

# З АВТОМАТИЧНЕ ЗВАРЮВАННЯ 2021

5

Автоматическая сварка

Automatic Welding

Видається 12 разів на рік з 1948 р.

Published 12 times per year since 1948

## ЗМІСТ

НОВИНИ .....

### Пленарні доповіді міжнародної конференції «Сучасні технології з'єднання матеріалів» 31 травня–2 червня 2021 р., м. Київ, ІЕЗ ім. Є.О. Патона

Кучук-Яценко С.І., Руденко П.М., Дідковський О.В.,  
Антипін Є.В. Операційний контроль процесу контактної  
сварки залізничних рейок методом пульсуючого  
оплавлення.....8

Коржик В.М., Гринюк А.А., Хаскін В.Ю., Ілляшенко Є.В.,  
Клочков І.М., Ганущак О.В., Yu Xuefen, Liuyi Huang.  
Підвищення ефективності роботизованого виготовлення  
сталевих фермових зварних конструкцій.....15

Аджамський С.В., Кононенко Г.А., Подольський Р.В.  
Підвищення продуктивності СЛМ-процесу шляхом  
регулювання діаметра фокусної плями променя  
лазерного пучка.....21

Лобанов Л.М., Сизоненко О.М., Головка В.В., Ташев П.,  
Липян Є.В., Присташ М.С., Торпаков А.С., Пашчин М.О.,  
Міходуй О.Л., Щерецький В.О. Розрядно-імпульсна  
обробка модифікатора системи Al–Ti–C .....28

Ахонін С.В., Білоус В.Ю., Селін Р.В., Петриченко І.К.,  
Радченко Л.М. Аргондугове зварювання високоміцного  
економнолегованого псевдо-β-титанового сплаву  
Ti–2,8Al–5,1Mo–4,9Fe .....34

Нестеренков В.М., Скрябінський В.В., Русиник М.О. Вплив  
термічних циклів електронно-променевого зварювання  
алюмінієвого сплаву 1570 на механічні властивості звар-  
них з'єднань.....40

Сахул Мір., Сахул Мар., Чаплович Л., Маронек М.,  
Клочков І., Мотруніч С. Аналіз властивостей зварних  
з'єднань алюміній-літійового сплаву останнього покоління,  
отриманих електронно-променевим зварюванням.....46

Сенченков І.К., Рябцев І.О., Червінко О.П., Бабінець А.А.  
Розрахунок залишкового напружено-деформованого стану  
наплавлених сталевих тонколистових пластин.....51

Тюрін Ю.М., Колісниченко О.В., Коржик В.М., Гос І.Д.,  
Ганущак О.В., Jin Ying, Zhong Fengping. Імпульсно-плазмові  
модифікування поверхні сталевих штампів гарячої витяжки  
виробів із титанового сплаву.....56

Костін В.А., Жуков В.В., Берднікова О.М., Головка В.В.,  
Кушнарйова О.С. Вплив модифікування металу зварних  
швів високоміцних низьколегованих сталей на їх структуру  
та властивості .....62

Штофель О.О., Головка В.В., Чижська Т.Г. Застосування  
фрактального та металографічного аналізів для оцінки  
якості металу зварних швів .....70

### СПАДЩИНА Б.Є. ПАТОНА

Предложения по развитию черной металлургии в 10-й  
пятилетке (1976–1980 г.).....75

### ІНФОРМАЦІЯ

Дисертації на здобуття наукового ступеня.....78

## CONTENT

NEWS .....

### Plenary papers for international conference «State-of-the-art technologies for joining materials» May 31 – June 2, 2021, Kyiv, E.O. Paton Electric Welding Institute

Kuchuk-Yatsenko S.I., Rudenko P.M., Didkovsky O.V.,  
Antipin Ye.V. Operational control of the process of flash butt  
welding of railway rails by the method of pulsating flashing.....8

Korzhyk V.M., Grynyuk A.A., Khaskin V.Yu., Illiashenko Ye.V.,  
Klochkov I.M., Ganushchak O.V., Yu Xuefen, Liuyi Huang.  
Improving the efficiency of robotic fabrication of steel truss  
welded structures .....15

Adjamskiy S.V., Kononenko G.A., Podolskiy R.V. Improving  
the efficiency of the SLM-process by adjusting the focal spot  
diameter of the laser beam.....21

Lobanov L.M., Syzonenko O.M., Holovko V.V., Tashev P.,  
Lypian Ye.V., Prystash M.S., Torpakov A.S., Pashchin M.O.,  
Mikhodui O.L., Sheretskiy V.O. Discharge-pulse treatment of  
the Al–Ti–C system modifier .....28

Akhonin S.V., Bilous V.Yu., Selin R.V., Petrichenko I.K.,  
Radchenko L.M. Argon-arc welding of high-strength sparsely-  
doped pseudo-β-titanium alloy Ti–2.8Al–5.1Mo–4.9Fe .....34

Nesterenkov V.M., Skryabinskiy V.V., Rusynuk M.O. Effect of  
thermal cycles in electron beam welding of aluminum 1570  
alloy on mechanical properties of welded joints .....40

Sahul Mir., Sahul Mar., Čaplovič L., Marónek M., Klochkov I.,  
Motrunich S. Analysis of the properties of electron beam  
welded joints of aluminium lithium alloy latest generation.....46

Senchenkov I.K., Ryabtsev I.O., Chervinko O.P., Babinets A.A.  
Calculation of residual stress-strain state of deposited steel  
thin-sheet plates .....51

Tyurin Yu.M., Kolisnichenko O.V., Korzhik V.M., Gos I.D.,  
Ganushchak O.V., Jin Ying, Zhong Fengping. Pulse-plasma  
modification of the surface of metal stamps of hot drawing of  
titanium alloy products.....56

Kostin V.A., Zhukov V.V., Berdnikova O.M., Golovko V.V.,  
Kushnaryova O.S. Effect of modification of weld metal of high-  
strength low-alloy steels on their structure and properties .....62

Shtofel O.O., Holovko V.V., Chyzhska T.G. Application of  
fractal and metallographic analyses for evaluation of quality of  
welds metal.....70

### B.E. PATON'S HERITAGE

Proposals on development of ferrous metallurgy in the 10<sup>th</sup>  
Five Year Plan (1976–1980).....75

### INFORMATIONS

Dissertations for a scientific degree.....78



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



Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона Національної академії наук України  
Міжнародний науково-технічний та виробничий журнал  
E.O. Paton Electric Welding Institute of National Academy of Sciences of Ukraine  
International Scientific-Technical and Production Journal

