

# УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ ВЕРТИКАЛЬНИХ СТИКІВ З ПРИМУСОВИМ ФОРМУВАННЯМ ШВА

С.А. Резнік, С.М. Козулін, С.О. Супрун

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: s.m.kozulin@gmail.com

Наведено результати проєктно-конструкторських та експериментальних досліджень, виконаних з метою модернізації зварювальної апаратури для підвищення надійності роботи в монтажних умовах і поліпшення ергономічних показників. Викладено результати вдосконалення технології та техніки виконання зварювання вертикальних стиків з примусовим формуванням шва, направлено на підвищення продуктивності процесу та розширення його технологічних можливостей, а також поліпшення санітарно-гігієнічних умов роботи зварника-оператора. Модернізовано апарати А-1150 та АД343 і виготовлено макетні зразки апаратів для створення нового спеціалізованого монтажного зварювального обладнання на сучасній елементній базі з дотриманням вимог ергономічних показників. Вивчення макроструктури зварних з'єднань засвідчило, що метал швів щільний, дефектів у вигляді непроварів, тріщин, пор, неметалевих включень не виявлено. Показано основні переваги запропонованого способу порівняно з ЕШЗ і схемою зварювання порошковим дротом з примусовим формуванням. Розроблено технологію та апаратуру для зварювання під флюсом з примусовим формуванням вертикальних стиків низьковуглецевих низьколегованих сталей завтовшки 12...80 мм та успішно впроваджено її в заводських і монтажних умовах. Бібліогр. 10, рис. 9.

*Ключові слова:* електрошлакове зварювання, електродугове зварювання з примусовим формуванням шва, монтажні апарати, низьковуглецеві низьколеговані сталі, флюси, тепловкладення, ударна в'язкість

**Вступ.** У даний час в Україні одним із важливих напрямків виконання зварювальних робіт у цехових і польових умовах є роботи зі створення та відновлення металевих конструкцій з металу середнього (різних розмірних значень) та значного діапазону товщин. Іншими показниками умов зварювання, які зумовлюють вибір і застосування зварювального технологічного процесу, можуть бути: швидкість виконання робіт, наявність кваліфікованих виконавців і можливості швидкого отримання присадного матеріалу, технологічне обладнання, доступне в означеному місці проведення робіт.

У сучасному виробництві виконання вертикальних швів з примусовим формуванням металу здійснюється в основному з використанням двох технологічних процесів: електрошлаковим зварюванням (ЕШЗ) та електродуговим процесом з примусовим формуванням металу шва (ЕДЗ). Електрошлакове зварювання від часу свого винаходження набуло широкого застосування в усьому світі [1, 2].

Найбільшого поширення ЕШЗ знайшло при виготовленні деталей машин і металоконструкцій великої товщини (понад 50 мм), таких як станини прокатних станів, рами шоківих дробарок, негабаритні бандажі обертальних обпалювальних печей, кожухи доменних печей та ін. [3]. Це зумовлено високою продуктивністю (за швидкістю плавлення присад-

ного металу ЕШЗ поза конкуренцією) та стійкістю процесу, глибокою металургійною обробкою металу зварного шва (відсутність дефектів у вигляді пор і шлакових включень), можливістю зварювання металу надмірно великих товщин, економічністю процесу, невисокою чутливістю до якості підготовки крайок, порівняно низькою вартістю зварювальних матеріалів, що не є дефіцитними, тощо.

Проте застосування ЕШЗ під час спорудження великогабаритних металоконструкцій великої товщини в польових умовах не завжди прийнятне з-за високого тепловкладення процесу, що призводить до росту зерна металу шва та зони термічного впливу (ЗТВ). Внаслідок цього знижуються механічні характеристики з'єднання, особливо відчутно – ударна в'язкість при низьких температурах. Ситуацію може покращити наступна високотемпературна обробка (ВТО), але це потребує об'ємних печей, що для зварювання великих металоконструкцій, особливо у монтажних умовах, є нереальним.

Усе це й спонукало до розробки альтернативних процесів механізованого зварювання металу невеликих товщин за один прохід. Одним з них стало електродугове зварювання з примусовим формуванням шва охолоджуваними водою мідними повзунами порошковим дротом, як самозахисним, так і з додатковим газовим захистом [4]. Спосіб не тільки забезпечує високу продуктивність розплав-

лення дроту, а й став безальтернативним для виконання швів за один/два проходи в різних просторових положеннях, як кільцевих на трубопроводах, газгольдерах, сферичних резервуарах, так і «на стелі» при зварюванні горизонтальних поясів конструкцій з металу завтовшки не менше 25 мм. Проте спосіб вимагав додаткових заходів для захисту зони зварювання від протягів, особливо на висоті, і був надто чутливим до бокового відхилення від вертикалі. Зварювання двома порошковими дротами металу завтовшки більше 30 мм виявилось ускладненим з-за труднощів з позиціонуванням дроту в глибині через інтенсивне випромінювання та виділення аерозолів. До того ж порошковий дріт виготовляється несерійно, має високу ціну та невеликий термін зберігання через свою гігроскопічність.

