

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ВИРОБНИЦТВА МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ НА ВИСТАВЦІ «ЗВАРЮВАННЯ І РІЗАННЯ – 2023» В ЕССЕНІ

С.Ю. Максимов, А.А. Голякевич, О.С. Котельчук

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: maksimov@paton.kiev.ua

На основі аналізу матеріалів виставки «Зварювання і різання – 2023», що відбувалася в місті Ессен, Німеччина, а також власних вражень від зустрічей з провідними виробниками і розробниками матеріалів для зварювання та різання, наведено узагальнений погляд авторів на сучасні тенденції розвитку світового ринку зварювальних матеріалів для дугових процесів з’єднання матеріалів плавленням. Бібліогр. 3, табл. 2, рис. 8.

Ключові слова: дугове зварювання плавленням, зварювальні матеріали

Світовий ринок зварювальних матеріалів і його розвиток. За оцінками аналітиків світовий ринок зварювальних матеріалів у 2022 р. досяг рівня 12,61 млрд USD і очікувалось його зростання до 12,98 у 2023 р. та до 17,66 млрд USD у 2030 р. при середньому щорічному темпі зростання 4,5 % на цей період [1]. Тут під зварювальними матеріалами розуміють флюси та присадкові металеві матеріали, які використовуються у зварювальних процесах. Такі зварювальні матеріали дозволяють забезпечити ефективне, з точки зору витрат коштів, з’єднання металоконструкцій та захист розплавленого металу від небажаного або шкідливого впливу повітря, запобігаючи утворенню пор та інших дефектів у зварному шві. Завдяки цьому вони знайшли широке застосування у будівництві, а також в автомобільній, енергетичній, суднобудівній та аерокосмічній галузях промисловості. Останні тенденції розвитку ринку зварювальних матеріалів прогнозують досить суттєве зростання протягом наступних шести років [1] (рис. 1).

Прогнозується розширення використання у зварювальній промисловості так званих розумних («smart») матеріалів, що сприяє зростанню ринку. Енергетично-ефективні та екологічно-дружні «розумні» матеріали захоплюють усе більшу частку ринку. На сьогодні склалося загальне зростаюче розуміння фундаментальної поведінки матеріалів на атомному рівні при поєднанні двох різномірних металів без втрати їх міцності, корозійної стійкості або інших експлуатаційних властивостей. Крім того, «розумний» матеріал має, як кажуть, «вбудований комп’ютерний чіп» (його власну невід’ємну властивість), що дозволяє відслідковувати життєвий шлях зварного шва і зварного з’єднання та забезпечення надійної багатофункціональної експлуатації конструкції.

На додаток, інкорпорування таких матеріалів сприяє зниженню споживання енергії й зменшує потреби в застосуванні попереднього і післязварювального підігрівання. Виробники, конструктори і зварники отримують переваги від інтеграції таких

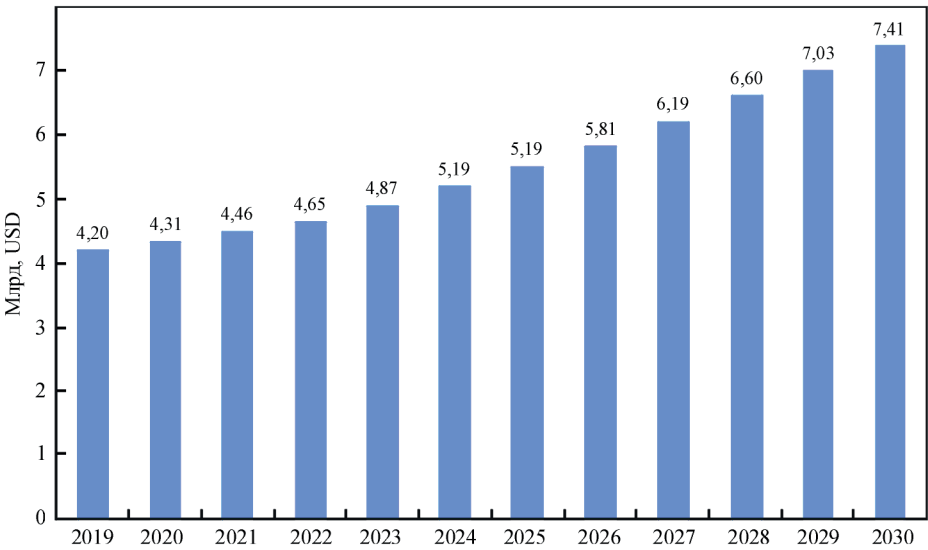


Рис. 1. Прогнозована ємність азійсько-тихоокеанського ринку зварювальних матеріалів у 2019–2030 рр. [1]

© С. Ю. Максимов, А. А. Голякевич, О. С. Котельчук, 2024

технологій для підвищення ефективності виробничого циклу в цілому. Таким чином, розширення застосування «розумних» ресурсів в подальшому буде позитивно впливати на розширення ринку зварювальних матеріалів по всьому світу.

Щодо рушійних факторів, то в першу чергу слід зауважити, що різноманітне застосування зварювальних технологій, насамперед, відповідно до вимог автомобілебудівної і паливно-енергетичної галузей промисловості суттєво прогресувало в останні роки за рахунок застосування найбільш фундаментальних й адаптивних способів конструювання металів. Зварювальні технології широко використовуються при виготовленні металоконструкцій в різних секторах економіки. Наприклад, зварювання є важливою процедурою при будівництві, зведенні мостів і прокладанні трубопроводів, а також при реалізації інших інженерних проектів. На протязі останніх років автомобілебудування було постійно зростаючою галуззю застосування зварювального виробництва для виготовлення деталей. Такі властивості, як міцність з'єднань, гнучкість конструкцій, які легко адаптуються до різноманітних потреб, а також помітний ефективний приріст конструктивної якості зварних несучих металоконструкцій спонукають автомобілебудівників до застосування різноманітних зварювальних процедур. Транснаціональні автомобілебудівники все більше інвестують у розміщення й впровадження зварювальних виробничих потужностей у різноманітних локаціях по всьому світу.

На цьому тлі небезпідставно вважають, що ринок зварювальних матеріалів є підготовленим для швидкого зростання з наявними високопотенційними галузями, що підпадають під розширені урядові інвестиції в інфраструктурне будівництво. Крім того, ринок має суттєвий сегмент використання в автомобілебудівній галузі промисловості для створення високоякісних автомобільних деталей. Завдяки покращенню характеристик безпеки транспортних засобів і розвитку автомобільних конструкцій, ця галузь промисловості зміцнила свої позиції на ринку. Аналогічно, в країнах із зростаючою економікою, таких як КНР, Індія й Південна Африка, запуск різноманітних розробок і проектів та надання місця для їх реалізації суттєво підтримують будівельну галузь.

Вірогідно, енергетичний сектор скористається зростаючими вимогами стосовно потужності установок поновлюваних джерел енергії, в першу чергу сонячних та вітрових електростанцій. Вважають, що на прогнозований період будівництво трубопроводних систем також буде сприяти зростанню ринку.

Наприклад, в Німеччині, яка, як вважають, має найпотужнішу економіку в Європі, об'єми зва-

ривально-технологічного виробництва у 2022 р. зросли на 10,4 % [2], хоча зростання загальної кількості внутрішньої продукції в світовій економіці сповільнилось під впливом високих цін на енергоресурси і значної невизначеності – збільшилося у тому ж році лише на 3,4 %. Різниця у темпах розвитку між розвиненими економіками (2,7 %) і економіками, що швидко розвиваються (більше 4 %), менша ніж у попередні роки. В Європейському Союзі (27 країн) економіка виросла на 3,5 %, у Німеччині – лише на 1,9 %.