## Автоматичне зварювання Автоматическая сварка Automatic Welding

### РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Вчені ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАНУ:  
**І.В. Кривцун** (головний редактор),  
**В.М. Ліподаєв** (штатний заст. гол. ред.)  
**О.М. Берднікова, Ю.С. Борисов,**  
**В.В. Книш, В.М. Коржик,**  
**Ю.М. Ланкін, Л.М. Лобанов,**  
**С.Ю. Максимов, М.О. Пашчин,**  
**В.Д. Позняков, І.О. Рябцев,**  
**К.А. 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 2302, 200 8277  
Факс: (38044) 200 8277  
E-mail: journal@paton.kiev.ua  
www.patonpublishinghouse.com/ukr/journal/as

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

Рекомендовано до друку  
редакційною колегією журналу

Свідоцтво про державну  
реєстрацію КВ 4788 від 09.01.2001

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

### Передплата 2021

Передплатний індекс 70031.

12 випусків на рік (видається щомісячно).

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

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

Журнал «Автоматичне зварювання» перевидается  
англійською мовою під назвою  
«The Paton Welding Journal»:  
[www.patonpublishinghouse.com/eng/journals/tpwj](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:  
**I.V. Krivtsun** (Editor-in-Chief),  
**V.M. Lipodaev** (Staff Deputy Editor-in-Chief)  
**O.M. Berdnikova, Yu.S. Borisov,**  
**V.V. Knysh, V.M. Korzhik,**  
**Yu.M. Lankin, L.M. Lobanov,**  
**S.Yu. Maksimov, M.O. Pashchin,**  
**V.D. Poznyakov, I.O. Ryabtsev,**  
**K.A. Yushchenko;**  
**V.V. Dmitrik**, NTU «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv;  
**V.V. Kvasnytskyi, E.P. Chvertko**, NTUU «Igor Sykorsky  
Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv;  
**M.M. Student**, Karpenko Physico-Mechanical Institute  
of NASU, Lviv;  
**M. Zinigrad**, Ariel University, Israel;  
**U. Reisgen**, Welding and Joining Institute, Aachen, Germany;  
**Ja. Pilarczyk**, Welding Institute, Gliwice, Poland

### Founders

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

### Address

E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU  
03150, Ukraine, Kyiv-150,  
11 Kazymyr Malevych Str.  
Tel.: (38044) 200 2302, 200 8277  
Fax: (38044) 200 8277  
E-mail: journal@paton.kiev.ua  
[www.patonpublishinghouse.com/eng/journal/as](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 2021

Subscription index 70031.

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

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

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

Subscription is possible for previous issues for any year.

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

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

Підписано до друку 13.05.2021.  
Формат 60×84/8. Офсетний друк. Ум. друк. арк. 9,77.  
Друк ТОВ «ДІА».  
03022, м. Київ-22, вул. Васильківська, 45.

## ЗАПРОВАДЖЕННЯ НАЦІОНАЛЬНОЇ ПРЕМІЇ ІМЕНІ БОРИСА ПАТОНА

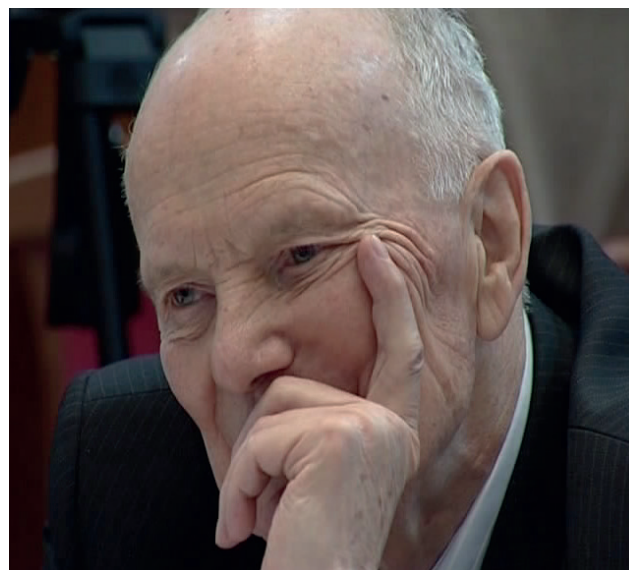
15 квітня Верховна Рада України ухвалила закон 5327 «Про внесення змін до статті 11 Закону України «Про державні нагороди», яким запроваджується Національна премія імені Бориса Патона.

Реалізація акта матиме позитивний вплив на сферу наукової і науково-технічної діяльності в цілому, оскільки він спрямований на увічнення пам'яті видатного українського вченого, організатора науки академіка Бориса Патона, якому були притаманні відданість своєму покликанню та невтомний творчий пошук, що надихатиме на наукові звершення наступні покоління вчених.

Борис Патон – державний та громадський діяч, Президент Національної академії наук України з 1962-го до 2020-го року, директор Інституту електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України, Герой України, академік. Помер 19 серпня 2020 року, у віці 101 рік.

Розмір премії визначається кожного року Указом Президента України в установленому порядку.

Закон розроблено Міністерством освіти і науки за ініціативи Президента України щодо увічнення пам'яті Героя України, видатного українського вченого та організатора науки Бориса Патона.



### В УЗБЕКИСТАНІ ЗАПУЩЕНО НОВИЙ ЕЛЕКТРОДНИЙ ЗАВОД – «МОНОЛІТ АЗІЯ»

В липні 2020 р. компанія «ПлазмаТек» в рамках проекту по розширенню присутності в країнах Середньої Азії ввела в експлуатацію завод «Моноліт Азія» з виробництва електродів в Узбекистані в м. Ташкент.

Виробничі потужності заводу розраховані на 1,5 тис. т електродів з рутіловим та основним покриттям. Після виходу обладнання на проектні показники загальна потужність Групи компаній з заводами в Україні, Білорусі та Узбекистані збільшиться до 7 тис. т електродів на місяць.



### ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВА ПЛАВКА ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ ЗЛИВКІВ ТИТАНУ

В ДП «Науково-виробничий центр «Титан» ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України» відпрацьована технологія електронно-променевої плавки великогабаритних зливків (діаметр 1080 мм, маса понад 10 т) сплавів титану з регламентованим вмістом кисню, вільних від включень високої та низької щільності. Технологія дозволяє використовувати у якості сировини брухт титану та титанову губку низьких сортів. Зливки виготовляються з оплавленою або механічно обробленою поверхнею.