Тому в ІЕЗ ім. Є.О. Патона були проведені дослідження з розробки способу зварювання з примусовим формуванням вертикальних швів під тонким шаром розплавленого шлаку дротами суцільного перерізу [5]. Перші досліди з відпрацювання техніки такого виконання швів показали перспективність способу, позаяк він поєднав у собі стабільний перебіг процесу та надійний захист зварювальної ванни, що було актуальним завданням.

Проте промислового застосування даний спосіб не знайшов з кількох причин:

- відсутність для зварювання у монтажних умовах компактного механізму протяжки двох дротів, що забезпечував би надійну та стабільну їх подачу в зварювальну ванну;
- відсутність механізму позиціонування дротів у щілині між зварюваними крайками;
- флюс АН-47, під яким виконувався процес, не забезпечував його стабільність.

**Мета роботи:** розробка мобільного обладнання та промислової технології для з'єднання металу в монтажних умовах завтовшки від 10 мм до максимально можливого в цих умовах при виготовленні резервуарів різного призначення, мостових прогонів тощо.

#### **Завдання роботи:**

- модернізація зварювальної апаратури з метою підвищення надійності роботи в цих умовах і поліпшення ергономічних показників;
- удосконалення технології і техніки виконання зварювання вертикальних стиків з примусовим формуванням шва з метою підвищення продуктивності процесу та розширення його технологічних можливостей, а також поліпшення санітарно-гігієнічних умов роботи зварника-оператора.

**Матеріали та методи досліджень.** Виконання експериментальних досліджень процесу двоелек-

тродного зварювання з примусовим формуванням проводилося наступним чином:

1. зварювання зразків з низьколегованих конструкційних сталей 09Г2 та 10ХСНД завтовшки 12, 20 та 25 мм виконували з використанням макетного зразка двоелектродного апарата та джерела живлення постійного струму ВСЖ-1600;

2. застосовували електродні дроти марок Св-08Г2С та Св-10НМА;

3. флюси для реалізації процесу вибирали, виходячи з наступних критеріїв: електропровідність і в'язкість у розплавленому стані; технологічні властивості, такі як стабільність процесу, змочування охолоджуваного водою повзуна, що забезпечує якісне формування металу шва; візуальний сигнал про необхідність додавання чергової порції флюсу в зварювальну ванну; зварювання виконували з використанням флюсів марок АН-47, АН-22, АН-60 і АН-67А;

4. основними критеріями вибору електродного дроту були його діаметр, що забезпечує стабільність процесу при зварюванні металу різної товщини; хімічний склад, що гарантує отримання механічних властивостей та ударної в'язкості зварного з'єднання, які задовольняють вимогам нормативної документації;

5. використовуючи методику, викладену в [6, 7], у процесі зварювання виконували швидкісний запис електричних параметрів режиму ( $I_c$ ,  $U_c$ ,  $V_{\text{мр}}$ ) за допомогою датчиків Хола, модуля АЦП Е-140 і програмного забезпечення Power Graph. Чисельні значення електричних параметрів зварювального процесу фіксувалися з частотою 10 тис. записів за секунду. Для визначення ефективного коефіцієнта корисної дії (к.к.д.) процесу  $\eta$  під час зварювання вимірювали температуру та витрату води, що охолоджує мідні повзуни. Температуру води вимірювали за допомогою приладу Doubl Laser Infra Red Thermometer, що забезпечує точність вимірів 0,1 °C;

6. проводили випробування металу шва і ЗТВ на ударний вигин зразків Шарпі.

**Виклад основного матеріалу.** Для здійснення двоелектродного зварювання вертикальних стиків з примусовим формуванням шва виконано комплекс робіт зі створення мобільної зварювальної апаратури. У процесі розробки нового апарата в якості базової було обрано конструкцію безрейкового, тобто такого, що переміщується по щілині між зварюваними крайками листів апарата А-1150.