Найбільшими закордонними покупцями німецьких зварювальних технологій знову були США (15,9 %) і КНР (12,5 %) (рис. 2). При цьому 42,9 % німецького експорту (1011,53 млн євро) залишилося у Європейському Союзі (27 країн) (2,4 % надійшло в Сполучене Королівство), 24,7 % (617,37 млн євро) надійшло в країни євросони [3].

Індустріалізація, урбанізація, зростаючі прямі закордонні інвестиції та технічні удосконалення є основними рушійними факторами розширення ринку.

Ключовими факторами, які стримують розвиток ринку, є непостійність у постачанні сировинних матеріалів, що перешкоджає зростанню ринку сировинних матеріалів, і неузгодженість цін, оскільки при виготовленні зварювальних матеріалів використовують сталевий і алюмінієвий прокат, графітовий і залізний порошки, порошки феросплавів, хімічних сполук і природних мінералів, а також інші сировинні матеріали. На додаток зміни правил торгівлі, відсутність балансу в постачаннях і вимоги екології, непостійність курсів валют, підвищені геополітичні загрози роблять свій вагомий внесок у флуктуацію цін на ці ресурси – все це суттєво негативно впливає на розвиток виробництва й вартість виготовлення зварювальних матеріалів, змушуючи виробників урізати розміри

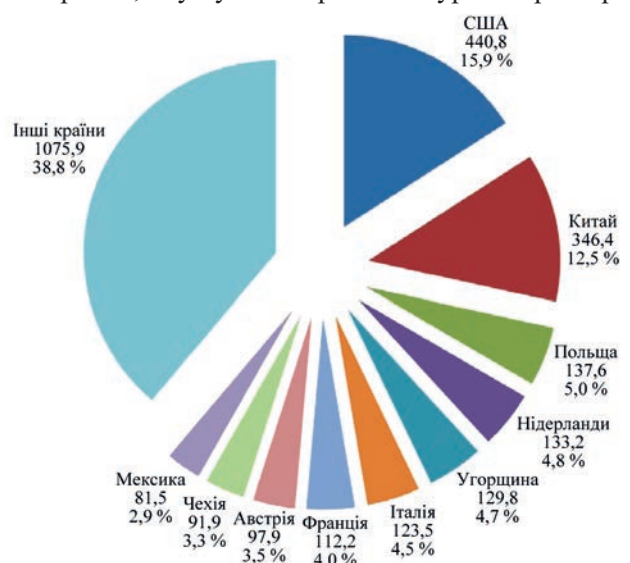


Рис. 2. Експорт зварювальних технологій компаній Німеччини (млн євро) у 2022 р.

прибутків, щоб залишатися конкурентоспроможними на світовому ринку.

Крім того, розвиток цієї галузі промисловості обмежується збільшенням числа нещасних випадків на виробництві через брак відповідної кваліфікації й компетенції зварників. Більшість учасників виставки відзначають, що галузі промисловості, які пов'язані з виробництвом зварювальних матеріалів, стикнулися з таким викликом, який став результатом масового виходу на пенсію досвідчених спеціалістів, що призвело до нестачі компетентних працівників. Від цього скрутного становища страждають в першу чергу такі галузі промисловості, як важке машинобудування, автомобілебудування і будівництво, які пов'язані з інтенсивним використанням зварювальних технологій. Нестача компетентних зварників також має наслідки в інших галузях промисловості. Як результат, ці обмежуючі фактори створюють виклики для виробництва зварювальних матеріалів і зварних конструкцій й обмежують зростання ринку.

Якщо розглянути розвиток регіональних ринків зварювальних матеріалів, то азійсько-тихоокеанський регіон утримував найбільшу частку і буде розширюватися швидкими темпами на прогнозований період завдяки присутності компаній розвинених країн, таких як КНР, Індія та Південна Корея. На додаток, розвитку цього регіонального ринку сприяє великий притік капіталу й високий рівень освоєння «розумних» технологій, особливо роботизованого зварювання.

Відповідно до даних досліджень фонду «India Brand Equity Foundation», провідні місцеві фірми, які зайняті у високотехнологічних виробничих, будівельних галузях промисловості, інвестують за межами Індії, що також буде підтримувати зростання ринку в майбутньому. Наприклад, компанія «Larson & Turbo» постійно інвестує у виробництво енергетичного обладнання, а компанія «Bharat Heavy Electrical Limited» виходить зі своєю продукцією на ринки Сирії й В'єтнаму.

Прогнозується, що після азійсько-тихоокеанського регіону Північна Америка буде зберігати першість на світовому ринку на цей період. Північно-Американські компанії є не тільки першопрохідниками у запровадженні нових технологічних рішень, але вони й здійснюють величезні інвестиції в цьому конкретно регіоні у роботи по дослідженням і розробці. Все це прискорює темпи продаж зварювальних матеріалів на ринках країн по всій Північній Америці. На додаток, більшість світових гравців продовжують засновувати свої виробничі потужності у країнах північноамериканського регіону, перетворюючи його на один із провідних виробничих хабів продукції, і це також допомагає зростанню ринку.

Вірогідно, що Європа буде демонструвати постійне розширення ринку на прогнозований період завдяки вже існуючому розвиненому ринку для постачальників зварювальних матеріалів. Європейський Союз вживає посилені заходи відносно попередження забруднення по всій Європі, що призводить до розширення виробництва продукції, дружньої до навколишнього середовища. Це змушує виробників зварювальних матеріалів виготовляти екологічну продукцію, яка може зменшити рівень забруднення в найближчому майбутньому. Це також позитивно впливає на збільшення частки європейських компаній на світовому ринку.

Провідні гравці на ринку зварювальних матеріалів концентрують свої зусилля на професійному навчанні зварників для створення або підкріплення свого потужного бренду. Різноманітні об'єднання по проблемам зварювання та урядові органи співпрацюють з ключовими виробниками для навчання зварників правильному і ефективному застосуванню сучасних технологій. Наприклад, компанія «Weld Australia» співпрацює з федеральним урядом та урядами штатів Австралії, а також різними технічними освітніми інститутами та закладами по підвищенню кваліфікації (Technical and Further Education) по всій країні для навчання нових зварників та підвищення кваліфікації працюючих зварників.

Виробники також намагаються покращити свої позиції на локальних ринках, що створюються по всьому азійсько-тихоокеанському регіону за рахунок зміцнення ланцюгів постачання, а також посилення безпосередніх контактів зі споживачами для виходу на світовий ринок. Диверсифікація продукції, що випускається, впровадження новітнього обладнання та зварювальних матеріалів є стратегіями органічного розвитку гравців ринку, що оперують також на глобальному рівні.

Розвиток основних сегментів ринку зварювальних матеріалів. Виходячи з типу зварювального матеріалу, ринок класифікують на драти суцільного перетину, порошкові драти, покриті електроди для ручного дугового зварювання, драти і флюси для зварювання під флюсом (рис. 3).

