергія Івановича Кучука-Яценка.

Сергій Іванович після закінчення Київського політехнічного інституту за розподілом був направлений на роботу в Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона, де пройшов славний трудовий шлях від молодого фахівця-інженера до професора, доктора технічних наук, завідувача одного з провідних відділів, першого заступника директора Інституту з наукової роботи, академіка Національної академії наук України. У 1960 р. С.І. Кучук-Яценко захистив кандидатську, а у 1972 р. – докторську дисертації. У 1978 р. він був обраний членом-кореспондентом, а у 1987 р. – дійсним членом Національної академії наук України.

Наукова діяльність С.І. Кучука-Яценка пов'язана з дослідженнями фізико-металургійних процесів при зварюванні різних матеріалів у твердій фазі. Зокрема, ним отримані нові дані про особливості формування з'єднань з утворенням тонкого шару розплаву на контактуючих поверхнях деталей, що зварюються, його поведінці під дією електродинамічних сил і особливості його взаємодії з газовим середовищем в зоні контакту. Вперше було показано, що стан розплаву в період деформації деталей, що зварюються, надає домінуючий вплив на утворення металевих зв'язків між контактуючими поверхнями і формування хімічної неоднорідності в зоні з'єднання. Детально вивчено вплив оксидних структур в розплаві на якість з'єднань та визначено шляхи мінімізації окислювальних процесів в зазначений період зварювання.

Поряд з перерахованими дослідженнями С.І. Кучук-Яценко протягом багатьох років проводить цілеспрямоване вивчення швидкоплинних процесів нагріву і руйнування одиничних контактів при високих концентраціях енергії. Їм встановлено ряд нових закономірностей, що характеризують енергетичні показники процесу контактного плавлення металів, визначено шляхи автоматичного управління основними параметрами процесу з метою отримання найбільш сприятливих умов нагріву і деформації деталей, що зварюються.

Практичним результатом перерахованих фундаментальних досліджень є розробка С.І. Кучуком-Яценком нових способів контактного зварювання безперервним, імпульсним, пульсуючим оплавленням, запатентованих в провідних країнах світу. На їх основі С.І. Кучуком-Яценком спільно з колективом співробітників були розроблені технології зварювання різних виробів, системи управління і нові зразки зварювального обладнання, що не мають аналогів у світовій практиці. Устаткування відрізняється високою продуктивністю, мінімальною споживаною потужністю і масою, забезпечує стабільну і високу якість з'єднань. Ці переваги найбільш значимі при зварюванні деталей складної конфігурації з великими поперечними перетинами. В останні роки він проводить дослідження контактного зварювання опором деталей з важкозварювальних сплавів, композиційних матеріалів з використанням активуючих покриттів і спеціальних прошарків, що мають композиційну структуру, в тому числі що складаються з багат шарових наноструктурованих матеріалів. Це дозволило створити нові технології з'єднання жароміцних матеріалів на основі інтерметалідів нікелю і титану, а також інструментальних сплавів. Наукова та інженерна діяльність С.І. Кучука-Яценка характеризується комплексним підходом до вирішення поставлених завдань. Виконані ним фундаментальні дослідження супроводжуються розробкою оригінальних технологій зварювання, автоматичного і в останні роки комп'ютеризованого управління процесом зварювання і створенням сучасного зварювального обладнання.

За його безпосередньої участі здійснюється організація промислового виробництва розробленого нового зварювального устаткування і його масове впровадження у виробництво. Ось деякі найбільш значущі етапи діяльності С.І. Кучука-Яценка.

Понад п'ятдесят років С.І. Кучук-Яценко займається роботами по зварюванню рейок. Розроблені за його активної участі і керівництві технології та обладнання для зварювання рейок дозволили вперше в світовій практиці застосувати високопродуктивне контактне зварювання в польових умовах, що значною мірою сприяло переходу залізниць на безстикові шляхи. За активної участі С.І. Кучука-Яценка серійний випуск такого устаткування по документації ІЕЗ був організований на Каховському заводі електрозварювального обладнання, який з 1970-х років став світовим експортером такого обладнання. За минулі роки створено понад десяти поколінь рейкозварювальних машин, які використовуються в ба-

гатьох країнах світу. С.І. Кучук-Яценко бере активну участь в удосконаленні цього обладнання і технології зварювання, що дозволяє підтримувати його високу конкурентоспроможність. В останні роки створені нові покоління зварювальних машин, що дозволяють зварювати рейки нескінченної довжини при ремонті безстикових шляхів з одночасною стабілізацією їх напруженого стану. У 1966 р. за розробку та впровадження машини для стикового зварювання рейок при ремонті і будівництві безстикових залізничних колій С.І. Кучуку-Яценку в складі авторського колективу присуджена Ленінська премія. Йому присвоєно звання «Почесний залізничник СРСР».