Переміщення цього апарата здійснюється за рахунок надсікання гострих ребер крайок сталевих листів зубцями конусоподібного ходового колеса візка апарата при притисканні його тарілчастими

пружинами через ніж, що закріплюється на каретку – задню підвіску зі зворотного боку стику. Ця підвіска тягне та притискає задній повзун – один із двох мідних, охолоджуваних водою, формуючих шов повзунів. Такий апарат є найзастосовуванішим у будівництві.

Для забезпечення двоелектродного процесу зварювання під флюсом було спроектовано компактний механізм подачі двох електродних дротів (рис. 1), який своїми розмірами не перевищував штатний для зварювання одним порошковим дротом. У ньому спільна тягова шестерня має дві конусні канавки для дротів. Кожен з цих дротів притискається своєю холостою шестернею з такою ж конусною канавкою в зубцях, що дозволило надійно та з однаковою швидкістю подавати обидва дроти.

Крім того, було додано механізми коригування положення електродних дротів у щілині між крайками (та відстані між ними) як роздільно, так і разом по товщині стику, і кутом відносно осі шва. Це в поєднанні зі штатним коректором на осі підвіски дозволило зміщувати дроти практично плоскопаралельно без небезпеки «закоротити» наконечники мундштуків на зварювані крайки, що призвело б до їх пошкодження.

Підвід зварювальної напруги в такому механізмі є спільним для обох дротів, тобто зварювання здійснюється так званою «розщепленою» дугою з живленням від одного джерела струму з дистанційним управлінням.

Для забезпечення можливості встановлення додаткової котушки з електродним дротом було змінено конструкцію кронштейна котушки. З урахуванням збільшеної у два рази ваги електродного дроту та навантаження на ходовий візок, в його конструкцію було внесено певні зміни.

Для дозованої подачі флюсу був розроблений флюсо-бункер з підпружиненим штоком-запором, що дає можливість використовувати соленоїд і

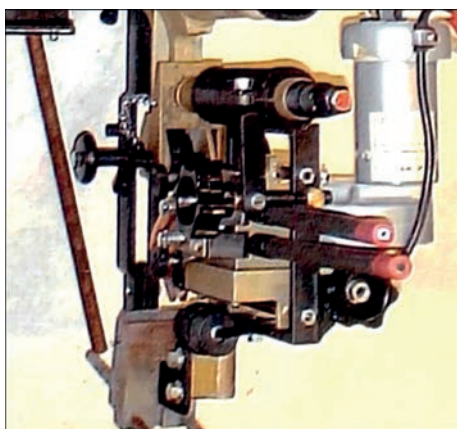


Рис. 1. Зовнішній вигляд модернізованого привода для подачі електродних дротів

реле часу для визначення порції флюсу. Оператору залишалось тільки визначати момент і частоту засипання, проте при відхиленні стику від вертикального положення більше 20° такий флюсо-бункер не перекривав повністю подачу флюсу. Тому був розроблений флюсо-бункер з підпружиненим шибром, який надійно перекривав подачу флюсу при зварюванні стиків при їх відхиленні від вертикалі.

У результаті проведених проектно-конструкторських і експериментальних робіт розроблено та виготовлено макетний зразок монтажного апарата для двоелектродного зварювання дротами суцільного перерізу вертикальних швів (рис. 2).

Зварювання вертикальних і нахилених до вертикалі (до 30°) швів виконували під мінімально можливим шаром розплавленого флюсу, що дозволяло закрити зварювальну дугу від її виходу назовні (в атмосфері). Це дало можливість візуального контролю (в окулярах газорізальника) за позиціонуванням зварювальних дротів у зазорі між зварюваними крайками, що є важливим при подачі двох дротів одночасно.

Необхідна глибина шару розплавленого флюсу залежала тільки від напруги на дузі, необхідної для розплавлення зварюваних крайок при зазорі, достатньому для безпечного проходження наконечників мундштуків, і визначалася після зупинки процесу за застиглим над металом шва шлаком. Відзначено досить точну залежність (приблизну рівність) необхідної висоти шару розплавленого флюсу та зазора в стику. Підтримка мінімально можливого шару розплавленого флюсу дозволила вирішити два завдання:

– отримувати сигнал про необхідність засипки чергової порції флюсу;



Рис. 2. Зовнішній вигляд макетного зразка монтажного апарата для зварювання вертикальних стиків

– істотно, у порівнянні з ЕШЗ, зменшити тепловкладення та, як наслідок, підвищити ударну в'язкість зварного з'єднання до 27 %.