Сегмент ринку дратів суцільного перетину зберігає найбільшу частку завдяки розширенню їх використання в різноманітних сферах. Оцінюється, що цей сегмент буде домінувати на ринку зварювальних матеріалів. Драти суцільного перетину широко застосовуються в багатьох галузях промисловості кінцевими споживачами для дугового зварювання в інертних газах. Завдяки високій продуктивності наплавлення, ефективності виконання робіт, можливості одержання чистих і міцних зварних швів очікується, що на такі драти будуть звертати уваги нові учасники ринку в першу чергу. На сьогоднішній день

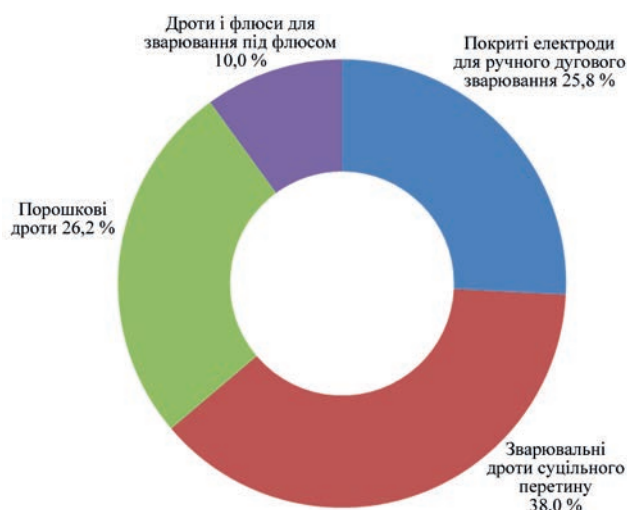


Рис. 3. Частки ринку зварювальних матеріалів відповідно до їх типу у 2022 р. [1]

промисловість зварювальних матеріалів фокусується на простих і ефективних по вартості зварювальних рішеннях для того, щоб захистити зварювані деталі від впливу зовнішнього середовища. Для захисту від окислення низьковуглецевий дріт суцільного перетину вкривають міддю, що покращує провідність, але, на жаль, мідь не є бажаною при виконанні окремих типів зварних конструкцій. Тому зростають потреби в так названих полірованих дротах суцільного перетину (дроти з ультранизким вмістом шкідливих домішок і високим ступенем очищення поверхні). Такі дроти мають суттєві переваги при застосуванні у роботизованому зварюванні, однак «поліровані» дроти досі не дуже широко представлені на ринку. Компанія «ESAB» зберігає першість в пропозиції таких дротів, і лише невелика кількість компаній спроможні пропонувати такі дроти такої ж якості, зокрема «ITALFIL».

Тут слід відзначити хороші перспективи застосування покриття дроту без міді для забезпечення кращого його подавання та захисту від несприятливого впливу навколишнього середовища. Тайванська компанія «Kuang Tai Metal Industrial Co., Ltd» пропонує дріт з покриттям без міді, що дозволяє суттєво знизити зношення контактного наконечника та покращити стабільність подавання дроту (рис. 4).

Експерти вважають, що, завдячуючи потребам багатьох галузей промисловості, сегмент ринку порошкових дротів буде досить швидко розвиватися. Досягнення у покращенні якості порошкових дротів дають їм все більше переваг при використанні в будівництві та суднобудівній галузі промисловості, збільшуючи потреби в цих дротах в усьому світі.

Оскільки покриті електроди для ручного дугового зварювання, які призначені переважно для зварювання низьковуглецевих і низьколегованих сталей, мають невисоку вартість при широкому

діапазоні застосування в галузях промисловості, вони все ще мають переваги при виборі зварювального матеріалу.

Спосіб дугового зварювання під флюсом дозволяє одержувати вироби, які витримують високі температури, є стійкими до корозії, а також при з'єднанні матеріалів великої товщини. Завдяки цьому прогнозують розширення застосування дугового зварювання під флюсом і, відповідно, збільшення потреб у матеріалах для реалізації цього процесу.

Цифрові технології у зварювальному виробництві. Застосування дугового зварювання одержує помітне зростання завдяки впровадженню «розумних» заводів і зварювальної техніки, що базується на досягненнях четвертої промислової революції (або «Industry 4.0»). При цьому ринок далі розділяють на категорії: дугове зварювання, контактне зварювання, кисневе зварювання, зварювання в твердому стані та інші технології (лазерне та електронно-променеве зварювання).

Четверта промислова революція визначається як злиття інтелектуальних цифрових технологій у виробництві й промислових процесах. Вона базується на використанні ряду цифрових технологій, які включають промислову мережу Інтернету речей, штучний інтелект, системи обробки великих масивів даних Big Data, робототехніку і системи автоматизації.

У цьому ключі запропоноване компанією «ESAB AB» програмне забезпечення «InduSuite» відкриває цифровий хмарний застосунок для відслідковування зварних швів на основі централізованої платформи, що працює в режимі online. Цей застосунок комбінує функції управління проектом і відслідковування зварних швів, що дає можливість за допомогою звичайного доступу до Інтернету одержувати відомості про поточний стан виконання проекту, частку виконаних зварних швів, обсяги дефектів у зварних швах, кількість зварних з'єднань, що потребують виправлення. Основні функції включають можливість безпосереднього запису зварювальної сесії від джерела живлення, що дозволяє негайно порівняти із регламентом процедури зварювання. Якщо режими зварювання виходять за регламентовані процедурою межі, система негайно повідомляє споживача, даючи йому можливість невідкладно почати коригувати виконання зварного з'єднання й швидше визначити причину виникнення проблеми. Таке програмне забезпечення суттєво допомагає компаніям, які потребують всебічного документування дотримання вимог відслідковуваності й підзвітності, вирішувати завдання керування проектом з більшою ефективністю й точністю, виключаючи суб'єктивні помилки і навмисні викривлен-