*НВЦ «Титан» сьогодні:*

- основна наукова діяльність – розробка сплавів на основі титану, технологій та обладнання для їх виробництва способом електронно-променевої плавки (ЕПП);
- основна виробнича діяльність – виробництво зливків титанових сплавів і виготовлення обладнання для ЕПП;

- виробничі потужності – шість електронно-променевих установок;
- сертифікат на систему якості ISO 9001;
- міжнародні поставки — Англія, Китай, Німеччина, США, Франція, Швеція, Японія.



## ПАТОН ІНТЕРНЕСНЛ – ОДИН З НАЙБІЛЬШИХ ВИРОБНИКІВ ЗВАРЮВАЛЬНИХ ЕЛЕКТРОДІВ В УКРАЇНІ

Компанія «ПАТОН ІНТЕРНЕСНЛ» – провідний виробник зварювального обладнання та матеріалів на території України і країн СНД, які успішно застосовуються практично у всіх галузях економіки: від житлово-комунального сектора до важкого машино- і суднобудування. В асортименті продукції ПАТОН™ більше 35 позицій зварювального обладнання, а також більше 10 марок електродів для ручного дугового зварювання, які Компанія почала виробляти в 2016 р.

У грудні 2019 р. на основному виробничому майданчику ПАТОН ІНТЕРНЕСНЛ в Києві за адресою вул. Новопирогівська, 66 було введено в експлуатацію нову ділянку з виробництва зварювальних електродів. У складі ділянки сьогодні діють відділення: підготовки і дозування шихтових матеріалів, рубки стрижнів, опресовування електродів, термообробки, сортування і пакування готової продукції. Крім виробничих відділень до складу нового комплексу виробництва зварювальних електродів також увійшов лабораторний комплекс для забезпечення контролю виробничого процесу на всіх стадіях: від отримання сировини до прийнятно-здавальних випробувань кожної партії готової продукції.

На даний час налагоджено випуск найбільш поширених марок електродів ПАТОН™, що добре зарекомендували себе на ринку та виготовляються за класичною рецептурою (АНО-36, АНО-4, УОНІ-13/55, МР-3), електродів серії Elite, які виготовляються за поліпшеною рецептурою (Elite АНО-36, Elite АНО -21, 7018 Elite), а також електродів спеціального призначення (ЦЛ-11, ЦЧ-4, Т-590).

На ділянці введено в дію дві виробничі лінії, а в найближчій час планується закінчити пусконаладжувальні роботи третьої абсолютно нової лінії, збільшивши таким чином загальні виробничі потужності до 1000 т на місяць. Виробництво ведеться в цілодобовому режимі декількома бригадами загальною чисельністю понад 50 чоловік.



При організації нового виробничого майданчика основним завданням було визначено забезпечення найвищої якості продукції. Для досягнення цієї мети було переглянуто перелік постачальників сировинних компонентів і було посилено контроль за якістю сировини. Відібрані тільки найкращі українські компанії-постачальники, а також організовані прямі поставки високоякісних матеріалів з Німеччини, Словаччини, Нідерландів, Індії та інших країн. Проведено професійну підготовку та навчання персоналу з атестацією виробничих навичок для виконання основних технологічних операцій виробництва. Поточний контроль сировинних матеріалів і тестування готової продукції проводиться силами власного лабораторного комплексу з використанням наступного високотехнологічного обладнання: рентген-флуоресцентний аналізатор, аналізатори вуглецю, сірки, спеціалізований вібростенд.

Зазначене лабораторне обладнання разом з новітніми методиками контролю технологічного процесу виробництва забезпечують високу якість і стабільність робочих характеристик зварювальних електродів ПАТОН™, які відповідають всім необхідним вимогам до продукції такого роду, що підтверджується наявністю сертифікатів від провідних українських та міжнародних сертифікаційних організацій.

Продукція Компанії поставляється в більш ніж 50 країн по всьому світу і зварювальні електроди займають в структурі таких поставок одну з ключових позицій. Загальний обсяг експортних поставок електродів тільки в 2020-му році склав понад 4000 т.

У найближчих планах ПАТОН ІНТЕРНЕСНЛ – розширення номенклатури електродів і нарощування обсягів випуску за рахунок виходу на нові ринки збуту. Це дозволить Компанії в недалекому майбутньому вийти на лідируючі позиції даного сегмента ринку і закріпити свій статус провідного українського виробника як зварювального обладнання, так і зварювальних матеріалів.



## ДОСВІД ВПРОВАДЖЕННЯ СТАНДАРТІВ ДСТУ ISO 9001 В ПРОМИСЛОВІСТІ

Ефективність функціонування на ринку прямо залежить від результатів управління якістю. Якість продукції (її новизна, технічний рівень, відсутність дефектів, надійність в експлуатації) є одним з найважливіших засобів конкурентної боротьби, завоювання й утримання позицій на ринку. Процеси контролю на підприємстві починаються з контролю якості сировини і матеріалів і закінчуються визначенням відповідності продукту технічним характеристикам і параметрам, визначеним діючими стандартами. Тому управління якістю продукції стало основною частиною виробничого процесу і сформувався в сталу систему управління якістю на підприємстві ТОВ «ТМ.Велтек».

З метою розширення ринку продажів на підприємстві в квітні 2021 р. було проведено аудит провідними європейськими органами з сертифікації з метою підтвердження відповідності нашої системи управління якістю вимогам стандарту ISO 9001:2015 та отримання відповідних сертифікатів європейського зразка.

До цього в 2019 р. було проведено аудит системи управління якістю німецькою компанією DVS ZERT, яка підтвердила застосування стандарту ISO 9001:2015 в області «Розробка і виробництво порошкових дрітів». А за рік до цього

було сертифіковано дріт для зварювання, що підлягає класифікації по EN ISO 17632-A, німецькою компанією «TUV Rheinland» (спеціаліст з сертифікації Маркус Шмідт) на відповідність стандарту EN13479:2004. Треба сказати, що процедура проходження аудиту не була легкою, потрібно було надати дійсні докази відповідності системи управління якістю кожному пункту стандарту, продемонструвати відповідність виконання операцій технологічного процесу прописаним та затвердженим процедурам, довести, що персонал розуміє та виконує ці процедури і знає як діяти у випадку невідповідності.