Розробки С.І. Кучука-Яценка та його співробітників успішно використані також на машинобудівних заводах при виготовленні кільцевих заготовок, валів і заготовок з різномірних матеріалів. Особливо ефективним виявилось застосування багатопозиційного контактного зварювання, що дозволяє зварювати великогабаритні деталі одночасно в декількох місцях (корпуси двигунів, радіатори потужних трансформаторів). Впровадження однієї установки в лінії виробництва картерів блоків потужних дизелів на одному з тепловозобудівних заводів дозволило підвищити продуктивність праці в 70 разів і вивільнити 380 зварювальників. Значний ефект отримано також в результаті багатопозиційного зварювання на Запорізькому трансформаторному заводі при виготовленні радіаторів трансформаторів. У 1976 р. С.І. Кучук-Яценко в складі авторського колективу удостоєний Державної премії УРСР за створення і промислове впровадження нової технології та високоефективних складально-зварювальних комплексів для серійного виробництва великогабаритних конструкцій з уніфікованих елементів. Вперше у світовій практиці С.І. Кучуком-Яценком з групою співробітників була розроблена оригінальна технологія контактного зварювання виробів складної форми і великого перетину з високміцних сплавів на основі алюмінію, що забезпечує отримання сполук з міцністю, що практично дорівнює міцності основного металу. На її основі розроблено і освоєно виробництво унікального обладнання, яке використовується при виробництві космічної техніки на заводах України. У 1986 р. С.І. Кучук-Яценко в складі авторського колективу удостоєний Державної премії СРСР за створення технології та обладнання для контактного стикового зварювання конструкцій з високміцних алюмінієвих сплавів.

Значний внесок С.І. Кучук-Яценко вніс у створення технології та обладнання для контактного стикового зварювання трубопроводів різного призначення. За його активної участі розроблені технології, системи керування й устаткування для контактного стикового зварювання труб діаметром від 60 до 1400 мм і виконано його широкомасштабне

впровадження при будівництві трубопроводів на території колишнього СРСР. З використанням КСЗ зварено понад 70 тис. км різних трубопроводів, в тому числі 4 тис. км найпотужніших трубопроводів в районах Крайньої Півночі. Застосування КСЗ дозволило підвищити продуктивність праці і забезпечити надійність трубопроводів. Ця робота була також відзначена Ленінською премією у 1989 р.

Під керівництвом С.І. Кучука-Яценка та за його безпосередньої участі безперервно тривають роботи зі створення технологій зварювання тиском неповоротних стиків труб різного призначення. Вперше у світовій практиці розроблені технології та обладнання для пресового зварювання з нагрівом дугою, керованою магнітним полем, труб діаметром до 300 мм з товщиною стінки 5...15 мм, що відрізняються високою продуктивністю при мінімальній енергоємності процесу.

С.І. Кучук-Яценко бере активну участь на всіх етапах виконання перерахованих робіт. У 1998 р. йому присвоєно звання «Заслужений діяч науки і техніки України», у 2000 р. – Премія ім. Є.О. Патона за наукову роботу «Зварювання в твердій фазі».

С.І. Кучук-Яценко автор більше 700 наукових публікацій, в тому числі 10 монографій, 350 авторських свідоцтв. Їм отримано понад 300 українських і зарубіжних патентів, багато з яких придбані за ліцензійними угодами зарубіжними фірмами.

В даний час академік С.І. Кучук-Яценко продовжує займатися актуальними проблемами в галузі зварювання, створенням прогресивних технологій з'єднання важкозварювальних матеріалів. Він очолює один з провідних наукових відділів Інституту електрозварювання. С.І. Кучук-Яценко тривалий час плідно співпрацює з Каховським заводом електрозварювального устаткування – одним з провідних підприємств-виробників зварювального обладнання в Україні. Він бере активну участь в організації серійного виробництва контактних стикових машин для зварювання залізничних рейок і труб.

С.І. Кучук-Яценко є заступником голови Вченої ради ІЕЗ, заступником головного редактора журналу «Автоматичне зварювання». Ним підготовлено більше десяти кандидатів і докторів технічних наук. Він був обраний першим президентом Товариства зварників України, входить до складу його правління, є членом Товариства зварників США та Великобританії.