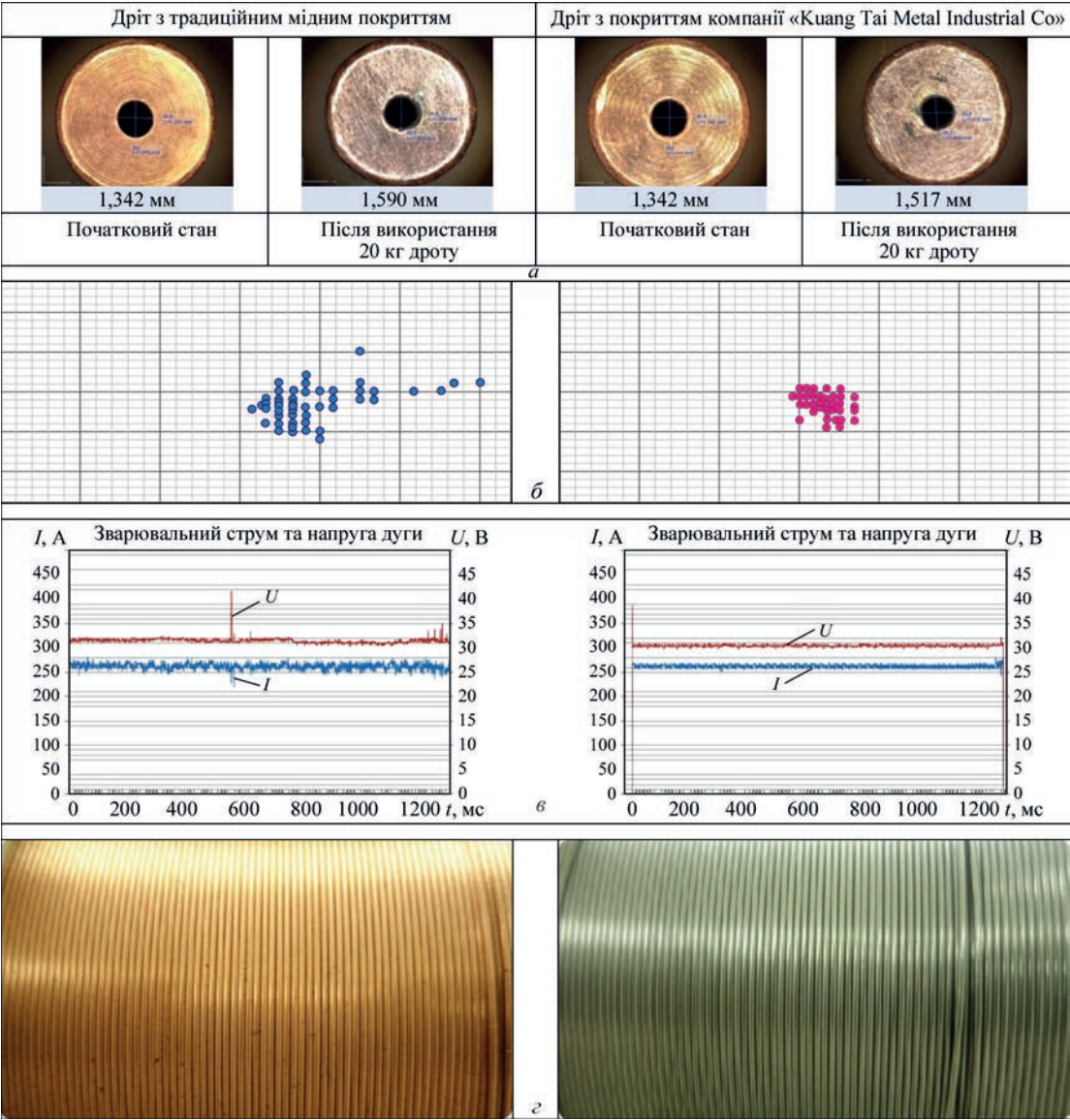


Рис. 4. Дріт з покриттям без міді компанії «Kuang Tai Metal Industrial Co.» у порівнянні з дротом з традиційним мідним покриттям: *а* – зношення контактної наконечника; *б* – точність подавання кінця дроту; *в* – стабільність подавання дроту; *г* – зовнішній вигляд дроту після витримки протягом 48 год при температурі 45 °С та відносній вологості 90 %

ня даних. Програмне забезпечення «WeldCloud Assembly» являє собою цілісну платформу, яка особливо корисна при виготовленні металоконструкцій для застосування в енергетичній, нафтогазовій галузях, суднобудуванні, та інших галузях промисловості, де необхідно забезпечити надійну відслідковуваність зварних швів. Програмне забезпечення зберігає і надсилає всю інформацію про кожен зварний шов безпосередньо до електронної хмари, з якої її можна дістати за допомогою комп'ютера, планшета чи смартфона. Передача інформації безпосередньо з місця виконання зварювальних робіт гарантує її достовірність і відсутність помилок і викривлень.

Програмне забезпечення «WeldCloud Assembly» також допомагає визначити вузькі місця виробничого процесу шляхом відслідковування етапів виготовлення зварних конструкцій. Наприклад, дозволяючи моніторити кількість зварних з'єднань, які потребують на даний момент інспекції неруйнівними методами контролю. Крім того, «WeldCloud Assembly» дозволяє споживачам відслідковувати всі проєкти з кожним підрядником, гарантуючи їх якість і відповідність вимогам та надаючи друковані версії звітів про результати інспекції зварних швів, а також доступ до статистичних даних стосовно з'єднань, деталей, зварних швів, обсягів виправлення дефектів, журналу аудиту та повному обліку всіх типів документів. Інформація може подаватися в зручному для споживача вигляді, використовуючи відповідні графіки й діаграми. Кольорове графічне подання інформації дозволяє зручніше відстежувати кожен зварний шов в режимі реального часу, позначаючи, наприклад, зеленим шви, що повністю відповідають вимогам, і червоним шви, що виконані з відхиленнями режимів зварювання від заданих.

Споживач самостійно може налаштовувати інспекційний сегмент програмного забезпечення «WeldCloud Assembly» на свої потреби, наприклад, візуальний, радіографічний, ультразвуковий чи інший тип контролю), статус тестування (запланований чи виконаний), всі прийнятні та неприйнятні результати випробувань, місця знаходження дефектів (основний метал, розкриття країв, зварний шов чи зона термічного впливу).

Цифрові рішення «InduSuite», що базуються на хмарних технологіях, включають такі застосунки як «WeldCloud Productivity», «WeldCloud Fleet», «WeldCloud Notes» і «CutCloud» для аналізу даних різання. Встановлені застосунки програмного забезпечення «InduSuite» включають програмне забезпечення для викройки листових матеріалів COLUMBUS CAD/CAM для різання і обробки країв, програмне забезпечення OTCPUZ, створене в співробітництві з компанією «Alma» для програмування робіт в режимі «offline», а також «EasyNest Online», що теж базується на хмарних технологіях для викройки листових матеріалів. Застосунки «InduSuite» є незалежними від брендів, таким чином вони поєднують машини і процеси у галузях зварювання, різання і роботизованого обладнання.

Застосунки «InduSuite» не потребують від споживача попереднього IT досвіду. Їх особливості, що базуються на хмарних технологіях, та інтуїтивний інтерфейс дозволяють, як стверджують розробники, користуватися всіма їх функціями вже через годину навчання. Вони працюють на загальній платформі з безпекою і надійною хмарною архітектурою «Microsoft Azure» [indusuite.com].

Серед цифрових технологій, що пропонує компанія «voestalpine Boehler Welding», слід звернути увагу на пакет програмного забезпечення «weldNet®», який дає користувачу швидкий і надійний доступ до даних та інформації для більш ефективної роботи, а менеджер матеріалів «weldNet®» «MATERIAL MANAGER» надає доступ до більш ніж 35 тис. основних матеріалів, рекомендованих присадкових металів і зварювальних процедур; до назв більш як 2200 стандартів DIN, EN, ISO і AWS; а також до розширеного портфоліо присадкових металів компанії «voestalpine Boehler Welding». Зварювальний калькулятор «weldNet®» «WELDING CALCULATOR» дозволяє обчислити час охолодження, температуру підігріву, вирахувати потрібну кількість зварювального матеріалу або присадкового металу та багато чого ще іншого. Конфігуратор обладнання «weldNet®» «EQUIPMENT CONFIGURATOR» допомагає зібрати зварювальну машину для власних потреб з усіма необхідними компонентами індивідуально у будь-який час. Конфігурація проводиться,

базуючись на чистих параметрах або повністю вільному пошуку продукту. При цьому досконало комбінуються різні компоненти, тобто можна покластися на те, що буде підібрана оптимальна і найбільш підходяща комбінація описаних компонентів. Всі відібрані індивідуальні компоненти зводяться у лист замовлення, який розміщується в електронному магазині компанії. Менеджер процесу «weldNet®» «PROCESS MANAGER» дозволяє керувати зварювальними проєктами простим способом і забезпечує документування відстежуваних даних зварного шва. Він забезпечує надійний і безпечний менеджмент даних зварного шва, надає інтуїтивні панелі для швидкої навігації та моніторингу в режимі реального часу декількох зварювальних станцій, надає простий менеджмент завдань і проєктів зварювання для підтримки виробничого планування.

Що стосується тренування і навчання зварників, компанія «FRONIUS International» демонструвала новий навчальний симулятор зварювання «Welducation», який переводить тренування зварників повністю на новий рівень. Симулятор інтегрований в корпус стандартної зварювальної системи з реальними зварювальними пальниками і надреальним візуальним супроводом завдяки розширеній реальності AR (augmented reality). Використовуючи симулятор, зварники можуть навчатися, тренуватися та зміцнювати свою майстерність крок за кроком в реалістичних умовах без будь-якого ризику для здоров'я та для економії матеріалів і коштів. Пов'язана з цим симулятором платформа «Welducation Campus» дозволяє зварникам проходити всебічне тренування із віртуальними завданнями, вивченням теорії, а також створювати курси і керувати ними. Компанія забезпечує зварювальні рішення при відсутності у замовника необхідної майстерності чи задля ефективного використання ресурсів.