## ПІДГОТОВКА СПЕЦІАЛІСТІВ З НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ В ІЕЗ

В ДП «Атестаційний центр неруйнівного контролю при ІЕЗ ім. Є.О. Патона» НАН України та Центрі сертифікації при Українському товаристві неруйнівного контролю та технічної діагностики відмічають, що в кінці 2020-го та в перші місяці 2021-го року зросло число заявок на навчання та атестацію фахівців з різних методів неруйнівного контролю. Це може говорити про відродження та розширення промислового виробництва в Україні.

Примітно, що серед кандидатів на атестацію більшість складають молоді інженери різних спеціальностей, які хочуть набути новий фах в галузі технічного контролю зварних з'єднань виробів та споруд. В ДП «АЦНК при ІЕЗ ім. Є.О. Патона» навчають та атестують фахівців з радіаційного, ультразвукового, магнітного, вихрострумного, капілярного, теплового, візуального, акустично-емісійного контролю та контролю герметичності. З кандидатами на атестацію працюють провідні фахівці з неруйнівного контролю з багаторічним досвідом роботи в цій галузі. Для навчання фахівців є достатня матеріальна база. Процедура атестації відбувається згідно міжнародних та українських нормативних документів: EN ISO 9712, SNT-TC-1A, НПАОП 0.00-1.63. Крім

фахівців України, а їх за останні півроку було більше 400, одержали сертифікати фахівці з Болгарії, Туреччини, Словенії, Латвії та Молдови.



## НАБІР СТУДЕНТІВ 2021

Приймальна комісія Інституту матеріалознавства та зварювання ім. Є.О. Патона при НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» об'являє набір студентів за спеціальностями:

### 132 МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

*Освітні програми:*

- нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів;
- металознавство та комп'ютерне моделювання процесів термічної обробки;
- металофізичні процеси та їх комп'ютерне моделювання.

### 136 МЕТАЛУРГІЯ

*Освітні програми:*

- комп'ютеризовані процеси лиття;
- спеціальна металургія.

### 131 ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА

*Освітні програми:*

- лазерна техніка та комп'ютеризовані процеси фізико-технічної обробки матеріалів;
- технології та інжиніринг у зварюванні;
- технологічні системи інженерії з'єднань і поверхонь.



Інститут матеріалознавства та зварювання ім. Є.О. Патона розпочав роботу з 1 липня 2020 р.

## ПЛАНИ РЕКОНСТРУКЦІЇ МОСТУ ІМ. Є.О. ПАТОНА

В 2020-му році фахівці ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України виконали технічне обстеження несучих зварних металоконструкцій мосту ім. Є.О. Патона.

Перший у світі суцільнозварний автомобільний міст довжиною 1543 м і шириною 27 м введено в експлуатацію 1 листопада 1953 р. Міст балочної конструкції з суцільними головними балками двотаврового перерізу довжиною 58 і 57 м, висотою 3,6 м, 26-пролітний, з опорами на кесонній основі. Пролітні споруди складаються з 264-х однотипних блоків довжиною 29 м, під час монтажу яких було зварено 10668 м швів.

Про необхідність реконструкції мосту заговорили у 1990-ті роки. Але на той час на це не було коштів. У 2008 р. про реконструкцію заговорили знову у зв'язку з підготовкою до Чемпіонату Європи з футболу у 2012 р. Був навіть розроблений проект, за яким планувалося зняти залізобетонне покриття і замінити більш легким металевим. За рахунок зменшення навантаження несучі балки змогли б витримати 8 смуг руху, замість 6-ти. Загальну ширину мосту збільшили б до 38 м. Втім через фінансові проблеми реконструкцію відклали на невизначений термін. У 2020 р. міст визнано



Під час відкриття мосту

аварійним, проте на підготування всіх документів потрібно ще 2 роки. На мосту вже закрили 2 крайні смуги через небезпеку.

Результати технічного обстеження передані інституту Укрпроектстальконструкція, який є головним в розробці проекту ремонту мосту.

В журналі «Технічна діагностика та неруйнівний контроль» №2 за 2021 р. буде надруковано статтю про технічний стан мосту ім. Є.О. Патона.





## **Вельмишановні колеги!**

*З великим задоволенням вітаю всіх учасників і гостей Міжнародної конференції та виставки, присвячених сучасним технологіям з'єднання матеріалів.*

*Зварювання, як і раніше, залишається провідною технологією в багатьох галузях виробництва. Тому коло проблем, що винесені для обговорення в ході роботи конференції, інформація про результати та досягнення в області зварювального виробництва, а також знайомство зі зразками зварювальних матеріалів і устаткування, що представлені на виставці, сприятимуть зміцненню наукових та ділових контактів, подальшому розвитку науково-дослідних і прикладних робіт.*

*Традиційна плідна співпраця науки та виробництва, постійне наукове супроводження з боку Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України і активна позиція виробників зварювальних матеріалів та устаткування дозволяють забезпечити їх високу якість, широкий попит як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках. Як приклад слід зазначити, що фахівці України допомогли створити ряд виробництв зварювальних матеріалів в багатьох країнах на пострадянському просторі.*

*Великий інтерес, на мій погляд, представляють доповіді, що присвячені плазмово-дуговим і гібридним процесам зварювання, різання, обробки матеріалів та нанесення покриттів; технологіям 3D-друку, роботизованого зварювання при виробництві зварних конструкцій, пайки та наплавлення; контролю контактнo-стикового зварювання реїок; сучасному ринку зварювальних матеріалів тощо.*

*Від імені Програмного комітету конференції хочу висловити щиру вдячність усім організаціям, підприємствам, компаніям і окремим фахівцям, які своєю активною підтримкою забезпечили можливість її проведення.*

*Висловлюю впевненість в тому, що розгляд питань, які виносяться на конференцію, обмін інформацією про досягнення, встановлення нових наукових і ділових контактів будуть сприяти розвитку нових пріоритетних напрямків досліджень у галузі зварювання та споріднених технологій і дозволять внести свій вклад в пожеввлення та підйом промислового виробництва в нашій країні.*

*Бажаю всім учасникам конференції успішної роботи, великих досягнень, благополуччя та міцного здоров'я.*

*Директор ІЕЗ ім. Є.О. Патона,  
академік І.В. Кривцун*

Сображенням текст  
впередимши на  
меди, Сова Мина  
Сва у Г. Кельнга  
7 июля 1975г.