Заслуги вченого відзначені двома орденами Трудового Червоного Прапора, орденом Знак Пошани, орденами Князя Ярослава Мудрого, медалями.

*Колектив Інституту електрозварювання  
ім. Є.О. Патона, редколегія та редакція журналу  
«Автоматичне зварювання»*

## Реферати статей з журналу

«Welding in the World», №7, 2020 р.\*

**Фізичні основи та моделювання повзучості в сталях.** *Stan T. Mandziej*, pp. 1119-1134

Симулятивний тест на прискорену повзучість був розроблений як відповідь на загальну потребу отримати в короткі терміни корисні фізичні дані для визначення довготривалої поведінки матеріалів, що піддаються експлуатації в умовах напруги при підвищених температурах у виробництві електроенергії та хімічній промисловості. Крім того, останні часті зупинки електростанції через додавання сонячної / вітрової енергії до мережі вимагають отримання даних про втомну повзучість, які не можуть надати стандартні випробування на повзучість. У відповідь на ці потреби було розроблено процедуру термомеханічної втоми, яка враховувала фізичні явища, що спричиняють трансформацію мікроструктури під час повзучості, зокрема, породження дислокаційних підструктур, їх роль у зародженні порожнеч і тріщин, активізації осаждення карбідів та зниженню механічних властивостей при тривалому впливі підвищених температур. Фактична процедура теста генерує адекватні дані для розрахунку справжнього терміну експлуатації випробуваного матеріалу, що витримує повзучість, для номінального напруження.

**Дослідження мікроструктури швів на зварних з'єднаннях дуплексних нержавіючих сталей з використанням технології дугової термічної обробки.** *Andrea Putz, Vahid A. Hosseini, Elin M. Westin & Norbert Enzinger*, pp.1135-1147

Техніка термічної обробки застосовувалася для з'єднань стандартних дуплексних нержавіючих сталей з метою дослідження впливу термічної обробки, наприклад, при багатопрхідному зварюванні, на мікроструктуру швів. За допомогою нерухокої дуги в межах одного зразка розвивається просторове стаціонарне температурне поле, що змінюється від ліквідусу до кімнатної температури, і призводить до зміни мікроструктури. Дугову термічну обробку застосовували протягом 10 та 60 хв відповідно, а результати експериментів порівнювали з термодинамічними розрахунками. Металографічні дослідження виявили утворення вторинних фаз у різних зонах. Для термообробленого зразка протягом 10 хв утворення  $\sigma$ -фази спостерігалось у температурному діапазоні 730...1000 °C, а  $\psi$ -фаза виявлена вище 700 °C. Для зразка 60 хв обробки  $\sigma$ -фаза утворилася між 675 і 1025 °C, тоді як  $\psi$ -фаза утворилася вище 600 °C. В обох зразках спостерігали трансформацію  $\psi$ -фази в  $\sigma$ -фазу, а також утворення вторинного аустеніту при 575...1100 °C. Виміри твердості визначили крихкі ділянки, які корелювали з областями,

\* «Welding in the World», Vol. 64, Issue 7

збагаченими  $\sigma$ -фазою та розкладанням фериту. Порівняно з початковою мікроструктурою, регіони з вторинними фазами виявляли підвищену чутливість до локальної корозії при випробуванні відповідно до ASTM A262-Practice A.

**Вплив змінних параметрів на тиск дуги при GTAW процесі.** *Gabriel de Simas Asquel, Ana Paula Storto Bittencourt & Tiago Vieira da Cunha*, pp. 1149-1160

У даній роботі представлено вплив зварювального струму, відстані електрода-заготовки, складу електрода, діаметра електрода кута нахилу наконечника електрода, складу екрануючого газу та частоти імпульсних струмів на тиск газової вольфрамової дуги (GTAW). У цьому дослідженні були проведені випробування на тиск дуги над отвором діаметром 1 мм на мідній пластині, що не плавиться, з водяним охолодженням. Отвір було з'єднано з датчиком диференціального тиску через подовжувальну трубку. Як результат, тиск зварювальної дуги був прямо пропорційним квадрату зварювального струму та діаметру вольфрамового електрода. Більше того, тиск збільшується в міру зменшення відстані електрода-заготовки і обернено пропорційний куту нахилу наконечника електрода для кутів, що перевищують 45 °. Також електродний склад, частота імпульсного струму та газовий склад впливають на тиск зварювальної дуги.