На виставці компанія «Fronius» сфокусувалася на головних русійних силах зварювальної технології. Вимоги щодо якості зростають в усіх галузях промисловості, однак спеціалістів з необхідним рівнем кваліфікації дуже небагато та їх важко знайти. Ефективне використання ресурсів також надзвичайно важливе з економічної та екологічної перспективи, особливо це стосується використання присадкових матеріалів, газів та енергії. Це означає, що важливо уникати виробничих помилок і затратних з точки зору часу виконання робіт по їх виправленню. У зв'язку з цим компанія «Fronius» презентувала елементи своєї системи досконалого зварювання «Fronius Perfect Welding».

Система «WeldCube Navigator» дає змогу реалізувати стандартизований зварювальний процес. Разом з відмінним тренуванням, стандартизація може

допомогти забезпечити якість від першого до останнього компонента. Система «WeldCube Navigator» є початком запуску цифрового інструменту зі стандартизованими робочими інструкціями і спрощує передачу знань. При виконанні свого завдання зварники направляються крок за кроком за допомогою екранних інструкцій, що дозволяє не тільки підвищити якість зварних швів, а також робить освоєння техніки і тренування легшим і швидшим.

Досягнення ключових гравців ринку зварювальних матеріалів. Вважають, що ключовими компаніями на світовому ринку, є наступні: «Lincoln Electric» (США), «KOBELCO» (Японія), «ESAB» (США), «CS HOLDINGS CO., LTD» (Корея), «Hyundai Welding Co., Ltd» (США), «Panasonic Corporation» (США), «Fronius International GmbH» (Австрія), «RME MIDDLE EAST» (Об'єднані Арабські Емірати), «Voestalpine BOEHLER Edelstahl GmbH» (Австрія), «Tianjin Golden Bridge Welding Materials Group International Trading Co., Ltd» (КНР). Усі вони намагаються поєднати у пропозиції користувачу не тільки зварювальні матеріали, але й технологію їх застосування та устаткування для ефективною реалізації такої технології.

Ключові розробки останнього часу в галузі виробництва зварювальних матеріалів за версією сайту www.fortunebusinessinsights.com є наступні:

Компанія «Miller Electric Mfg. LLC», яка, як вважають, є однією з провідних виробників передового зварювального обладнання і зварювальних матеріалів, нещодавно висунула на ринок свою нову колаборативну зварювальну систему «Copilot collaborative welding system». Ця система дозволяє зварнику досягати кращої якості зварювання і оптимізувати використання зварювальних матеріалів, що дозволяє легше і повніше задовольняти розширені вимоги, що висувуються до зварного виробу. Також компанія анонсувала початок своєї співпраці з Національним центром з освіти і досліджень у будівництві NCCER (National Center for Construction Education & Research). Очікується, що їх спільні зусилля забезпечать Центр NCCER засобами навчання зварюванню на рівнях 1 і 2 за рахунок інтеграції зварювальної системи розширеної реальності компанії «Miller Electric Mfg. LLC».

Компанія «Lincoln Electric», яка залучена у розробку, виготовлення й постачання зварювального обладнання та зварювальних матеріалів по всьому світу, розширила різноманітність своєї продукції, висунувши на ринок інноваційне рішення в галузі порошкових дротів «Hyperfill», а також випустила на ринок свою новітню розробку – зварювальну машину «Power MIG 215 MPi Multi-Process Welder», яка спроектована для досягнення еконо-

мічних переваг і відзначається в експлуатації надійністю конструкції.

Компанія «ESAB Welding» випустила на ринок нові зварювальні машини «Cored Wire Welders/EM 210 MIG» для зварювання порошковим дротом і «EMP 210 MIG/TIG Welders/Sticks» для зварювання неплавким електродом або штучними електродами. Ці зварювальні джерела живлення інверторного типу є достатньо компактними і забезпечують живлення дуги професійного рівня, а також продуктивність, що необхідна для умов виконання ремонтного й відновлювального зварювання деталей легкових і вантажних автомобілів, виконання невеликих обсягів виробничого зварювання і будівництва, виготовлення обладнання для нагрівання, вентиляція і кондиціювання повітря.

Слід відзначити, що більшість провідних компаній виробників зварювальних матеріалів, продовжуючи пропонувати якнайширший спектр зварювальних матеріалів для різноманітних галузей застосування, все більше просувають комплексні рішення, що поєднують зварювальні матеріали, технологію їх ефективного застосування для конкретних завдань конструкційних з'єднань разом з відповідним устаткуванням для реалізації такої технології. Такі рішення, як правило, орієнтовані на використання цифрових технологій для моніторингу і документування процесу утворення зварного з'єднання.

Переваги дугового зварювання, особливо роботизованого дугового зварювання, в автомобілебудуванні та важкому машинобудуванні сприяють збільшенню обсягів продаж відповідних зварювальних матеріалів на прогнозований період. Нові процеси дозволяють одержувати з'єднання з кращими властивостями, забезпечуючи більшу безпеку, меншу вагу, вищу екологічність зварних конструкцій.

Так, компанія «Hyundai Welding» презентувала таку свою інноваційну продукцію, як перший у світі дріт суцільного перетину SM70-MT, який є дружнім до електрофорезного покриття. Електрофорезне покриття – це добре визнана технологія в автомобілебудівній галузі промисловості для захисту деталей автомобіля від корозії, але її застосування на зварних компонентах може бути проблематичним через погане прилипання на силікатні острівки, що залишаються позаду зварних швів, виконаних газозахисним зварюванням. Місця нестачі твердого захисту електрофорезним покриттям пізніше можуть діяти як ініціатори розвитку іржі, коли транспортний засіб буде експлуатуватися в умовах корозійного середовища, такого як вологість, зміни температур, морський вітер, застосування солей для боротьби із зледенінням. Видалення силікатів є ефективним

засобом, але воно суттєво підвищує вартість виробничих ліній і тому не є бажаним. Відповіддю компанії «Hyundai Welding» на цей виклик стала розробка першого в світі дроту суцільного перетину SM70-MT, який забезпечує ультранизьке утворення шлаку і є дружнім до електрофорезного покриття. Особливості цього дроту полягають у формуванні ультранизької кількості силікатів і дозволяє наносити електрофорезне покриття без післязварювального чищення поверхні зварного шва. Після екстенсивного випробування (45 днів) по стандарту GMW 15357 зразки зварного шва оцінювалися на рівні 10/10, ніяких ознак корозії. Дріт SM70-MT забезпечує зварювання практично бризок електродного металу разом з відмінною спроможністю перекриття зазору – дві інших суттєвих вимоги виробників автомобілів.