При відсутності розбризкування шлаку флюс під час зварювання витрачався тільки на утворення тонкої (близько 1,4...1,5 мм завтовшки) шлакової кірки на поверхні шва та пропорційно залежав від зазору в стику, а отже, й від напруги. Залежності витрат флюсу від збільшення вольту зварювальних дродів не спостерігалося.

Для проведення досліджень не використовувалися флюси, що підтримують електрошлаковий процес, позаяк основним завданням розробки технології було отримання процесу, максимально близького до електродугового. Це дає змогу зменшити тепловкладення в основний метал і таким чином підвищити ударну в'язкість зварного з'єднання, особливо при низьких температурах. Останнє має важливе значення при зварюванні металоконструкцій у монтажних умовах, де неможливе проведення ВТО.

Перші дослідження зварювання з примусовим формуванням виконували з використанням флюсів марок АН-47 і АН-60. Флюс АН-60 забезпечив задовільні результати при зварюванні металу завтовшки 30...50 мм, але невисоку стійкість процесу на металі менших товщин. При цьому і в першому, і в другому випадках спостерігалася схильність до витікання розплаву з-під повзуна. При зварюванні під флюсом АН-22 спостерігалася висока стійкість процесу, задовільне (без підрізів) формування поверхні шва.

Проте при використанні зазначеного флюсу так само періодично спостерігалося витікання рідкого флюсу з-під робочої поверхні повзуна, очевидно, через низьку температуру його плавлення, що неприпустимо.

Дослідження показали, що задовільні технологічні властивості для виконання зварних з'єднань з примусовим формуванням дрютами суцільного перерізу має флюс АН-67А. Він забезпечує високу стійкість процесу, наявність чіткого сигналу про необхідність додавання чергової порції флюсу, задовільне формування поверхні шва та легку відокремлюваність гарнісажної кірки.

Єдиним недоліком флюсу стала його схильність до утворення підрізів-вм'ятин по краях шва через його високу в'язкість. Проблему вирішили зміною конфігурації формуючої шов канавки повзуна.

Таким чином, найкращими для зварювання вертикальних стиків є флюси, що мають високу електропровідність та необхідну в'язкість (рис. 3) [8].

Перші дослідження зварювання під флюсом металу завтовшки 16 мм виконували дрютами діаметром 2 мм [5]. Проте відносно малий об'єм зварювальної ванни не дозволив з метою зниження тепловкладення підвищити швидкість подачі електродних дродів цього діаметра при зварюванні металу завтовшки

14...20 мм, а збільшення зварювального зазору не є раціональним з економічної точки зору.

Дослідним шляхом встановлено, що задовільну стійкість процесу можна забезпечити шляхом використання дродів діаметром 1,6 мм. Отже, зварювання менших товщин передбачає використання електродних дродів ще меншого діаметра. Використання електродних дродів діаметром 2 мм можна рекомендувати для зварювання металу завтовшки більше 20 мм.

Використання електродних дродів, легованих тільки Ni та Mo (наприклад, Св-10НМА), не дозволило досягти рівня ударної в'язкості зварного шва згідно з нормативними документами. Експериментальним шляхом визначено, що для забезпечення необхідної величини ударної в'язкості в метал зварного шва слід внести близько 1 % Mn. Це було досягнуто шляхом змішування у спільній зварювальній ванні металу двох електродних дродів марок Св-08Г2С і Св-10НМА. При цьому метал шва за хімічним складом наближається до наплавки дрютом Св-08Г1НМА.

Зварювання зразків завтовшки 12...20 мм виконували на розрахунковій питомій погонній енергії  $E_{зв} = 53,8...60,6$  КДж/см<sup>2</sup> (рис. 4).

Візуальний огляд зварних швів показав, що якість формування швів задовільна, підрізи та гофри відсутні (рис. 5).

Вивчення макроструктури зварних з'єднань засвідчило, що метал швів щільний, дефектів у вигляді непроварів, тріщин, пор, неметалевих включень не виявлено (рис. 6) [9]. Середня глибина

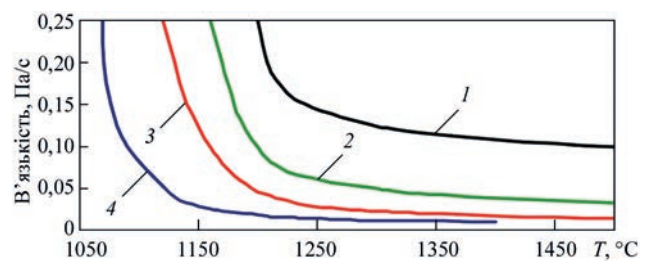


Рис. 3. Залежність в'язкості флюсів від температури [8]: 1 – АН-67А; 2 – АН-348; 3 – АН-60; 4 – АН-22



Рис. 4. Зварювання під флюсом вертикального стику завтовшки 20 мм з примусовим формуванням

провару основного металу становить 7 мм, а ширина ЗТВ не перевищує 7...8 мм.

