

Володимир Лебедєв¹, Сергій Лой²

¹доктор технічних наук, професор, головний конструктор
Державне підприємство «Дослідне конструкторсько-технологічне бюро
інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України» (м. Київ, Україна)
E-mail: lebedevvladimir@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0391-6113>

²старший викладач кафедри зварювання
Херсонський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова (м. Херсон, Україна)
E-mail: loys@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1936-6390>

**КОЛИВАЧ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ АПАРАТА ПІДВОДНОГО
ЗВАРЮВАННЯ МОКРИМ СПОСОБОМ**

У статті розглянуто конструкцію механізму подачі порошкового дроту в автоматі для зварювання під водою мокрим способом з оригінальним пристроєм для коливання електродного дроту для забезпечення суцільного шва за наявності негарантованих по ширині зазорів в умовах просторового обмеження. Розроблена методика розрахунку такого коливача на основі структурних кінематичних схем його дії. Представлена реальна конструкція коливача у складі механізму подачі зварювального автомата.

Розроблений коливач відрізняється компактністю та ефективністю і це видно на приведених порівняльних швах та відповідних осцилограмах.

Ключові слова: підводне зварювання; мокрий спосіб; механізми подачі; коливач; пальник; конструкція; розрахунок; зазор; характеристики; контроль.

Рис.: 5. Бібл.: 7.

Актуальність теми дослідження. Якісне виконання електродугового зварювання, яке забезпечує великий термін служби вузлів і деталей більшості виробничих машин у різних галузях, ставить одну з головних проблем матеріалознавства ХХІ століття.

Одним із напрямів у зварюванні та наплавленні є подальша автоматизація електродугових процесів особливо при використанні електродних дротів, які плавляться, як одного з найпоширеніших та важких для автоматичного керування та регулювання.

У зварювальному виробництві та при наплавленні часто використовується обладнання, оснащене механізмами з коливаннями зварювального інструменту, зокрема пальників. Це дозволяє вирішувати різноманітні завдання, пов'язані з реалізацією широкошарового наплавлення, перекриття зазорів та інше в автоматичному режимі.

Особливо важливо забезпечити якісний процес зварювання під водою мокрим способом в автоматичному режимі.

Постановка проблеми. Подальше застосування електродугового зварювання у водному середовищі мокрим способом в автоматичному режимі потребує певних нових техніко-технологічних рішень. Так, останнім часом з'явилося певне коло завдань, де виникає необхідність використання автоматичного дугового зварювання різних об'єктів під водою з використанням мокрого способу та застосуванням спеціальних електродних порошкових дротів. Одне з таких завдань – приварювання спеціальних конструктивів у трубі на глибинах 200 і більше метрів [1]. Крім великої глибини, на якій виконується процес, завдання ускладнюється обмеженими умовами зварювання, наявністю досить великих зазорів між конструктивами, що зварюються, з товщинами порядку 10 мм, неможливістю точного апаратного контролю положення зварювального пальника щодо зварного шва.

Наявність великих зазорів у конструкціях, що зварюються, виникає через технологічну необхідність транспортування приварювального елемента всередині труба на зазначену вище відстань і наявність певних (досить великих) допусків на овальність і внутрішній діаметр труби.

Метою цієї роботи є отримання надійного з'єднання елементів конструкції зі збільшеним зазором при автоматичному зварюванні в умовах обмеженого контролю положення пальника щодо зварного шва та розробка обладнання для вирішення такого досить складного завдання.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Слід зауважити, що при техніко-технологічних дослідженнях та створенні обладнання були використані розробки ІЕС ім. О.О. Патона як за самим способом зварювання та зварювальних матеріалів [2], так і по вузлах і конструкціях механізованого обладнання загального та спеціального призначення [3; 4], у тому числі і для підводного зварювання мокрим способом, виконаним на рівні винаходів, реалізованих у вигляді цілого ряду напівавтоматів, що випускалися у промисловості серійно.