**Вплив залишкових напружень в зварних швах, отриманих при електронно-променевому зварюванні, на оцінку температури припинення росту тріщини.** *Chiyomi Iwatake, Masahito Kaneko, Kazuyuki Matsumoto, Tsutomu Fukui, Shuji Aihara & Tomoya Kawabata*, pp. 1161-1174

Концепція припинення росту крихких тріщин останнім часом стала міжнародною проблемою для контейнерних суден. Міжнародна асоціація класифікаційного товариства (IACS) також призначила єдину вимогу (UR – unified requirement) для способу припинення росту крихких тріщин, і спосіб припинення росту крихких тріщин було схвалено на міжнародному рівні. В якості одного з методів оцінки крихкої тріщиностійкості в 1990-і роки була запропонована концепція температури припинення росту крихких тріщин (CAT – crack arrest temperature), яка заснована на ізотермічному тесті припинення росту тріщини. Цей концепт застосовувався головним чином для проектування резервуарів. Однак не було встановлено жодного стандарту, що описує детальну процедуру оцінки. Це означає, що тільки обмежені організації можуть оцінювати CAT, і це вважається проблемою, коли оцінка проведення зупинки санкціонована в якості міжнародного стандарту. На тлі таких обставин

японські дослідницькі групи, включаючи Японське зварювальне інженерне товариство (JWES) і Nippon Kaiji Kyokai (ClassNK), почали стандартизацію для випробувань CAT у 2016 р. Були досліджені різні аспекти керуючих факторів на основі результатів численних експериментів і чисельних розрахунків. Випробування CAT повинно включати зону окрихчення для ініціювання крихкої тріщини. До окрихненої зони можна застосувати або лінійний перепад електронного пучка (ЕП), або локальний градієнт температури (LTG – local temperature gradient). Навіть якщо ми зосередимося тільки на зварюванні ЕП, дефекти зварювання в зоні окрихчення можуть бути впливовим фактором. У цій доповіді ми досліджуємо вплив залишкових напруг при зварюванні ЕП на рушійну силу розкриття тріщини, яка визначається як величина  $K$  за допомогою методу кінцевих елементів 3D (МКЕ). В результаті ми підтвердили існування залишкової напруги, що не може бути проігнорована, яка утворюється на поверхні зварюваної ділянки ЕП; однак вплив цього на величину  $K$  вважається незначним, якщо умови випробувань CAT можуть достатньо забезпечити довжину тріщини. Цей результат показує, що рушійна сила в точці зупинення CAT може бути просто оцінена формулою LEFM (linear elastic fracture mechanics) без урахування залишкової напруги зварного шва ЕП для окрихчення.

**Вплив окалини на геометрію зварного шару та тепловий цикл при зварюванні GTA високоміцних сталей.** *Rahul Sharma, Uwe Reisgen*, pp. 1175-1183

Високоміцні сталеві важкі плити після виробництва зазвичай покриваються окалиною. Її морфологія, структура та хімічний склад визначаються декількома факторами, наприклад, параметрами прокатки, швидкістю охолодження, методом гасіння та легуючими елементами. Окаліну перед зварюванням бажано видалити. У зварювальній практиці видалення окалини в багатьох випадках недостатнє і може призвести до дефектів зварювання. У цій роботі проаналізовано вплив шару окалини на геометрію зварного шару та тепловий цикл під час зварювання GTA. Кілька високоміцних сталей з різним хімічним складом та товщиною пластин використовувались для зварювання.

**Чисельне дослідження методів оцінки CTOD для лазерних зварних швів.** *Yasuhito Takashima, Chendong Shao, Fenggui Lu & Fumiyoshi Minami*, pp. 1185-1193

У даній роботі запропоновано метод оцінки розкриття у вершині тріщини (CTOD – crack tip opening displacement) в лазерних зварних швах. Теоретична модель оцінки CTOD розроблена Dugdale and Bilby et al. (Модель DBCS) була використана для лазерного зварювання пластин. Напруга текучості металу лазерного шва і вузька ширина твердої зони впливали на CTOD, і була досліджена корекція напруги плинності з використанням моделі DBCS для отримання відповідної оцінки CTOD. Для застосування моделі DBCS до оцінки CTOD для лазерних звар-

них швів була запропонована еквівалентна концепція межі плинності. Еквівалентна напруга плинності залежала від коефіцієнта неузгодженості міцності і ширини твердої зони, оскільки напруга плинності металу лазерного шва зменшується з втратою обмеження, викликаної пластичною деформацією, яка сталася в основному металі. Прогнозований CTOD за величиною прикладеного навантаження, отриманий з використанням запропонованого методу оцінки, добре узгоджується з експериментальними критичними CTOD для лазерних зварних швів конструкційної сталі класу 780 і 520 МПа.