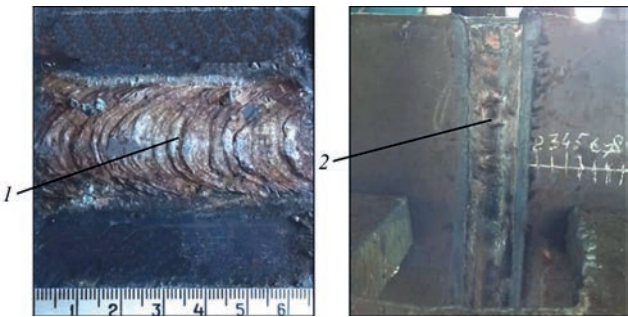


Рис. 5. Зовнішній вигляд зварних швів, виконаних зварюванням з примусовим формуванням: 1, 2 – зварені зразки завтовшки 12 і 20 мм відповідно

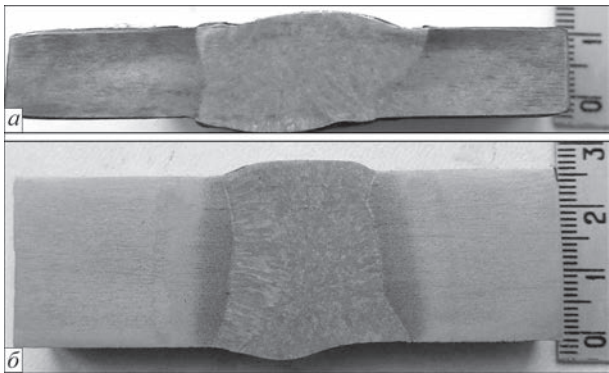


Рис. 6. Поперечні макрошліфи зварних з'єднань завтовшки 12 (а) і 25 мм (б)

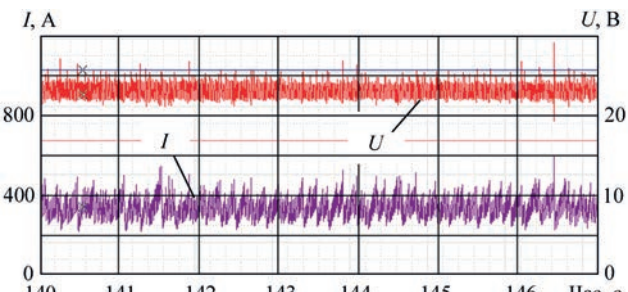


Рис. 7. Фрагмент осцилограм зварювання зі стійким процесом



Рис. 8. Зовнішній вигляд зварного шва після виконання першого проходу на металі завтовшки 40 мм

Осцилограми швидкісного запису електричних параметрів режиму наведено на рис. 7.

Для підвищення значень ударної в'язкості зварних з'єднань відпрацьовано техніку зварювання металу завтовшки 40 мм за два проходи за Х-подібною обробкою крайок (рис. 8).

З метою розширення технологічних можливостей процесу були зварені зразки зі сталі завтовшки 50 і 64 мм (складені з двох листів завтовшки по 32 мм). Зварювання металу завтовшки 50 мм було задовільним, а для металу завтовшки 64 мм тепла дуг не вистачало для швидкого плавлення флюсу – певна кількість його залишалась на поверхні ванни між дротами. Для запобігання цьому конструкцію механізму подачі дротів скориговано для подачі вже трьох електродних дротів (без зміни габаритних розмірів), а мундштуки замінені на один суцільний з можливістю налаштування водночас всіх або одного дроту за глибиною щілини. Механізм подачі встановлено на спроектовану підвіску вже рельсового апарату на базі механізму переміщення апарату АД343. Це дозволило на заводі «Еліта-Бурджі» (Тбілісі) виготовити елементи конструкції концертного залу «Урекі-Натанебі» (рис. 9) завтовшки 60 і 80 мм без кутових деформацій. Там же було відпрацьовано технологію виготовлення труб квадратного перерізу зі стінкою завтовшки 20 мм з радіусним заокругленням по довжині.