Були випробувані різні способи зварювання на різних режимах, а також різні конструкції забезпечення мінімального зазору постійної величини та пристрої стеження за стиком. Жодне із запропонованих технічних рішень із сукупності вищезазначених причин не призвело до отримання шва з необхідною щільністю та необхідними механічними властивостями. Причина – нерівномірність зазору, складність застосування систем відомих конструкцій, що стежать, характеристики об'єктів, що зварюються (товщина, матеріал, взаємне положення) та ін.

Напрошується рішення, пов'язане зі збільшенням режиму зварювання, яке дозволить захопити велику зону проплавлення, однак, розраховані за результатами роботи [5] величини збільшення погонної енергії, неминуче призведуть до перевитрати як матеріальних, так і енергетичних ресурсів із суттєвим перегрівом металу в зоні зварювання з більш сильними характеристиками процесу. При цьому основна проблема, що виникає при збільшенні тепловкладання в основний метал, зокрема при зварюванні низьковуглецевих і низьколегованих сталей, пов'язана з надмірним зростанням зерен на ділянці перегріву металу навколошовної зони. Крупнозерниста структура металу на цій ділянці перегріву може призвести до зниженої ударної в'язкості та малої стійкості проти переходу в крихкий стан, коли сталь погано витримує динамічні навантаження і непридатна для виробів більш-менш відповідального призначення.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. До цього часу залишаються не до кінця дослідженими питання, пов'язані з можливостями ефективного використання додаткових коливань електродного дроту та функціонування систем для цього процесу в обмеженому просторі при автоматичному зварюванні у водному середовищі мокрим способом.

При цьому дуже важливим є отримання результатів, які можуть бути основою для подальшого ходу досліджень, а також застосування нової конструкції коливача електродного дроту у вищезазначених складних умовах із численними обмеженнями та неможливістю використання вже відомих зразків технічних засобів практичної реалізації зварювального процесу з коливаннями тримача з електродним дротом.

Постановка задачі. На основі комплексних експериментальних досліджень розглянути та проаналізувати основні можливості, які дає зварювання з коливаннями електродного дроту по траскторії, яка не збігається з напрямком шва при виконанні у водному середовищі процесу по зазору, який не має чіткої періодичності та розташований у суттєво обмеженому обсязі. Розробити відповідну конструкцію коливача, методику розрахунку та вибору його елементів та принципи застосування у зварювальному автоматі. Виконати дослідження роботи розробленого коливача електродного дроту.

Виклад основного матеріалу. Під час експериментування зі зварюванням кутового шва із зазором позитивні результати з прийнятними характеристиками зварного з'єднання були отримані при застосуванні коливань певних параметрів зварювального пальника щодо зварного шва перпендикулярно до осі шва, так і під деяким кутом. Останнє виявилось необхідним для забезпечення компактності пристрою у зварювальному апараті загалом.

У результаті комплексу пошукових робіт було запропоновано оригінальну, компактну конструкцію коливача зварювального пальника з приводом безпосередньо від механізму подачі електродного дроту, схема якого у спрощеному вигляді (схематично) представлена на рис. 1.

На нашу думку, спираючись на схему коливача, не важко уявити його роботу. Ефективна передача руху на притискний ролик, який пов'язаний з важелем коливача та зварювальним пальником можлива лише при подачі електродного дроту.

Складність створення такої конструкції коливача полягає у отриманні суцільності шва при обмежених параметрах регулювання частоти коливань пальника. Іншим важливим завданням були обмежені енергетичні ресурси приводного електродвигуна, який повинен витратити певну додаткову потужність на поза осьові переміщення (коливання поперек шва) електродного дроту і ділянки направляючого каналу, яким дріт подається в зону горіння дуги, а також подолання зусилля пружності.

Розглянемо, як вирішувалися ці завдання в розробленій конструкції.