Записка Б.Є. Патона к тексту  
выступления

Редколегія визнала за важливе в випусках журналу 2021 р. ознайомити читачів з низкою пропозицій акад. Б.Є. Патона, що були спрямовані на інтенсифікацію розвитку економіки країни. В них ми бачимо глибоке розуміння найважливіших проблем, досвід та талант видатного вченого, інженера та мудрої людини, все життя якої – самовіддане служіння науці.

## ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО РАЗВИТИЮ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ В 10-й ПЯТИЛЕТКЕ (1976–1980 г.г.)\*

Десятая пятилетка должна стать важным этапом на пути перехода от экстенсивного к интенсивному развитию черной металлургии на основе использования достижений науки и техники.

Главной задачей отрасли в предстоящий период является повышение качества металла, расширение сортамента, улучшение весовых и прочностных характеристик стали.

Капитальные вложения должны быть направлены, в первую очередь, на коренное повышение качества шихтовых материалов, развитие мощностей по четвертому переделу.

К числу важных мероприятий, направленных на решение указанных задач, можно отнести следующие:

- широкое применение внедоменной десульфурации чугуна с использованием гранулированного магния. Это позволит перейти к выплавке в кислородных конвертерах широкого сортамента легированных сталей, в том числе сталей повышенной прочности;
- переход к выплавке стали в конвертерах с донной продувкой;
- лучшее использование мощностей широкополосных толстолистовых станов;
- создание мощностей по безокислительному нагреву в прокатном производстве;
- широкое внедрение переплавных рафинирующих процессов вакуумирования жидкой стали;
- замена стального литья листовым прокатом, т.е. замена отливок листосварными конструкциями;
- переход к производству высокопрочной арматурной стали, сварных широкополочных двутавров, железобетонных водоводных труб со стальным сердечником;
- расширение производства железного порошка;
- создание новых мощностей по непрерывной разливке стали.

Все эти мероприятия, направленные на интенсификацию черной металлургии, должны сопровождаться конкретными усилиями по борьбе с экстенсивным развитием потребления металла.

Если не произойдут коренные изменения в структуре потребления металла в народном хозяй-

стве, то черной металлургии будет очень трудно угнаться за потребителями, чьи нужды растут чрезвычайно быстро.

Капиталовложения в черную металлургию должны, поэтому, расти с учетом соответствующего сокращения капиталовложений в металлопотребляющие отрасли на базе улучшения весовых и качественных характеристик металлопродукции.

Нужно в кратчайшие сроки освоить производство легированных и сложнолегированных сталей повышенной прочности и пересмотреть многие проекты металлоконструкций. Возьмем пример из американской практики.

Американцы начали строить трансаяскинский газопровод длиной почти 4500 км из труб диаметром 1220 мм из сложнолегированной стали при рабочем давлении 117 атм. Эта сталь очень хорошо сваривается, она содержит не более 0,06 % углерода, легирована молибденом 0,25 %, ванадием, ниобием, медью, марганцем. Сталь прокатывается при контролируемой температуре и нормализуется. У нас, к сожалению, нет такой стали и мы вынуждены изготавливать из менее прочной стали более толстостенные трубы, способные работать лишь при почти вдвое более низком давлении. По этой причине мы вынуждены закладывать в землю почти в два раза больше стали.

Таких примеров, к сожалению, много.

Производство легированных сталей в нашей стране уже много лет сдерживается отставанием ферросплавной промышленности. Из всей богатейшей гаммы легирующих в сталеплавильном производстве удастся использовать, как правило, лишь кремний и, в известных пределах, марганец, ванадий, молибден, вольфрам и ниобий, без которых нет современных хорошо свариваемых высокопрочных сталей, недоступных практически для всех, кроме оборонных, отраслей промышленности.

Поэтому мы всецело поддерживаем линию на ускоренное развитие в десятой пятилетке ферросплавного производства.

Помимо классических технологий ферросплавного производства, которые нужно развивать в первую очередь, мы рекомендуем также

\*Друкується мовою оригіналу



обратить серьезное внимание на широкое применение плазменно-дуговой технологии выплавки азотистых ферросплавов. Например, расчеты показали, что одна тонна азотсодержащей марганце-ванадиевой лигатуры стоит примерно в 23 раза дешевле, чем получаемая по нынешней технологии. Видимо следует подумать о привлечении средств потребителей, таких, например, как строители нефте- и газопроводов, к созданию мощностей в ферросплавной промышленности.

Это безусловно окупится!

Но что же делать пока?

Решение нужно искать на путях коренного пересмотра конструкций наиболее металлоемкой продукции. В качестве примера можно назвать многослойные трубы, изготавливаемые из освоенной стали. Такие трубы могут работать практически при любом давлении. Это дает экономию металла до 15 %.

Другой пример – арматурные каркасы для железобетонных конструкций.

НИИжелезобетон Госстроя совместно с ИЭС показали, что выпуск более прогрессивных плоских и пространственных сварных конструкций позволит сэкономить за пятилетку не менее 3-х млн т стали. Здесь все проверено и такие конструкции по менее совершенной технологии, чем предлагаем мы, производятся в ФРГ и Австрии.

Третий пример – водоводные трубы. Если перейти на водоводные железобетонные трубы (тонкий стальной сердечник 2,0–2,7 мм в двойной бетонной оболочке), то можно сэкономить за пятилетку около 3,5 млн т стали.

Сейчас стальная труба с толщиной стенки 9–10 мм работает 10 лет по условиям коррозии, а железобетонная в США – 50 лет!

Основной потребитель металлопродукции – это машиностроение. Здесь могут быть внесены следующие предложения.

Известно, что применение рафинированных сталей и сплавов, прежде всего прошедших ЭШП, позволяет в 2–4 раза повысить ресурс металлоизделий, практически ликвидировать брак. Это эквивалентно соответствующему увеличению выпуска машиностроительной продукции. Так, например, известно, что буровые долота из стали ЭШП позволяют вести проходку на 20–25 % быстрее. На каждом долоте ЭШП, как показали нефтяники, экономится не менее 100 руб. Если довести к 1980 г. мощности по производству долотных сталей до 250 тыс. т/год, то это позволит изготовить до 1,5 млн шт. буровых долот взамен 2,0 млн шт. из стали обычной выплавки.

Нам представляется, что нужно было бы привлечь часть капиталовложений нефтяников и газов-

щиков для создания соответствующих мощностей по ЭШП этих сталей в МЧМ.