**Залишкові напруги в термітних зварних рейках: значення додаткової ковки.** *B. Lennart Josefson, R. Bisschop, M. Messaadi, J. Hantusch*, pp. 1195-1212

Процес алюмотермічного зварювання (ATW – aluminothermic welding) – це найчастіше застосовуваний процес зварювання для зварювання рейок (колії) у польових умовах. Велика кількість металу зварного шва, що додається в процесі ATW, може призвести до широкої нерівномірної поверхні головки рейки, що в рідкісних випадках може призвести до нерівномірності зносу та пластичної деформації через високі динамічні зусилля коліс-рейок при проходженні коліс. Ця стаття вивчає впровадження додаткового кування в процес ATW, призначеного для зменшення ширини зони, на яку впливає тепловіддача, не створюючи при цьому більш згубного залишкового поля напруги. Моделювання з використанням нової термомеханічної моделі TE процесу ATW показують, що додавання тиску кування призводить до дещо меншої ширини зони, на яку впливає тепло. Це також виявляється в металургійному дослідженні, показуючи, що ця зона (зона зварного металу та зона, що зазнає впливу тепла) є повністю перлітною. Лише граничні відмінності виявляються в залишковому напруженому полі, коли застосовується додаткове кування. В обох випадках великі залишкові напруги при розтягуванні знаходяться в рейці на шві при зварюванні. Додаткове кування може підвищити ризик гарячого розтріскування через збільшення пластичних деформацій у зоні, що зварюється.

**Аналіз EBSD мікроструктур та механічних властивостей пом'якшених зон у зварному з'єднанні трубопроводу із сталі X60 після циклічної пластичної деформації.** *Yuanbo Jiang, Chengning Li, Xinjie Di, Dongpo Wang, Jiangcheng Liu*, pp. 1213-1225

Метою цього дослідження було оцінити мікроструктурну еволюцію розм'якшених зон після циклічної пластичної деформації (CPD – cyclic plastic deformation) та вплив CPD на механічні властивості зварних з'єднань трубопроводів із сталі X60. Результати показали, що існування пом'якшеної зони призвело до того, що деформація в основному концентрувалася в цій області в процесі CPD. Мінімальна твердість пом'якшеної зони була на  $HV$  18 меншою, ніж основний метал (ОМ). Коли глобальна деформація зварних з'єднань зросла з початкового стану без CPD до 5 % деформації, середня дезорієнтація ядра

міжкритичного ЗТВ, незначно зросла з 0,66 до 0,87°, що призвело до незначного зростання твердісті. Незважаючи на наявність пом'якшених зон у ЗТВ, розташування розриву при розтягуванні було на ОМ, що пояснювалося комбінованим ефектом робочого зміцнення в пом'якшених зонах типу канавки, та стримуючим ефектом зварного з'єднання незалежно від рівні деформації CPD. Зниження пластичності зварних з'єднань було зумовлено концентрацією напруги, викликаною дислокаційними накопиченнями в процесі CPD, а потім призводило до раннього утворення мікроволокон.

**Лазерне трансмісійне зварювання напівкристалічного поліпропілену без поглинаючих агентів за допомогою квазісинхронної стратегії опромінення.** *Nam-Phong Nguyen, Stefan Behrens, Maximilian Brosda, Alexander Olowinsky & Arnold Gillner*, pp. 1227-1235

На відміну від інших методів з'єднання, лазерне трансмісійне зварювання надає унікальні переваги, такі як селективну та безконтактну передачу енергії. Це дозволяє виготовляти шви зі складною геометрією при малих механічних і теплових навантаженнях. Однак використання поглинаючих добавок для нижньої поверхні, що з'єднується, таких як сажа, є вирішальним, оскільки більшість полімерів прозорі в спектральному діапазоні типових джерел лазерного пучка (800...1100 нм). Новим підходом є застосування джерел пучка, що випромінюють в межах власних смуг поглинання полімерів між 1500 і 2000 нм. Це дає можливість лазерного зварювання прозорих полімерів без абсорбуючих агентів для медичних чи мікрофлюїдних застосувань, таких як пристрої Lab-on-a-Chip. З іншого боку, основним недоліком є велика зона термічного впливу (ЗТВ) через об'ємне поглинання, яке розповсюджується на весь поперечний переріз. Можливий спосіб подолати цей недолік – це квазісинхронна стратегія опромінення. У минулому було доведено, що ЗТВ полікарбонату (ПК) може бути зменшена у вертикальному напрямку до 30 % порівняно з контурним зварюванням. Оскільки ефекти розсіювання випромінювання при квазісинхронній стратегії опромінення без абсорбуючих агентів досі невідомі, розповсюдження пучка моделювалося в поліпропілені (ПП). На основі отриманих результатів було проведено теплове моделювання зварювального процесу за допомогою методу кінцевих елементів (МКЕ). Надалі імітаційну модель оцінювали шляхом порівняння результатів з експериментальними випробуваннями.