Зазначимо, що в цій конструкції частота коливань зварювального пальника f визначається частотою обертання притискного ролика й залежить від швидкості подачі електродного дроту v_s , та діаметра притискного ролика d_{pr} і відповідає виразу

$$f = \frac{v_s}{\pi d_{pr}} \quad (1)$$

Оскільки в розглянутій конструкції пальника коливання складне з підсумковим синусоїдальним законом руху, то умову суцільності зварного шва за аналогією з [6] та деякими перетвореннями можна записати в такому вигляді

$$v_s = bf \sqrt{\frac{(\sin \tau - 1) \cos \tau}{\frac{3\pi}{2} - \tau}}, \quad (2)$$

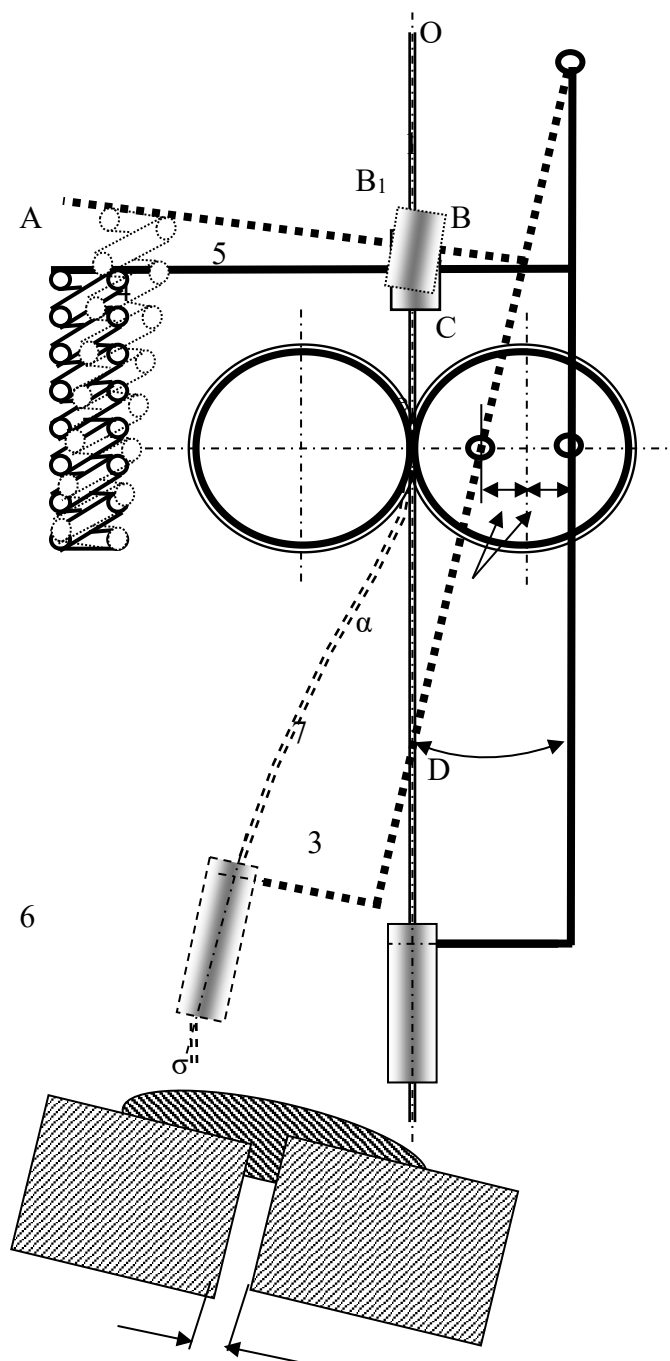


Рис. 1. Схема коливача зварювального пальника:
 1 – важіль; 2 – притискний ролик;
 3 – зварювальний пальник; 4 – пружина стиснення; 5 – подавальний ролик; 6 – елементи конструкції (умовно); 7 – електродний дріт