Компанія «Panasonic Connect Europe» презентувала устаткування для автоматизованого дугового зварювання порошковим дротом і дротом суцільного перетину, ручного дугового зварювання, зварювання пульсуючою дугою, лазерного зварювання й різання, устаткування для знімання, контролю й обробки даних параметрів процесу зварювання й обробки, ручних та інших приладів для вимірювання параметрів дугового зварювання (сили струму, напруги дуги, швидкості подавання електродного дроту, витрат захисного газу, швидкості зварювання, тепловкладення на одиницю довжини зварного шва), систем слідкування для дугового зварювання, вимірювання часових і частотних показників, систем навчання й тренування, надання консультацій, систем обробки даних і програмного забезпечення. Серед таких рішень пропонується «все в одному» рішення у вигляді роботизованої інтегральної лазерної системи (LAPRISS), обладнаної DDL осцилятором ультрависокої яскравості фірми «Panasonic» для автоматичного лазерного зварювання, а також систему заміни електродного дроту для використання одного пальника з двома різними на вибір зварника електродними дротами, зварювальну систему PA-TT-2PD для стандартної системи «PerformArc», де реалізуються процеси TAWERS (The Arc Welding Robotic System – технологія роботизованого зварювання, в якій робот-маніпулятор і контролер об'єднані з джерелом живлення зварювального струму і сервоприводом подавання дроту в один блок) супер-накладання імпульсів та імпульсів високої щільності при газозахисному дуговому зварюванні, відповідні програмне забезпечення й устаткування для реалізації вискоефективних процесів, а також системи TAWERS WG3 високошвидкісного зварювання неплавким електродом з високочастотним запалюванням дуги, нові

роботи серій TS і HH з діаметром робочої зони 0,8...3,0 м, нове інверторне імпульсне джерело живлення VP-400 для ручного дугового зварювання покритими електродами і автоматичного газозахисного зварювання.

Компанія «ESAB AB» презентувала свої розробки в галузі підводного різання і зварювання, системи CAD, CAM, CAQ, CIM і CAP, а також програмне забезпечення і системи обробки даних.

Серед інновацій компанії «FRONIUS International» слід відзначити системи зварювання неплавким електродом з холодним присадковим дротом (TIG cold-wire), які вже доступні в системі «iWave» компанії «Fronius». Новаторська інновація полягає в інтелектуальному управлінні. Новий запатентований зварювальний пакет динамічного подавання дроту «TIG DynamicWire» дозволяє навіть новачку легко і просто одержувати досконалі зварні шви при зварюванні неплавким електродом завдяки динамічному управлінню, яке завжди підлаштовує необхідну швидкість зварювання, тобто процес адаптується під зварника, а не під що-небудь ще поряд. Ринкова інновація – це активне управління подаванням електродного дроту. Інноваційна перевага пакета «DynamicWire» компанії «Fronius» у порівнянні з неперервним подаванням дроту полягає у її автоматичному саморегулюванні. Зварювальна система активно налаштовує швидкість подавання дроту відповідно до ведення зварювального процесу, положення пальника, сили струму, навіть автоматично компенсує допуски схемних компонентів до 30 %, і в результаті одержують досконалий зварний шов. Компанія також презентувала групи продуктів стосовно адитивного виготовлення деталей (тривимірний друк за допомогою зварювальної машини, який відкриває повністю нові можливості в цій галузі), автоматизації ручного дугового зварювання, імпульсно-дугового зварювання, багатодротове зварювання, газозахисне зварювання, зварювання неплавким електродом, зварювання чорних і кольорових металів, захист зварників і операторів.

Рішення «Cobot» компанії «Fronius» є ефективними з точки зору коштів навіть для партій, починаючи з одного. Інша можливість у боротьбі проти браку майстерності полягає у вивільненні робітників високої кваліфікації від рутинної роботи так, щоб вони могли сфокусуватися на більш вимогливих завданнях. Зварювальна комірка CWC-S cobot полегшує перший крок у напрямку автоматизації.

Більшість виробників зварюваних матеріалів мають власні науково-дослідні і випробувальні центри або орієнтуються на тісну співпрацю з технічними університетами.

Так, турецька компанія «GEDİK Welding» разом з університетом Стамбулу проводить науково-дослідні роботи у галузі адитивного металевих виробництва, зокрема, в галузі адитивного виробництва за допомогою роботизованого дугового зварювання електродним дротом WAAM (Wire Arc Additive Manufacturing). Компанія «GEDİK Welding» пропонує нове покоління присадкових дротів суцільного перетину і порошкових дротів з металевим типом осердя для інноваційних та багатообіцяючих тривимірних WAAM застосунків, в яких можуть одночасно існувати вимоги низької й високої міцності. Присадкові матеріали на основі високолегованих сталей, таких як нержавіючі сталі, алюмінієвих та бронзових сплавів можуть постачатися разом з відповідною технологією процесу і специфікацією матеріалу, які конструктори і замовники можуть відразу ж реалізувати для своїх WAAM застосунків, використовуючи комірку «GeKa WAAM Cell», яка включає зварювальний робот, джерело живлення зварювальної дуги, позиціонер разом з відповідним програмним забезпеченням і спеціальними електродними дротами. Фокусуючись на інноваціях, компанія «GEDİK Welding» розробляє рішення для замовника, які базуються на потребах кожного сегменту галузі промисловості, щоб гарантувати досягнення найкращих результатів замовникам, а виробничі потужності компанії дозволяють легко постачати налаштовану під замовника зварювальну продукцію, «зшити» на замовлення, щоб відповідати різноманітним потребам клієнта.

На сьогодні компанія «Welding Alloys» пропонує найширший у світі діапазон передових зварювальних матеріалів для наплавлення, зміцнюючого наплавлення, обслуговування, відновлення форми, термічного наплення, з'єднання і ремонту. Цей діапазон включає зварювальні дроти для низько-, середньо- і високолегованого зміцнюючого наплавлення, виготовлення деталей з низьковуглецевої і нержавіючої сталі, дроти на основі нікелю і кобальту. На додаток до порошкових дротів, пропонуються зварювальні дроти суцільного перетину, алюмінієві зварювальні дроти, прутки для дугових процесів неплавким електродом, трубчаті й покриті електроди. Компанія має експертів по всьому світу, які можуть допомогти замовнику вибрати правильну продукцію відповідно до їх вимог. Також компанія виробляє зварювальне обладнання для професійного застосування у сферах зміцнюючого наплавлення, наплавлення, відновлення форми і з'єднання. Зварювальні машини, які пропонує компанія, здатні виконувати складні і точні зварювальні шаблони завдяки легкопрограмованій технології управління пальником D3 і

підвіскою D3. Скрізь, де замовнику потрібно відремонтувати устаткування відповідального призначення, завдання вирішується застосуванням гнучкого портативного обладнання або спеціально налаштованої на потреби замовника машини для специфічних сфер застосування.

Вирішення проблем безпеки і захисту до-вкілля. Стосовно вирішення екологічних проблем компанія «voestalpine Boehler Welding» запропонувала так звану створену на замовлення захищеність («Tailor-Made Protectivity™»), що гарантує оптимальну комбінацію «захисту» і «продуктивності» за рахунок інноваційних рішень під конкретні потреби замовника.

Тут слід відзначити презентовану компанією революційну повністю замкнуту комірку зварювального робота «CO-BRO GUARD™», що включає зварювальні каретки «railRunner», «wheelRunner» і «pipeRunner», систему роботизованого зварювання «The Perfect Weld Seam» («Досконалий зварний шов»), зварювальне обладнання у комбінації з нержавіючим присадковим металом (були продемонстровані наживо при дуговому зварюванні неплавким електродом і ручному дуговому зварюванні покритими електродами) разом з системою «The Perfect Weld Seam», а також зварювальне обладнання у комбінації з високоміцним дротом суцільного перетину і порошковим дротом разом з системою «The Perfect Weld Seam». Компанія також презентувала нову лінійку порошкових дротів «GUARD» для забезпечення безпеки і здоров'я зварника, разом з програмними рішеннями «weldNet®» для покращення управління якістю і документування зварювального процесу, віртуальний тур по виробничому цеху «voestalpine Bohler Welding» з використанням технологій віртуальної реальності.

Роботизована зварювальна комірка «CO-BRO GUARD™» забезпечує гнучкість, простоту використання, доступність, найкращі зварювальні характеристики, максимальний захист здоров'я, безпеку і захист навколишнього середовища (рис. 5).