**Порівняння впливу очищеного відшарування з HFMI-обробкою або використанням витратних матеріалів ЛТТ на міцність втомлення сталі з 1300 МПа.** *Ebrahim Harati, Lars-Erik Svensson & Leif Karlsson*, pp. 1237-1244

Були виготовлені зразки Т-образних з'єднань з сталі міцності 1300 МПа, використовуючи звичайні або низькі температури трансформації (ЛТТ – low transformation temperature). Зварені зразки або

піддавалися обробці високочастотним механічним впливом (HFMI – to high-frequency mechanical impact), або обстрілюванню. Випробування на втому проводили при повністю зворотному, постійному амплітудному навантаженні на згин. Удар бойком привів до значного збільшення сили втоми протягом більш ніж 50 000 циклів. Зварні ЛТТ шви мали найвищу втомну міцність, звичайні зварні шви мали дещо меншу втомну в'язкість. Обробка HFMI звичайними та ЛТТ зварними швами також покращила втомну в'язкість, але в меншій мірі, підтримуючи нахил у діаграмі SN близько трьох, тоді як зразки, відстріляні, мали нахил 5-7. Значні відмінності в стисканні залишкового напруження спостерігалися між різними зварними швами, причому найбільше напруження при стисненні було виявлено у зразках після пострілу. Це, мабуть, було однією з головних причин покращення терміну втомленості відстріляних зразків.

**Вплив підвищеної в'язкості, коефіцієнта  $R$  та товщини пластини на стійкість до стомлення сталевих з'єднань після високочастотного механічного впливу (HFMI).** *M. Leitner & Z. Barsoum*, pp. 1245-1259

У 2016 р. Міжнародний інститут зварювання (IIW) опублікував рекомендацію щодо обробки високочастотним механічним впливом (HFMI – high-frequency mechanical impact) для покращення втомної міцності зварних з'єднань. З моменту опублікування рекомендацій HFMI було опубліковано чимало досліджень із значною кількістю нових даних про тест на виснаження, присвячених різним аспектам поліпшення; вплив міцності вихідного матеріалу, ефекту навантаження та товщини. Аналіз показує, що рекомендоване поліпшення класів втоми на основі міцності вихідного матеріалу добре застосовується. Крім того, добре розглядається зниження класів втоми для вищих коефіцієнтів  $R$  до визначеного значення  $R = 0,52$ . Нарешті, практичність коефіцієнта корекції товщини також підтверджується, ведучи до консервативної оцінки втоми. Показано, що відношення статистично оціненого класу FAT до рекомендованого значення є консервативним зі значенням вище одного майже для кожного набору даних; однак, навіть у деяких незначних випадках цей коефіцієнт є нижчим за одиницю, кожна окрема точка тесту в цьому дослідженні оцінюється консервативно, підтверджуючи придатність цієї рекомендації.

**Моделювання наповнювача на основі Ti при вакуумній пайці сплаву TA 15.** *Yongjuan Jing, Huaping Xiong, Yonglai Shang & Yaoyong Cheng*, pp. 1261-1268

Була створена модель для чотириелементного матеріалу зі структурою HCP EET. Проаналізували за моделлю наповнювач TiZrCuNi. Було встановлено, що елемент Ni корисний для міцності наповнювача, але елемент Cu сприятливий для пластичності наповнювача. Це показало, що важ-

ливо контролювати кількість Cu та Ni при правильному розподілі їх. Порівняно з наповнювачем Ti-13Zr-22Cu-9Ni, мас.%, розроблено наповнювач Ti-(10 ~ 11) Zr-(10 ~ 12) Cu-(9 ~ 10) Ni, мас.%. При зниженні в ньому кількості Cu та Ni до 19 мас.% також має міцну міцність і хорошу пластичність. Сплав ТА 15 методом вакуумного паяння з'єднували з призначеним металом наповнювача – Ti- (10 - 11) Zr- (10 ~ 12) Cu- (9 ~ 10) Ni, мас.%. Була досягнута однорідна мікроструктура Widmanstätten, яка характерна для високої міцності з'єднань.