де b – розмах коливань торця електродного дроту; τ – корінь рівняння

$$\frac{l^2}{b^2} = (\sin t - 1) \left[(\sin t - 1) + \left(\frac{3\pi}{2} - t \right) \cos t \right],$$

Перетворивши і прирівнявши рівняння (1), (2), можна знайти конструктивні параметри b і d_{np} , задавшись одним із них із такого співвідношення

$$\pi d_{np} = b \sqrt{\frac{(\sin \tau - 1) \cos \tau}{\frac{3\pi}{2} - \tau}}. \quad (3)$$

Сила P , що викликає лінійне пружне переміщення каналу з дротом [7], у зоні взаємодії роликів і дроту може бути з припущеннями (пружність, форма, перетин та ін.), але з достатньою для конструктивних рішень точністю знайдене співвідношення

$$P = \frac{3eEJ}{l_k^3} \pm P_{np}, \quad (4)$$

де P_{np} – зусилля пружини, e – величина ексцентриситету притискного ролика; l_k – довжина згинається частини каналу з дротом; E – модуль пружності зв'язки дроту – канал (у нашому випадку враховувався модуль пружності каналу, оскільки дріт, що вільно знаходиться в каналі, практично не згинається); J – момент інерції перерізу згинальної частини каналу з дротом.

При цьому знайдене значення сили має максимальне значення при стисканні пружини та враховується при визначенні моменту на валу електродвигуна механізму подачі.

Переміщення струмопідвідного наконечника, а отже, дуги, у свою чергу, можна встановити виходячи з геометричних співвідношень по рис. 1 в такому вигляді

$$\frac{OC}{OD} = \frac{e}{b}, \quad (5)$$

де OC та OD – розміри елементів важеля.

Враховуючи, що $OC \approx l_k$, рівняння (4) можна записати так

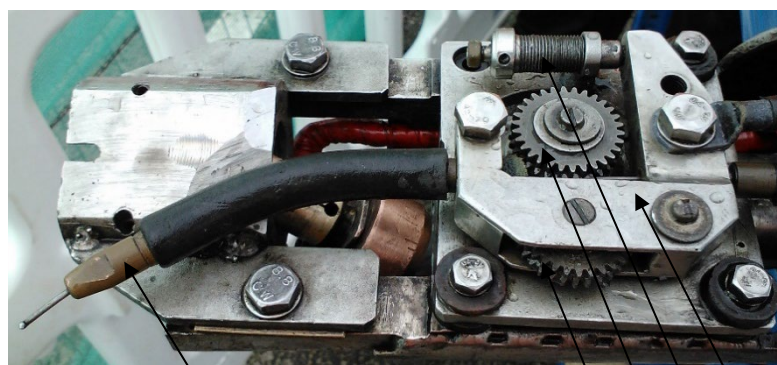


Рис. 2. Конструкція коливача зварювального пальника:

- 1 – важіль; 2 – притискний ролик;
- 3 – пальник зі струмопідвідним наконечником;
- 4 – пружина стиснення; 5 – подавальний ролик

обмежених умовах. Підкреслимо, що коливач у комплекті з механізмом подачі за габаритами вписується в діаметр до 110 мм.

$$P = \frac{3l_k b E J}{O D l_k^2} \pm P_{np}. \quad (6)$$

На підставі виразу (6) проводиться повний розрахунок параметрів роликів і важеля з пальником із вибором розмірів, що мінімізують елементи конструкції коливача електродного дроту та зусилля на валу приводного електродвигуна.

На рис. 2 представлена реальна конструкція коливача електродного дроту для зварювання мокрим способом

Розглянутий механізм у складі автомата випробовувався як у лабораторних умовах при зварюванні на глибині понад 200 м, що імітується в барокамері, і в процесі дослідно-промислової експлуатації на глибинах до 230 м показав надійність роботи і високі техніко-технологічні показники.