Зварюванням під флюсом на даний момент виконано вертикальні та відхилені на 30° від вертикалі шви на близько 20-ти прогонних будівлях позакласних мостів, естакад, стінок тунелів. При цьому забезпечувались нормативні експлуатаційні характеристики з'єднань, зокрема ударна в'язкість при температурах до -45 °С.

Основними перевагами запропонованого способу порівняно з ЕШЗ і способом дугового зварювання порошковим дротом з примусовим формуванням:

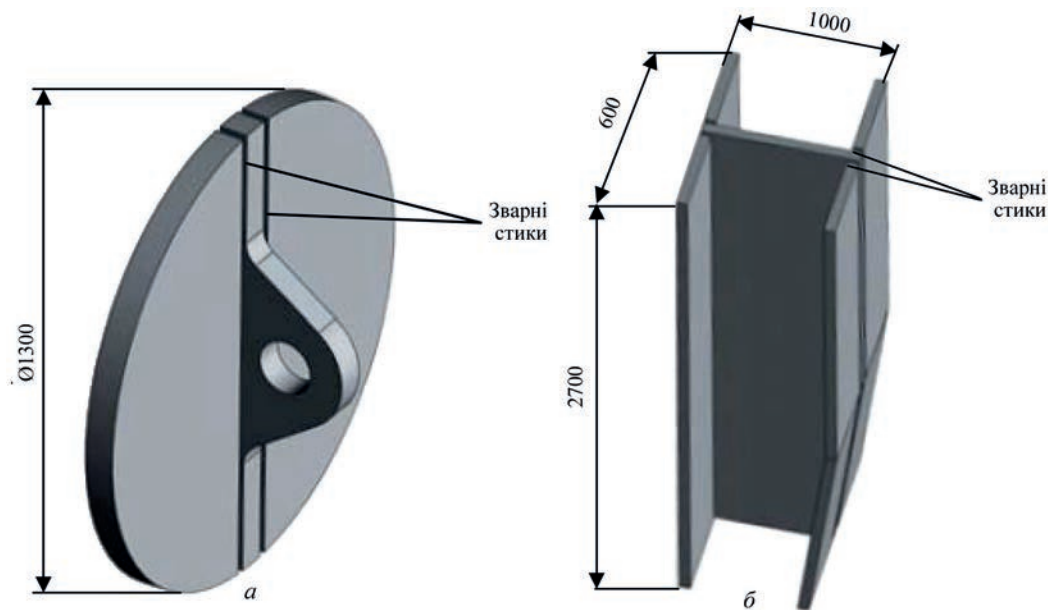


Рис. 9. Схеми конструкцій опори (а) завтовшки 80 мм і оголовка колони (б) завтовшки 60 мм

- можливість відмови від подальшої ВТО металоконструкцій, що зварюються, завдяки низькому тепловкладенню в основний метал [9, 10];
- можливість бездефектного поновлення процесу після непередбаченої (аварійної) зупинки;
- висока економічність процесу за рахунок зменшення більш ніж у 2 рази зварювального зазору та зниження витрати флюсу;
- висока продуктивність зварювання за рахунок суттєвого збільшення коефіцієнта плавлення електродного дроту (швидкість зварювання досягає 10 м/год замість 2,5 м/год при використанні порошкового дроту);
- забезпечення якісного захисту зварювальної ванни та стабільного ведення процесу зварювання в монтажних умовах за наявності вітрового навантаження;
- висока економічність за рахунок використання недефіцитних, не гігроскопічних і порівняно недорогих зварювальних матеріалів;
- покращені санітарно-гігієнічні умови роботи зварника-оператора за рахунок відсутності інтенсивного випромінювання та істотного зниження об'єму шкідливих аерозолів, що виділяються.

## Висновки

1. У результаті проведених робіт удосконалено в лабораторних умовах процес зварювання з примусовим формуванням вертикальних швів дротом суцільного перерізу низьковуглецевих низьколегованих сталей завтовшки 12...80 мм. Вибрано зварювальні матеріали, що забезпечують досягнення необхідних механічних властивостей зварних з'єднань.

2. Модернізовано апарати А-1150 і АД343 та виготовлено макетні зразки апаратів для створення нового спеціалізованого монтажного зварювального обладнання на сучасній елементній базі з дотриманням вимог ергономічних показників.

3. Розроблено технологію та апаратуру для зварювання під флюсом з примусовим формуванням вертикальних стиків низьковуглецевих низьколегованих сталей завтовшки 10...80 мм та успішно впроваджено її в заводських і монтажних умовах.