**Про викривлення консольних балок з порожнистим перерізом.** *Timo Björk, Antti Ahola & Tuomas Skriko*, pp.1269-1278

У цьому документі розглядається аналіз напруженості балки консольної коробки, підданої статичному або коливальному навантаженню крутного моменту. Такі балки можуть мати декілька критичних місць з точки зору міцності; однією цікавою деталлю є переріз, де накладається навантаження. Однак такі деталі, як правило, можуть бути розроблені для отримання гладких форм, що призводить до помірних концентрацій напруги, що означає, що можна уникнути збоїв втомі. Однак деформація поперечного перерізу індукує поперечні напруги на згин, які можуть бути згубними, особливо у зварних балках коробки. Крім того, місце кріплення, де брус зазвичай приварюється до торцевої пластини, може стати критичною точкою. У цій роботі представлений аналітичний підхід для обчислення поздовжніх напружень за рахунок викривлення поперечного перерізу, а також викликаних спотвореннями поперечних та поздовжніх напружень у прямокутних порожнистих перерізах. Аналізи кінцевих елементів проводяться з метою перевірки аналітичного підходу до проливання світла на критичні точки деталей торцевої пластини з різним ступенем проникнення зварного шва, використовуючи концепцію ефективної напруги на зріз (МКЕ) та запропонування проектних пропозицій для ефективної конструкції, деталізації діафрагмових пластин для зменшення деформації.

**Детальне дослідження клейового стрічково-трубчастого Т-подібного з'єднання ламінованої композитної трубки FRP під осьовим стискаючим навантаженням.** *Kundan Bharti, L.A. Kumaraswamidhas & R.R. Das*, pp. 1279-1292

Композитні конструкції мають широке застосування в механічних галузях. Такі конструкції складаються з декількох з'єднань, що може мати ризик зрештою послабити конструкцію у разі надмірної ваги. Тому необхідно зміцнювати структури, щоб зменшити ймовірність виходу з ладу. Це дослідження було проведено за моделлю трубчастого Т-подібного з'єднання, що містить клейку стрічку. Робота також була зосереджена на тривимірному аналізі напруги на клейовій стрічці. Модель була виготовлена з ламінованих та армованих волокнами полімерних (FRP – fibre-reinforced

polymer) композитних труб з клейкою трикутною стрічкою, підданих осьовому стискаючому навантаженню. Моделювання та аналіз проводилися за допомогою методу кінцевих елементів (МКЕ) для трьох різних стиків з різними геометричними параметрами. Модель була підтверджена за допомогою результатів доступної кінцево-елементної моделі. На основі представлених результатів кінцево-елементної моделі, осьове напруження на перерізі опора-стрічка, кільцеве напруження та кільцево-осьове напруження при перетині хорди та стрічки виявили більший ефект порівняно з іншими компонентами напруження. Максимальне значення компоненти напруження було виявлено в області між опорою та хордою з'єднання, що з часом може спричинити руйнування. Вплив адгезійної стрічки на відхилення було детально вивчено за допомогою ANSYS 18.1. Результати показали, що відхилення моделі клейової стрічки можна зменшити на 12,36% у порівнянні з умовами без стрічки. На підставі отриманих результатів досліджень було встановлено, що наявність клейової стрічки значно зменшує ефект відхилення, а також покращує міцність з'єднання та стійкість конструкції.

**В'язка міцність поперечних кріпильних сталевих з'єднань з одностороннім дуговим зварюванням із застосуванням зварювальних матеріалів з низькою температурою перетворення.** *Takeshi Hanji, Kazuo Tateishi, Suguru Kano, Masaru Shimizu, Tadahisa Tsuyama & Toshio Takebuchi*, pp. 1293-1301

У цій роботі було досліджено застосування витратних матеріалів для дугового зварювання при низькій температурі перетворення (LTT – low transformation temperature) для поліпшення втомної міцності навідь при відмові від кореня зварного шва. Поперечні з'єднання, утворені одностороннім зварюванням, схожими на ребро-палубні з'єднання в ортотропних сталевих мостових колодах, виготовлялися за допомогою зварювального витратного матеріалу LTT і звичайного зварювального витратного матеріалу. Випробування на втомлюваність проводили з навантажувачів на згин поза площиною, використовуючи апарат для випробування на виснаження вібраційного типу. Результати випробувань показали, що в матеріалі з витратою LTT можна досягти більш високої втомної міцності порівняно зі звичайним. Крім того, залишкові напруги навколо зварного шару були уточнені за допомогою рентгенографічних вимірювань та аналізу кінцевих елементів. Результати виявили, що витратний метал зварювального металу LTT може зменшити залишкову напругу навколо зварного шва, а також ввести стиснене залишкове напруження в корінь зварного шва, що може сприяти поліпшенню втомної міцності.