На рис. 3 показані порівняльні результати зварювання «в кут» у горизонтальній площині з коливаннями і без коливань струмопідвідного наконечника за наявності зазору до 4 мм у водному середовищі при тиску понад 200 Ат. Середні значення струму зварювання $I_{36} = 230$ А, напруги зварювання $U_{36} = 29,3$ В. Швидкість зварювання 6 ... 7 м/год. При зварюванні без коливань струмопідвідного наконечника, як видно на рис. 3, є провали зварювальної ванни з наступним непроваром конструкції.

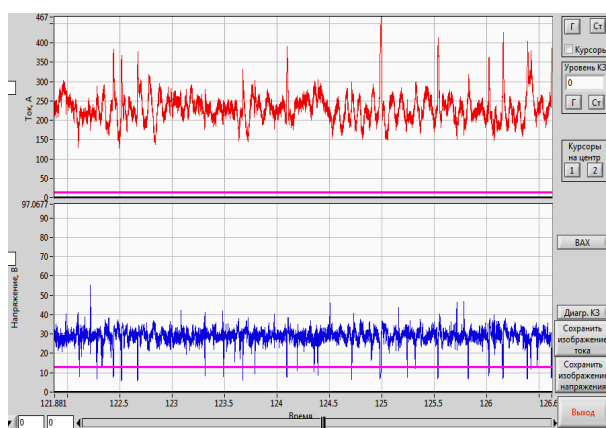


а

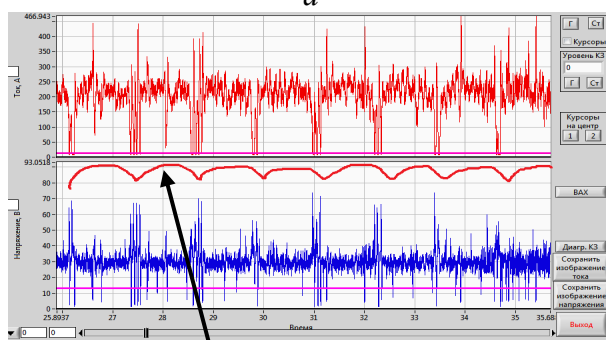
б

Рис. 3. Зварювання елементів конструкції:

а – без коливань; б – з коливаннями струмопідвідного наконечника



а



б

Коливання струмопідводу

Рис. 4. Осцилограма струму та напруги процесу приварювання денця:

а – звичайний процес; б – з коливаннями струмопідвідного наконечника

Осцилографування процесу зварювання, результати якого представлені на рис. 4, показує, що процес з коливаннями більш стабільний з точними позначеннями періоду коливань (частота коливань у межах $f = 1,2$ Гц). Слід зазначити, що за необхідності частота коливань може бути збільшена без зміни параметрів зварювального процесу та зміни кінематичної схеми малогабаритного комплектного пристрою.

Слід зазначити, що при необхідності частота коливань може бути збільшена без зміни параметрів зварювального процесу та зміни кінематичної схеми малогабаритного комплектного пристрою. Збільшення частоти коливань може бути досягнуто при застосуванні коливача з кінематичною схемою, представленою на рис. 5, де у ролі збудника коливань встановлений ексцентрично (з вищеписаним ефектом) додатковий ролик, у разі потреби, з фігурною поверхнею забезпечує велику кількість видів коливань від гармонійних до коливань із зупинками та ін.

Можна зазначити, що робота такого вдосконаленого механізму не потребує додаткових особливих пояснень і цілком зрозуміла з наведеного рис. 5.