По данным ЦНИИ МПС использование роликоподшипников из стали ЭШП в 2–3 раза повышает межремонтный пробег подвижного состава железных дорог. Если бы мы смогли в X пятилетке довести до 100 тыс. т в год производство стали ЭШП для этой цели (для этого потребуется около 50 млрд руб.), то был бы получен большой эффект и в МПС, и в Минавтопроме за счет сокращения выпуска подшипников.

То же касается и особо тяжелонагруженных рельсов на кривых, стойкость повышается в 5–7 раз. Видимо и здесь целесообразно привлечь капиталовложения МПС для создания соответствующих мощностей по ЭШП в черной металлургии.

Здесь уместно напомнить, что Постановление СМ СССР от 27.XI.70 г. о дальнейшем развитии производства металла ЭШП предусматривало создание новых мощностей отнюдь не только в черной металлургии, но и у потребителей металла, т.е. на заводах машиностроительных и оборонных отраслей. К сожалению, постановление не выполняется, и если МЧМ ввел некоторые новые мощности на своих заводах («Красный Октябрь», «Днепрспецсталь»), то другие Министерства, особенно Минтяжмаш, постановления Совмина не выполнили.

Коренные изменения в структуре потребления металла в машиностроении может внести недавно разработанная технология электрошлакового литья (ЭШЛ). Она позволяет заменить дефицитные поковки и штамповки и отказаться от одалживания очень дефицитного кузнечно-прессового весового оборудования.

Предлагается к концу пятилетки создать на заводах Минтяжмаша, Минхимнефтемаша, Минстанкопрома, Минэнергомаша, Минстройдормаша мощности по производству электрошлаковых отливок различного назначения общим весом до 0,5 млн т.

Это позволит, во-первых, примерно на 0,5 млн т сократить производство стального проката в черной металлургии и, во-вторых, высвободить мощности в кузнечно-прессовом производстве.

Так, по инициативе т. Костоусова на Коломенском заводе тяжелых станков строительство электрошлаковой установки для отливки деталей прессов и станков весом до 80–100 т позволит отказаться от поставки 5–7 тыс. т поволоков с Уралмаша и др. предприятий.

Недавно в ИЭС побывал зам. пред. Совмина СССР В.Н. Новиков и внес предложение о строительстве на машиностроительных заводах участков и цехов для ЭШЛ. Это предложение нужно возможно скорее реализовать.



Участники советско-японского семинара по ЭШЛ, Киев, 1975 г.

ЭШЛ также решает задачу утилизации вышедшего из строя металлорежущего инструмента с годовой экономией до 10 млн руб. только по быстрорежущей стали.

ЭШЛ находит все более широкое распространение за рубежом, особенно в Японии. В этом мы убедились во время работы в Киеве советско-японского семинара с фирмой Мицубиси 1 и 2 июля с.г. Японцы с помощью ЭШЛ изготавливают изделия в конструкциях самого ответственного назначения, в том числе для атомной энергетики.

Электрошлаковую технологию следует широко применять в производстве валков горячей и холодной прокатки, как это уже делается в Англии, ФРГ, США, Чехословакии.

Следует разрешить металлургическим заводам сдавать, а машиностроительным заводам принимать в переделку (переточку, термообработку) изношенные прокатные валки. Это позволит экономить ежегодно до 100 тыс. т легированных валковых сталей.

Нужно ориентироваться на быстрейшее наращивание мощностей по вакуумированию жидкой стали. Практически вся легированная сталь пропускается через этот передел в Японии, ФРГ, США.

В связи с развитием 4-го передела следует обратить особое внимание на создание в черной металлургии мощностей по безокислительному нагреву листовых и сортовых слитков, слябов и прокатных заготовок. Это позволит примерно в 8–10 раз снизить потери металла в виде окалины. Это может дать экономию не менее 1 млн т стали, а также сократить создание новых мощностей по отделке проката, особенно толстого горячекатаного листа. Здесь полезно опереться на опыт японской металлургии.

Нужно добиться того, чтобы предусмотренные 3,2 млрд руб. капиталовложений на 4-й передел в X пятилетке были сохранены, а не срезаны в первую очередь, как это неоднократно было до сих пор.

Важной статьёй экономии легированных сталей является создание новых мощностей по вторичному использованию черных металлов. По оценочным данным на заводах крупного машиностроения за последние 10–15 лет вводилось не менее 3–4 млн т легированного металлолома, не используемого в качестве скрапа в маломощных сталеплавильных агрегатах этих заводов. Этот металл необходимо ввести в оборот.

Таким образом основные предложения сводятся к следующему.

1. Лучшее использование имеющихся мощностей в черной металлургии и внедрение новых процессов.
2. Ускоренное развитие ферросплавного производства, что позволит освоить выпуск легированных сталей, прежде всего повышенной прочности.
3. Ускоренное развитие четвертого передела.
4. Коренное изменение структуры потребления черных металлов в нашем народном хозяйстве на базе резкого улучшения весовых и качественных характеристик металлопродукции, создания новых рациональных конструкций.
5. Создание мощностей по рафинирующим переплавам в МЧМ и отраслях потребителей.
6. Создание мощностей по ЭШЛ в основных отраслях машиностроения.
7. Передача МЧМ части капиталовложений из отраслей – потребителей металла.

Выполнение предлагаемых мероприятий позволит в 1980 г. сократить потребление проката примерно на 4 млн т и сэкономить 1,5 млрд руб.

г. Киев, 11 июля 1975 г.

Б.Е. Патон

## ДИСЕРТАЦІЇ НА ЗДОБУТТЯ НАУКОВОГО СТУПЕНЯ



Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського

С. О. Осадчук (Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України) захистила 3 лютого 2021 р. кандидатську дисертацію на тему: «Електрохімічний давач поляризаційного опору для оцінювання корозивності атмосферного середовища».

Дисертація присвячена розробленню електрохімічного коповерхневого чотирипарного давача поляризаційного опору для оцінювання зміни корозивності атмосферного повітряного середовища відносно металокопункцій в замкнених об'ємах та наявності градієнта температур між металокопункцією та оточуючим повітрям. Це дозволило адаптувати метод поляризаційного опору при зміні відносної вологості повітря від 100 до 75 % (наближеної до критичної) та темпе-

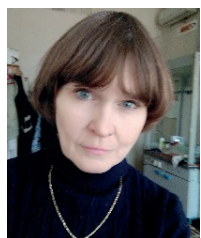
ратур від 24 до 70 °С в умовах утворення тонких плівок вологи товщиною від 0,6 до 45 мкм. Швидкість корозії, визначена методом поляризаційного опору, в цих умовах змінюється від 0,44 до  $2,08 \cdot 10^{-5}$  мм/рік. Нижня границя вимірювань давачем швидкості корозії 10–5 мм/рік.