## УСТАНОВКА АУНП-002

Установка АУНП-002 розроблена ТОВ «НВФ «ВІСП» (м. Київ) та призначена для автоматичного наплавлення технологічного шару металу на зовнішню поверхню деталей прокатного верстата ЛПЦ-1700: муфт, корпусів підшипників (подушок), шпинделів дротом суцільного перерізу в середовищі захисних газів, а також порошковим дротом. Установка призначена для експлуатації при температурі навколишнього середовища від 0 до +30 °С.

Установка являє собою комплекс обладнання, який дозволяє виконувати наплавлення технологічного шару металу на плоскі та циліндричні деталі. Основою установки є зібрані ліва та права колони з рейковими напрямними, по яких переміщається портал, на якому встановлено технологічне обладнання.

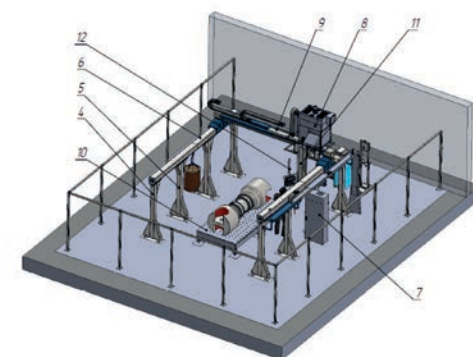
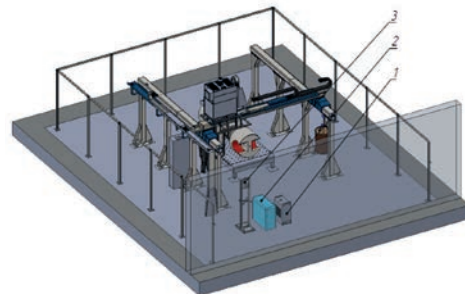
На верхній частині portalу установлені рейкові напрямні, по яким рухається каретка. На платформі каретки передбачене місце для встановлення фільтруючої системи відпрацьованих газів, для бочок з порошковим дротом, або дротом суцільного перерізу, а також розміщена вертикальна каретка, за допомогою якої організоване вертикальне переміщення пальника.

Конструкція дозволяє робити налаштування пальника по висоті і глибині, а також регулювати кут нахилу. Керування роботою установки здійснюється з виносного пульта та основного дисплея.



### ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

№	Найменування показників	Дані
1	Розміри деталей (max), які наплавляються, мм довжина ширина висота	3000 1200 1500
2	Метод наплавлення	MIG / MAG FCAW-G
3	Діаметр дроту для наплавлення, мм	1,6; 2,0; 2,4; 2,8; 3,2
4	Довжина горизонтального переміщення порталу, мм	3970
5	Довжина горизонтального переміщення каретки порталу, мм	2500
6	Довжина вертикального переміщення каретки пальника, мм	1300
7	Швидкість горизонтального переміщення каретки порталу, мм/хв.	3...6000
8	Швидкість горизонтального переміщення каретки порталу, мм/хв.	3...6000
9	Швидкість вертикального переміщення каретки пальника, мм/хв.	3...3600
10	Максимальна споживана потужність шафи керування, кВт	4
11	Максимальна споживана потужність системи аспірації, кВт	3
12	Максимальна споживана потужність зварювального джерела, кВт	70
13	Максимальна споживана потужність установки, кВт	77
14	Параметри мережі живлення	3N~/50Гц/380В
15	Габаритні розміри, мм довжина ширина висота	5300 5200 4300
16	Маса, без зварювального обладнання, кг	5200



1. Блок автономного охолодження
2. Блок живлення
3. Рампа
4. Стьїка бокова
5. Стьїка середня
6. Напрямна балка
7. Шухляда електрична
8. Фільтруюча система відпрацьованих газів
9. Портал
10. Стіл зварювальний
11. Каретка вертикальна
12. Пульт керування