## Список літератури

1. Корниенко А.Н., Макаренко Н.А. (2019) Рождение и становление электрошлаковой сварки. *Автомат. сварка*, **10**, 70–73.
2. Патон Б.Е., Ющенко К.А., Козулин С.М., Лычко И.И. (2019) Электрошлаковый сварочный процесс. Анализ состояния и тенденции развития (Обзор). *Автомат. сварка*, **10**, 36–46. DOI: <https://doi.org/10.15407/as2019.10.05>
3. (1980) *Электрошлаковая сварка и наплавка*. Патон Б.Е. (ред.). Москва, Машиностроение.
4. Походня И.К., Дубовецкий В.Я., Шлепаков В.Н. и др. (1966) Дуговая сварка вертикальных швов с принудительным формированием. *Автомат. сварка*, **11**, 67–70.
5. Яблонский Б.В. (1988) Техника двухэлектродной сварки вертикальных стыков с принудительным формированием шва под слоем шлака. *Автомат. сварка*, **5**, 56–59.
6. Пирумов А.Е., Скачков И.Е., Супрун С.А., Максимов С.Ю. (2007) Специализированная информационно-измерительная система для мониторинга процесса дуговой сварки. *Автомат. сварка*, **8**, 41–43.
7. Lychko, I.I., Yushchenko, K.A., Suprun, S.A., Kozulin S.M. (2019) Peculiarities of electrode and base metal melting in electroslog welding. *The Paton welding J.*, **3**, 12–17. DOI: <https://doi.org/10.37434/tpwg2019.03.01>
8. Подгаецкий В.В., Кузьменко В.Г. (1988) *Сварочные шлаки. Справочное пособие*. Киев, Наукова думка.
9. Пашин А.Н., Резник С.А., Смирнов О.А. и др. (2003) Новая технология вертикальной сварки листовых металлоконструкций с использованием плавленого флюса АН-67Б. *Прогрессивные технологии сварки в промышленности: Материалы научно-технического семинара, 20–22 мая 2003 г., Киев, УИЦ «Наука. Техника. Технология»*, сс. 69.
10. Maydanchuk, T., Reznik, S. (2021) *The 8<sup>th</sup> Asian Welding Technology & Application Forum – Intelligent Welding and Surfacing & Additive Manufacturing Technology Remote International Forum. 18.04.2021*. High-performance welding technology of vertical butt joints.

## References

1. Kornienko, A.N., Makarenko, N.A. (2019) The birth and formation of electroslog welding. *Avtomat. Zvaryuvannye*, **10**, 70–73. [in Russian].

2. Paton, B.E., Yushchenko, K.A., Kozulin, S.M., Lychko, I.I. (2019) Electroslag welding process. Analysis of the state and tendencies of development (Review). *The Paton Welding J.*, **10**, 33–40. DOI: <https://doi.org/10.37434/tpwg2019.10.05>
3. (1980) Electroslag welding and surfacing. Ed. by B.E. Paton. Moscow, Mashinostroenie [in Russian].
4. Pokhodnya, I.K., Dubovetsky, V.Ya., Shlepakov, V.N. et al. (1966) Arc welding of vertical seams with forced formation. *Avtomat. Svarka*, **11**, 67–70 [in Russian].
5. Yablonsky, B.V. (1988) Technique for two-electrode welding of vertical joints with forced formation of a seam under a slag layer. *Avtomatich. Svarka*, **5**, 56–59 [in Russian].
6. Pirumov, A.E., Skachkov, I.O., Suprun, S.A., Maksimov S.Yu. (2007) Specialized information-measuring system for monitoring the process of arc welding. *The Paton Welding J.*, **8**, 34–35.
7. Lychko, I.I., Yushchenko, K.A., Suprun, S.A., Kozulin S.M. (2019) Peculiarities of electrode and base metal melting in electroslag welding. *The Paton Welding J.*, **3**, 12–17. DOI: <https://doi.org/10.37434/tpwg2019.03.01>.
8. Podgaetsky, V.V., Kuzmenko, V.G. (1988) *Welding slags: Refer. Book*. Kyiv, Naukova Dumka.
9. Pashchin, A.N., Reznik, S.A., Smirnov, O.A., Tokarev, V.S., Goncharov, M.A. (2003) New technology for vertical welding of sheet metal structures using fused flux AN-67B. In: *Proc. of Sci. and Tech. Seminar on Progressive Welding Technologies in Industry (May 20–22, 2003, Kyiv)*, Educational Center «Science. Technique. Technology», 69 [in Russian].
10. Maydanchuk, T., Reznik, S. (2021) *The 8<sup>th</sup> Asian Welding Technology & Application Forum – Intelligent Welding and Surfacing & Additive Manufacturing Technology Remote International Forum, 18.04.2021*. High-performance welding technology of vertical butt joints.