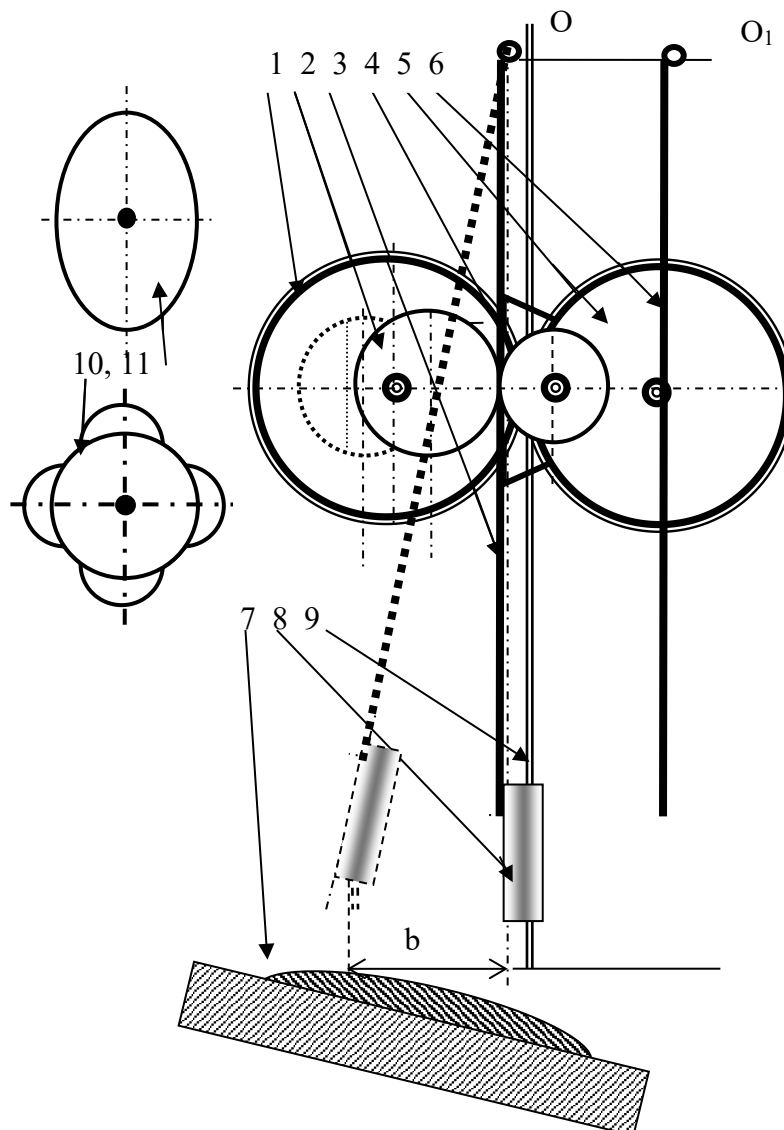


Рис. 5. Варіант конструкції механізму подачі з коливачем від додаткового ролика: 1 – ролик, що подає; 2 – ролик приводу коливача; 3 – важіль коливача; 4 – ролик коливання; 5 – притисний ролик; 6 – притисний важіль; 7 – виріб; 8 – зварювальний пальник; 9 – електродний дріт; 10, 11 - варіанти роликів збудників коливань

Можливості такого механізму суттєво ширші, ніж раніше розглянутого, хоча його конструкція дещо складніша. Методика розрахунку такого механізму практично не відрізняється від вищенаведеної.

Можна вважати, що розглянута конструкція коливача, поєднаного з елементами конструкції та кінематичної схеми механізму подачі, може бути застосована в інших системах автоматизованого зварювального обладнання, також можуть використовуватись у різних сферах зварювального виробництва та при операціях різного характеру з наплавлення.

Додатково зазначимо, що траєкторія руху пальника, яка коливається відбувається по дузі, але радіус кривизни конструктивно вибирається таким, щоби він не дуже відрізнявся від того, який забезпечує еквідистанційне переміщення, що є умовою якісного виконання зварювання, в тому числі і кутового.