Запропоновано методичний підхід до розроблення давачів. Теоретично обґрунтовано конструкцію електрохімічної комірки та вибір оптимальних критичних параметрів електродів та кількості електродних пар давача; можливість застосування константи методу поляризаційного опору, визначеній для об'єму електроліту для умов тонкоплівкової корозії; окреслено похибки вимірювання багатоелектродних давачів.

Розроблено та впроваджено методику моніторингу захисту металокопункцій від атмосферної корозії на об'єктах тривалої експлуатації, яка ґрунтується на визначенні миттєвої швидкості корозії за допомогою давача нової конструкції.

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України

Л. І. Ниркова (Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України) захистила 14 квітня 2021 р. докторську дисертацію на тему: «Теоретико-експериментальні засади оцінювання та запобігання корозійному розтріскуванню сталей магістральних газопроводів в умовах їх катодного захисту».



У дисертаційній роботі вирішено науково-прикладну проблему – встановлено закономірності корозійного розтріскування сталей магістральних газопроводів при їх катодному захисті, розв'язання якої розширює розуміння механізму корозійного розтріскування магістральних газопроводів, що дає можливість науково-обґрунтованого підходу до вибору способів його попередження.

Запропоновано та науково обґрунтовано методологію оцінювання схильності сталі Х70 до корозійного розтріскування при катодному захисті: введено коефіцієнт схильності до корозійного розтріскування  $K_s$ , в якому ураховано зміну відносного звужування зразка у повітрі порівняно з розчином, та критерій схильності до корозійного розтріскування  $K_s \geq 1,6$ , підтверджений результатами лабораторних та натурних випробувань. Виявлено комплекс чинників, що спричиняють деградацію захисних полімерних покриттів (зокрема, стрічкового) – наявність дефекту в покритті, контакт з корозивним середовищем та катодна по-

ляризація. Методом інфрачервоної спектроскопії підтверджено деградацію ґрунтувального шару стрічкового покриття і доведено, що присутність продуктів деструкції покриття у розчині підвищує схильність трубної сталі до корозійного розтріскування.

Для сталей різної міцності запропоновано новий спосіб оцінювання їх схильності до корозійного розтріскування, заснований на аналізі довжини спадних ділянок кривих руйнування, та введено відповідний коефіцієнт  $K_t$ . За температури 50 °С встановлено вплив властивостей сталевих основи на катодне відшарування покриттів: на сталі Х80 процес відшарування перебігає інтенсивніше, ніж на Х70, що обумовлено зниженням потенціалу виділення водню на сталі Х80 та будовою приповерхневого шару.

Експериментально доведено, що існує три області потенціалів, в яких корозійне розтріскування сталі Х70 відбувається за різними механізмами: при потенціалах додатніших  $-0,75$  В – за механізмом локального анодного розчинення, в області потенціалів від  $-0,75$  В до  $-1,05$  В діє змішаний механізм корозійного розтріскування (локальне анодне розчинення та водневе окрихчення перебігають одночасно), за потенціалів від'ємніших  $-1,05$  В – за механізмом водневого окрихчення. Закономірності корозійного розтріскування підтверджені зміною корозійно-механічних властивостей сталі, оцінених коефіцієнтом  $K_s$ , та фрактографічними ознаками руйнування. Зниження

катодного потенціалу до мінімального захисного  $-0,75$  В (х.с.е.) сприяє збереженню захисних властивостей полімерними покриттями: новим і штучно зістареним стрічковим – в  $\sim 9,4$  і  $\sim 26,9$  разів, відповідно; новим гібрид-епоксидним – в  $\sim 3,3$  рази, штучно зістареним – в  $\sim 1,7$  разів; новим та штучно зістареним поліуретановим – в  $\sim 20$  разів.

Розроблено та впроваджено методику визначення потенційно корозійно-небезпечних ділянок магістральних газопроводів в умовах катод-



О.П. Масючок (Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України) захистила 27 квітня 2021 р. кандидатську дисертацію на тему: «Закономірності адитивного формування 3D виробів із полілактиду та композитів на його основі».

Дисертаційна робота присвячена дослідженню впливу процесу адитивного формування 3D виробів із полілактиду по технології FDM 3D друку на структуру та властивості кінцевих виробів, вста-



В.В. Жуков (Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України) захистив 26 квітня 2021 р. кандидатську дисертацію на тему «Особливості структури та механічні властивості зварних швів сталі 14ХГНДЦ, модифікованих дисперсними частинками

карбідів, оксидів та сполук на основі титану».

Дисертація присвячена встановленню закономірностей впливу модифікування дисперсними частинками оксидів, карбідів та сполук на основі титану (SiC, VC, NbC, TiC, ZrO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, TiO<sub>2</sub>, FeTi, TiN) на особливості структуроутворення та механічні властивості металу зварних швів високоміцної низьколегованої сталі 14ХГНДЦ. Досліджено структуру, розподіл та склад неметалевих включень та фазових виділень металу модифікованих зварних швів високоміцної низьколегованої сталі 14ХГНДЦ. Створена методика оцінки кінетичних параметрів структурно-фазового перетворення. Визначені кінетичні параметри: величина максимальної інтенсивності та об'ємний ефект структурно-фазового перетворення, які характеризують ступень зміни об'єму металу при перебудові кристалічної решітки в ході структурно-фазового перетворення. Визначено температури максимальної інтенсивності перетворення для металу модифікованих швів. Проведено аналіз взаємозв'язку кінетичних параметрів структурно-фазового перетворення, хімічного складу, температур пере-

ного захисту на основі обчислення ймовірності корозійного розтріскування за даними проектної, виконавчої, експлуатаційної документації та результатам наземного технічного діагностування й лабораторних досліджень з подальшим ранжуванням ділянок за ступенем потенційної корозійної небезпеки. Результати роботи використані при розробленні СОУ 60.3-30019801-070, ДСТУ Н Б А.3.1-29, зміни № 1 до ДСТУ 4219.