Нові зварювальні каретки «railRunner», «wheelRunner» і «pipeRunner» забезпечують мак-



Рис. 5. Роботизована зварювальна комірка «CO-BRO GUARD™» компанії «voestalpine Boehler Welding»

симальну продуктивність, повний контроль (зварювальний процес і переміщення контролюються через один інтерфейс, всі параметри контролюються і програмуються в цифровому виді для забезпечення максимальної точності, відтворюваності та якості). Вони спроектовані для зварювання з найкращою якістю на прямих і вигнутих поверхнях з максимальним робочим циклом. Максимальний рівень безпеки забезпечується низьковольтним джерелом живлення в робочій зоні без необхідності використання батарей.

Пропонується повний комплект зварювального рішення в ідеальній комбінації: джерело живлення зварювальної дуги, механізм подавання дроту, інтерфейс, пальник, допоміжне приладдя і присадкові метали. Каретки сумісні з усіма комерційними брендами роботів.

Компанія «voestalpine Bohler Welding» створила серію продукції, яка не тільки більш безпечна для зварника, але також реалізує систему «The Perfect Weld Seam». Порошкові дроти серії «GUARD»: «diamondspark GUARD», розроблені для зварювання низьковуглецевої сталі металоконструкцій загального призначення, металоконструкцій на суднобудівних верфях, забезпечують низьке виділення сполук Mn у зварювальний аерозоль; «FOXcore GUARD», призначені для зварювання високолегованих CrNi сталей і забезпечують низьке виділення Cr(VI). Порошкові дроти «diamondspark GUARD» і «FOXcore GUARD» допомагають захистити робоче місце зварника, суттєво зменшуючи виділення марганцю і шестивалентного хрому в зварювальний аерозоль.

При використанні порошкового дроту diamondspark GUARD 420 виділення сполук Mn у зварювальний аерозоль зменшується на 60 %, якщо порівнювати з вальцьованим порошковим дротом з металевим типом осердя, на 45 %, якщо порівнювати з нелегованим дротом суцільного перетину ER70S-6 і на 70 %, якщо порівнюва-

ти із типовим вальцьованим порошковим дротом (рис. 6, а). При використанні порошкового дроту FOXcore GUARD 316L-T1 виділення Cr (VI) у зварювальний аерозоль зменшується на 95 %, якщо порівнювати зі стандартним порошковим дротом 316L-T1 (рис. 6, б).

Для ефективної реалізації процесів MIG/MAG і забезпечення вирішення екологічних проблем важливе значення має правильне поєднання присадкового зварювального матеріалу та захисного газу належного складу. Компанія «Messer», яка є однією з найбільших приватних компаній-постачальників газових сумішей на світовому рівні, пропонує спеціальні газові суміші не тільки для медичних і науково-дослідних сфер застосувань, а також постачає газові суміші для зварювального виробництва та 3D-друкування. Поряд зі своєю продукцією серій газових сумішей «Lasline», «Nitrocut» і «Oxycut» для лазерного різання запропонувала газові суміші серії «Ferroline» для зварювання і різання нелегованих і низьколегованих сталей, а також серії «Inoxline», оптимізовані для зварювання способами TSG, MIG і MAG високолегованих сталей та сплавів на основі нікелю серії «Aluline» для зварювання алюмінієвих сплавів і кольорових металів, серії «Addline» для застосування при 3D друкуванні металевих деталей. Такі спеціалізовані газові суміші дозволяють підвищити ефективність виробничого процесу і суттєво зменшити обсяги робіт по виправленню дефектів зварювання чи наплавлення.

Стосовно зварювання нелегованих і низьколегованих сталей дротом суцільного перетину в захисних газах, компанія продемонструвала ефективність застосування газових сумішей серії «Ferroline», зокрема, Ferroline C8 (ISO 14175-M20-ArC-8) та Ferroline C6 X1 (ISO 14175-M24-ArCO-6/1). Використання таких газових сумішей дозволяє покращити санітарно-гігієнічні показники зварювального процесу, суттєво

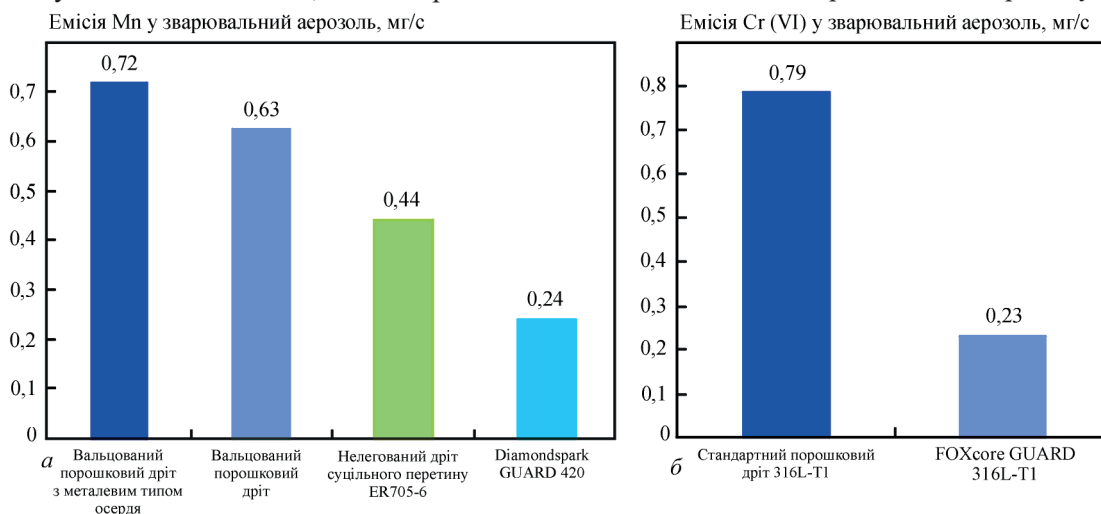


Рис. 6. Емісія Mn (а) і Cr(IV) (б) у зварювальний аерозоль при використанні електродних дротів різних типів

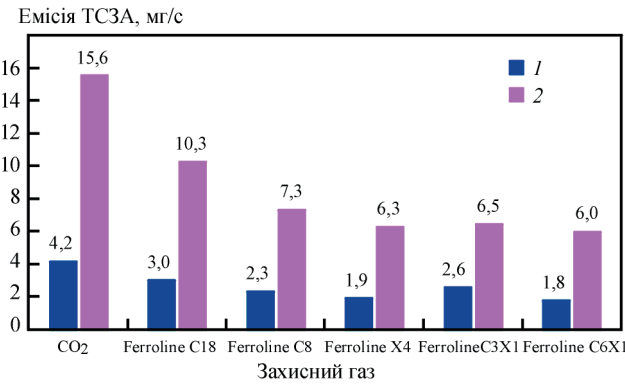


Рис. 7. Емісія ТСЗА при дуговому зварюванні дротом суцільного перетину в захисних газах різного складу: 1 – перенесення з короткими замиканнями і зварювання короткою дугою; 2 – струминне перенесення і зварювання довгою дугою

зниживши виділення твердої складової зварювального аерозолу (рис. 7) на всіх режимах зварювання (табл. 1).

Газові суміші Ferroline C18 і Ferroline C8 відповідно з 18 і 8 % CO₂, а також Ferroline X4 з 4 % O₂ – це випробувані стандартні газові суміші. Додавання кисню дозволяє ефективно знизити розбризкування, в той час як використання CO₂ може мати переваги при зварюванні в нестандартному положенні. Газові суміші Ferroline C8, а також Ferroline X4 демонструють тенденцію до використання газових сумішей з низькою активністю

(табл. 2). Зменшене формування шлаку та уникнення розбризкування можуть забезпечити вирішальні економічні переваги. Позитивний вторинний ефект полягає в тому, що при цьому помітно покращуються механічні та зварювально-технологічні показники. Газові суміші C12 X2 і C6 X1 забезпечують суттєве зниження розбризкування і більшу придатність до позапозиційного зварювання завдяки меншій частці O₂. Із зменшенням частки активного газового компонента зменшується емісія димів, пилу і газів, таких як монооксид вуглецю.