Промислове випробовування автомат із таким коливальним пристроєм було вперше здійснено на комплексі теплових насосів на глибині понад 200 м при зварюванні в трубах діаметром 132 мм на території Великої Британії і було успішним.

Висновки.

1. Підводне зварювання мокрим способом отримує дедалі більшого поширення, що пов'язано з розширенням умов її застосування, при цьому вдосконалення може бути здійснено за рахунок створення високоефективних автоматизованих систем для зварювання електродом, що плавиться.

2. Проблема автоматизації процесу зварювання пов'язана з вирішенням завдань зварювання по широкому зазору, як наслідок неможливості точно контролювати точне положення елементів, що зварюються в конструкцію. Запропоноване просте та ефективне техніко-технологічне рішення з коливаннями зварювального пальника дозволяє отримати необхідну якість зварного з'єднання.

3. Запропонована конструкція коливача на основі привода подачі електродного дроту і методика його розрахунку забезпечують надійну роботу пристрою при мінімальних габаритних характеристиках.

Список використаних джерел

1. Унікальний комплекс оборудования для автоматической дуговой сварки на большой глубине в максимально ограниченных условиях / Д. И. Зайнулин, В. А. Лебедев, С. Ю. Максимов, В. Г. Пичак // Сварка и родственные технологии – настоящее и будущее : сб. тезисов стендовых докладов Междунар. конф. (25-26 ноября 2013). – С. 70-71.

2. Кононенко, В. Я. Опыт мокрой механизированной сварки самозащитными порошковыми проволоками при ремонте под водой газо- и нефтепроводов / В. Я. Кононенко, А. Г. Рыбченков // Автоматическая сварка. – 1994. – № 9-10. – С. 29-32.

3. Максимов, С. Ю. Новое поколение оборудования для мокрой подводной автоматической сварки / С. Ю. Максимов, В. А. Лебедев // Доклады Санкт-Петербургской международной научно-технической конференции (16-18 окт. 2012 г. Санкт-Петербург). – Санкт-Петербург, 2012. – С. 270-278.

4. Lebedev, V. A. New Equipment for Underwater Mechanized and Automatic Flux-Cored Wire Welding and Cutting / V. A. Lebedev, S. Yu. Maksimov // International Congress on Advances in Welding Science and Technology for Construction, Energy and Transportation Systems (AWST - 2011) (24-25 October 2011, Antalya, Turkey). – Antalya, 2011. – Pp. 139-142.

5. Лебедев, В. А. Обеспечение технологической надежности сварочного оборудования / В. А. Лебедев, Д. В. Плющ // Заготовительные производства в машиностроении. – 2013. – № 7. – С. 11-14.

6. Данилов, А. И. Условие сплошности наплавки при движении источника нагрева по синусоидальному закону / А. И. Данилов, А. И. Гартманова, Н. А. Колосова // Сварочное производство. – 1980. – № 2. – С. 26.

7. Сопротивление материалов / Г. С. Писаренко, В. А. Агарев, А. Л. Квитка и др. – Киев : Гостехиздат УССР, 1963. – 792 с.

References

1. Zainulyan, D.Y., Lebedev, V.A., Maksymov, S.Iu., & Pychak, V.H. (2013). Unikalnyi kompleks oborudovaniia dlia avtomaticheskoi duhovoii svarky na bolshoi hlubine v maksimalno ohranenchennykh usloviakh [A unique set of equipment for automatic arc welding at great depths under the most limited conditions]. *Sbornyk tezysov stendovykh dokladov Mezhdunarodnoi konferentsyy «Svarka y rodstvennye tekhnolohyy – nastoiashchee y budushchee – Welding and related technologies – present and the future: Sat. abstracts of poster presentations Intern. conf.* (pp. 70-71).