новленню раціональних параметрів 3D друку на основі виявлених закономірностей та формуванню виробів із прогнозованими характеристиками. З використанням розроблених технологій адитивного формування та новітніх полімерних композитних матеріалів з сегрегованим розподілом мікророзмірного наповнювача (технічного вуглецю) та з статистичним розподілом нанорозмірного наповнювача (Ag) в полілактидній матриці створені філаменти зі спеціальними властивостями для FDM 3D друку та 3D виробу з них з функціональними характеристиками.

творення аустеніту, структурно-фазового складу та механічних характеристик металу модифікованих швів сталі 14ХГНДЦ.

Визначено механізм впливу різних типів модифікаторів (карбідні, оксидні та сполуки на основі титану) на кінетику структуроутворення металу зварних швів. Встановлено, що карбідні модифікатори впливають на кінетику перетворення та формування вторинної кристалічної структури через розчинення і зміну складу твердого розчину; оксидні модифікатори та модифікатори на основі сполук титану розчиняються та виділяються на поверхні неметалевих включень, а також у вигляді нових неметалевих включень, які впливають на структуроутворення і механічні властивості модифікованого металу, зварних з'єднань. Встановлено, що модифікатори на основі сполук титану призводять до формування неметалевих включень, що утворюються всередині зерна металу з щільністю дислокацій  $10^{10} \dots 10^{11}$  см<sup>-2</sup> навколо включення, підвищують значення міцності металу і знижують тріщиностійкість; оксидні неметалеві включення утворюються поблизу границь зерен металу з щільністю дислокацій  $10^8 \dots 10^9$  см<sup>2</sup> навколо включення і підвищують значення пластичності та ударної в'язкості металу.

Дослідно-промислово перевірку можливості застосування технології модифікування зварного шва високоміцних низьколегованих сталей проведено на ПрАТ НКМЗ (м. Краматорськ), для сталей марок А514 та 16ХГМФТР. При порівнянні механічних властивостей металу швів, отриманих поро-

шковими дротами зарубіжних (BOHLER NiCrMo 2,5-IG, BOHLER X 70 – IG) марок з металом, отриманим з застосуванням експериментальних порошкових дротів з дисперсними модифікаторами



П.С. Шльонський (Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України) захистив 27 квітня 2021 р. кандидатську дисертацію на тему: «Технологія зварювання вибухом мідно-алюмінієвих коаксіальних струмопроводів».

Дисертація присвячена розробці технологій отримання мідно-алюмінієвих коаксіальних струмопроводів із застосуванням зварювання вибухом і обладнання для їх реалізації. У роботі проведено аналіз способів отримання коаксіальних з'єднань міді з алюмінієм.

Введено термін і експериментально вивчено явище «канального ефекту» при зварюванні вибухом (ЗВ). «Канальний ефект» – виникнення у проміжку потоку кумулятивних викидів металу та ударно-стисненого нагрітого газу, що заповнює проміжок.

Встановлено, що зростання об'ємної частки і товщини прошарку інтерметалідів в зоні з'єднання при ЗВ міді з алюмінієм за коаксіальною схемою при віддаленні від точки ініціювання, незалежно від середовища в зварювальному проміжку (повітря або вакуум), пояснюється «канальним ефектом» при зварюванні вибухом.

Показано, що на отримання коаксіальних з'єднань є обмеження за довжиною. Вакуумування зва-



М. Ю. Каховський (Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України) захистив 29 квітня 2021 р. кандидатську дисертацію на тему: «Самозахисний порошковий дріт для підводного зварювання високолегованих хромонікелевих сталей типу 18-10».

При проведенні ремонтних робіт трубопроводів і обладнання морських нафтогазових родовищ, ремонті басейнів для зберігання відпрацьованого ядерного палива на атомних електростанціях, або інших елементів металоконструкцій, виготовлених з високолегованих корозійностійких хромонікелевих сталей, працюючих у водному середовищі, застосовують дугове підводне зварювання. Дисертаційна робота присвячена розробці самозахисного порошкового дроту для механізованого та автоматизованого мокрого підводного зварювання даних сталей.

Досліджено фізико-металургійні особливості впливу водного середовища при мокрому підводному зварюванні сталі X18N ЮТ на взаємодію присадкового металу з газами, ступінь окислення

$TiO_2$  та  $Al_2O_3$  встановлено, що використання більш дешевих вітчизняних зварювальних матеріалів дозволяє забезпечити необхідний рівень механічних властивостей металу зварного з'єднання.

ривального проміжку має позитивний вплив на структуру з'єднання. Встановлено фактори, які впливають на утворення інтерметалідів у зоні з'єднання міді з алюмінієм. Зокрема, одним із таких факторів є наявність ударно-стиснутого газу у зварювальному проміжку.

Досліджено хімічний склад завихрень на зразках біметалу мідь-алюміній та мікроструктура і механічні властивості мідно-алюмінієвого біметалічного стрижня після протягування.

Розроблено розрахункову модель визначення НДС силових елементів ТВК під час вибуху в ній плоского заряду кінцевих розмірів. Розраховані величини напружень задовільно корелюють з експериментальними результатами. Експериментально досліджено НДС стан в елементах ТВК. Запропонований критерій критичних напружень в металі камери.

Результати проведених досліджень покладені в основу розробки технології виготовлення мідно-алюмінієвих струмопроводів з тонким (300 мкм) шаром міді для систем керування авіатехніки на замовлення ДП «Антонов». Розроблено технологію (ЗВ + зварювання тертям) отримання біметалевих гільз для з'єднання гнучких багатожилкових проводів.

Розроблено та виготовлено ТВК з автоматизованим процесом завантаження заготовок для ЗВ, що забезпечує збільшену продуктивність процесу ЗВ.

легуючих елементів, стабільність процесу горіння дуги, а також імовірність утворення гарячих тріщин та пор в металі шва.

За допомогою математичного методу планування експерименту оптимізовано газошлакоутворюючу систему осердя порошкового дроту та визначено необхідну кількість і тип газошлакоутворюючих компонентів і розкислювачів.

Визначено головні чинники дестабілізуючого впливу водного середовища та досліджено методи підвищення стабільності процесу горіння дуги шляхом введення в склад осердя дроту стабілізуючих компонентів.

Перевагами розробленого порошкового самозахисного дроту над існуючою технологією ручного дугового підводного зварювання є збільшена продуктивність виконання ремонтних робіт, забезпечення економічного ефекту від меншого простою виробничого циклу АЕС, менший контакт водолазів-зварників і персоналу з радіоактивним середовищем та можливість за рахунок подальшої автоматизації процесу повного виключення перебування людини в особливо небезпечних умовах.