Більша ефективність стосовно вартості означає більшу продуктивність наплавлення і менший обсяг ремонтних робіт після. Сучасні системи управління дугою дозволяють виконувати зварювання при більшій силі струму (до 500 А і навіть вище) дротами відповідного діаметру. Захисні гази з низькою реакційною здатністю, такі як Ferroline X4, дозволяють покращити показники стабільності таких зварювальних процесів і суттєво зменшити розбризкування електродного металу.

Відома діаграма демонструє широкі можливості в управлінні дуговими процесами для досягнення якісних та економічних переваг за рахунок використання належної комбінації присадкового матеріалу, режимів реалізації процесу

Таблиця 1. Режими зварювання в захисних газах дротом суцільного перетину

Захисний газ	Швидкість подавання дроту, м/хв		Напруга дуги, В		Сила зварювального струму, А	
	Зварювання короткою дугою	Зварювання довгою дугою	Зварювання короткою дугою	Зварювання довгою дугою	Зварювання короткою дугою	Зварювання довгою дугою
CO ₂	4,6	12,0	24,4	34,6	150	315
Ferroline C18 18 % CO ₂ , решта Ar	4,6	12,0	19,4	32	180	325
Ferroline C8 8 % CO ₂ , решта Ar	4,6	12,0	19,2	31,8	180	322
Ferroline X4 4% O ₂ , решта Ar	4,6	12,0	19,0	31,6	180	330
Ferroline C3 X1 3 % CO ₂ , 1 % O ₂ , решта Ar	4,6	12,0	19,2	31,7	178	327
Ferroline C6 X1 6 % CO ₂ , 1 % O ₂ , решта Ar	4,6	12,0	19,2	31,8	179	325

Таблиця 2. Захисні гази для процесів зварювання MAG компанії «Messer»

Серія газових сумішей Ferroline	Група відповідно ISO 14175	Склад в об'ємних частках, %			
		Ar	CO ₂	O ₂	He
Ferroline C8	M20	92	8	-	-
Ferroline C1 8	M21	82	18	-	-
Ferroline C25	M21	75	25	-	-
Ferroline X4	M22	96	-	4	-
Ferroline X8	M22	92	-	8	-
Ferroline C6 X1	M24	93	6	1	-
Ferroline C1 2 X2	M24	86	12	2	-
Ferroline C5 X5	M23	90	5	5	-
Ferroline He20 C8	M20	72	8	-	20
Диоксид вуглецю	C1	-	100	-	-

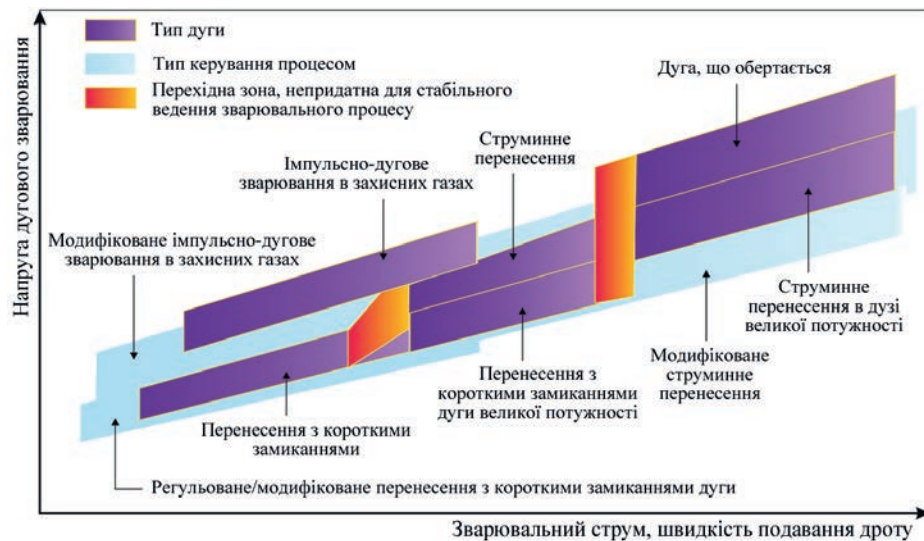


Рис. 8. Розширення можливостей керування дуговим процесом зварювання в захисних газах

та використання захисного газу відповідного складу (рис. 8).

Висновки

Більшість виробників зварювальних матеріалів приділяють особливу увагу сертифікації своєї продукції страховими агенціями, товариствами і організаціями, такими як Lloyds Register, Det Norske Veritas, Bureau Veritas, ABS, Germanischer Lloyd, Deutsche Bahn, Polish Ship Register Office.

Органічне поєднання досягнень інтелектуальних цифрових технологій зі зварювальним виробництвом в промислових процесах стає типовим для реалізації не тільки роботизованих й автоматизованих систем. Четверта промислова революція робить можливим створення «розумного» виробництва й націлена на підвищення його продуктивності, ефективності та гнучкості, відкриваючи можливості прийняття найбільш ефективних рішень і покращення орієнтації на споживача на всіх етапах виробництва, а також постачання сировини.

Всі рішення, що демонструвалися на виставці, орієнтуються на захист навколишнього середовища, здоров'я робітників та гарантування їх безпе-

ки. Багато уваги приділяється ергономіці, наприклад, при розробці зварювальних пальників нової якості, вибору ефективних систем видалення зварювального аерозолі, систем подавання свіжого повітря, а також захисного одягу та обладнання.

Всі провідні компанії-виробники зварювальних матеріалів на виставці презентували свою готовність і здатність пропонувати готові технологічні рішення відповідно специфічним вимогам споживача. Такі комплексні рішення включають технологію одержання надійного з'єднання деталей чи нанесення покриття, устаткування, зварювальні або присадкові матеріали для реалізації технології, що в поєднанні гарантує необхідні споживачу властивості виробу, а також технічний супровід.

Список літератури/References

1. The global welding consumables market is projected to grow from \$12.98 billion in 2023 to \$17.66 billion by 2030, at a CAGR of 4.5% (2023). <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/welding-consumables-market-101598>
2. Talmann, A. (2023). Schweißen und Schneiden 2022 – Starkes Wachstum bei Importen und Exporten. *Schweißen und Schneiden*, 75, 9, 648–663.
3. Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (o.J.): GENESIS-Online (<https://www-genesis.destatis.de/genesis/online>).

MODERN TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF PRODUCTION OF ARC WELDING MATERIALS AT THE FAIR «SCHWEISSEN&SCHNEIDEN – 2023» IN ESSEN

S.Yu. Maksymov, A.A. Golyakevych, O.S. Kotelchuk

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine. 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine.

E-mail: maksimov@paton.kiev.ua

Based on analyzing the materials of the fair «Schweissen & Schneiden – 2023», held in Essen, Germany, as well as personal impressions from meetings with leading manufacturers and developers of materials for welding and cutting, the authors' generalized view of the modern trends in the development of the world market of welding materials for arc processes of fusion welding is given. 3 Ref., 2 Tabl., 8 Fig.

Keywords: arc fusion welding, welding materials

Надійшла до редакції 21.02.2024
Отримано у переглянутому вигляді 06.03.2024
Прийнято 02.04.2024