2. Kononenko, V.Ia., & Rybchenkov A.H. (1994). Opyt mokroi mekhanizirovannoi svarki samozashchytnymi poroshkovymi provolokami pri remonte pod vodoi gazo- y nefteprovodov [Experience of wet mechanized welding with self-shielding flux-cored wires during underwater repair of gas and oil pipelines]. *Avtomatycheskaia svarka – Automatic welding*, (9-10), 29-32.

3. Maksymov, S.Iu., & Lebedev, V.A. (2012). Novoe pokolenie oborudovaniia dlia mokroi podvodnoi avtomaticheskoi svarky [New generation of equipment for wet underwater automatic welding]. *Doklady Sankt-Peterburhskoi mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii – Reports of the St. Petersburg International Scientific and Technical Conference*] (pp. 270-278).

4. Lebedev, V.A., Maksimov, S.Yu. (24-25 October 2011). New Equipment for Underwater Mechanized and Automatic Flux-Cored Wire Welding and Cutting. *International Congress on Advances in Welding Science and Technology for Construction, Energy and Transportation Systems (AWST - 2011)* (pp. 139-142). Antalya, Turkey.

5. Lebedev, V.A., & Pliushch, D.V. (2013). Obespechenie tekhnologicheskoi nadezhnosti svarochnogo oborudovaniia [Provision of technological reliability of welding equipment]. *Zagotovitelnye proizvodstva v mashinostroenii – Procurement production in mechanical engineering*, (7), pp. 11-14.

6. Danylov, A.I., Gartmanova, A.I., & Kolosova, N.A. (1980). Uslovie sploshnosti naplavki pri dvizhenii istochnika nagreva po sinusoidalnomu zakonu [The condition of the continuity of the surfacing when the heating source moves according to the sinusoidal law]. *Svarochnoe proizvodstvo – Welding production*, (2), pp. 26.

7. Pisarenko, H.S., Agarev, V.A., Kvitka, A.L. (1963). *Soprotivlenie materialov [Strength of materials]*. Gostekhizdat USSR.

Отримано 08.05.23

UDC 62-503.55

Volodymyr Lebedev¹, Serhii Loi²

¹Doctor of Technical Sciences, Professor, chief designer

State enterprise “Research Design and Technology Bureau

Institute of Electric Welding named after E. O. Paton of the National Academy of Sciences of Ukraine” (Kyiv, Ukraine)

E-mail: lebedevvladimir@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0391-6113>

²Senior Lecturer of the Welding Department

Kherson Educational and Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding (Kherson, Ukraine)

E-mail: loys@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1936-6390>

WELDING TOOL OSCILLATOR FOR WET UNDERWATER WELDING APPARATUS

The paper defines the problem of automatic wet welding at a great depth in compressed conditions. A new design of the flux-cored wire feeding mechanism in an automatic wet welding machine with an original device for oscillating the electrode wire to ensure a continuous seam in the presence of non-guaranteed gaps in terms of space limitations is considered. This problem arises when special metal plugs are installed inside pipes of a small internal diameter to isolate or demarcate different environments, for example, coolant in deep pump systems, when plugging pipe outlets of oil and gas wells. Electric arc automatic welding is efficient enough to solve such a problem. Plug welding has certain problems associated with uneven gaps between the plug and the inner wall of the pipe, where the corner joint must be made. The original design of the oscillator of the welding tool is proposed and technically implemented in an automatic machine for the electric arc process, which provides welding of such a joint. Ways for further development of the oscillator design with interesting improvements of capabilities are defined. A method of calculating such an oscillator based on structural kinematic schemes of its action has been developed. Presented on the real design of the oscillator as part of the welding machine feed mechanism. The developed oscillator is compact and efficient, and this can be seen from the given comparative plots and corresponding oscillograms. A successful industrial test of the development of a welding machine with a new feed mechanism took place with further commissioning. The new development can be used on other objects with conditions similar to those specified in the material of the article.

Key words: underwater welding; wet method; feed mechanisms; oscillator; burner; design; calculation; gap; characteristics; control.

Fig.: 5. References: 7.