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY AND EQUIPMENT FOR WELDING VERTICAL JOINTS WITH FORCED SEAM FORMATION

S.A. Reznik, S.M. Kozulin, S.O. Suprun

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

E-mail: [s.m.kozulin@gmail.com](mailto:s.m.kozulin@gmail.com)

The paper presents the results of design and experimental studies carried out to modernize welding equipment to increase the reliability of operation in installation conditions and improve ergonomic performance. The results of improving the technology and technique of welding vertical joints with forced seam formation in order to increase the productivity of the process and expand its technological capabilities, as well as improve the sanitary and hygienic working conditions of the welder-operator are presented. The A-1150 and AD343 machines were modernized and prototypes of the machines were manufactured to create new specialized assembly welding equipment based on a modern element base in compliance with ergonomic requirements. The study of the macrostructure of the welded joints showed that the weld metal is dense, and no defects in the form of gaps, cracks, pores, non-metallic inclusions, etc. were found. The main advantages of the proposed method in comparison with ESW and the method of welding with forced cored wire formation are shown. The technology and equipment for submerged arc welding with forced forming of vertical joints of low-carbon low-alloy steels with a thickness of 12...80 mm have been developed and successfully implemented in factory and installation conditions. 10 Ref., 9 Fig.

**Keywords:** *electroslag welding, electric arc welding with forced seam formation, assembly machines, low-carbon low-alloy steels, fluxes, heat input, impact strength*

Отримано 30.04.2024

Отримано у переглянutoму вигляді 12.06.2024

Прийнято 27.08.2024

ІННОВАЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ: НАДМІЦНЕ ЗОЛОТО

Дослідники додали в золото крихітні пори, що поліпшило його міцність до 100%, а також збільшило пластичність порівняно з повністю щільним золотом.

Китайські вчені представили новий метод отримання чистого золота, яке одночасно міцне і легке. Цей метод полягає у створенні маленьких пор однакового розміру всередині твердого металу. Це відкриття може суттєво вплинути на аерокосмічну галузь, виробництво автомобілів та побутової електроніки. Саме в цих галузях промисловості є гостра потреба в матеріалах, які одночасно і легкі, і дуже міцні, пише Interesting Engineering.

Традиційні методи обробки металів тиском, як-от лиття, зварювання та 3D-друк, призначені для усунення внутрішніх порожнин у металах, оскільки їх вважають суттєвим дефектом матеріалу. Інженери завжди приділяли багато уваги тому, щоб не допускати утворення пустот усередині металів, адже вони можуть знижувати їхню міцність, довговічність і якість.

Але вчені з Китайської академії наук замість того, щоб видаляти ці порожнечі, відрегулювали їхню форму та розподіл у металі. Вчені виявили, що це не тільки знижує негативний вплив пустот на метали, а й має несподівані переваги.

Вчені для демонстрації свого методу поліпшення якості металів обрали золото. Для цього вони створили золото з однорідними опорами, які розподілені рівномірно всередині твердого металу. У результаті маніпуляцій із золотом вчені створили новий матеріал.

Випробування показали, що, якщо додати в золото крихітні порожнечі, які займатимуть від 5% до 10% матеріалу, то міцність золота зростає на 50-100%.

Такий поліпшений матеріал може витримувати більш високі навантаження і водночас зберігати хорошу пластичність, яка у деяких випадках навіть краща, ніж у повністю щільного золота. Правильне розміщення пустот у матеріалі допомагає збалансувати його міцність і пластичність, кажуть учні.

Новий метод створення надміцних матеріалів відрізняється від традиційних, які підвищують міцність шляхом додавання більш легких елементів, таких як алюміній або літій. Новий метод пропонує екологічно чисту та економічно ефективну стратегію поліпшення металу без додаткової ваги або забруднення.

За словами вчених, порожнечі знижують щільність чистого золота більш ніж на 10%, що робить його легшим і більш придатним для вторинної переробки. Водночас вчені з'ясували, що їхній метод допомагає зберегти основні фізичні та хімічні властивості золота, зокрема його теплопровідність, електропровідність і стійкість до корозії. Вчені вважають, що їхній метод можна застосувати і до інших металів і сплавів.

Це відкриття може суттєво вплинути на аерокосмічну галузь, виробництво автомобілів та побутової електроніки. Саме в цих галузях промисловості є гостра потреба в матеріалах, які одночасно і легкі, і дуже міцні.

