

УДК 94.621.791(477)

ЕТАПИ РОЗВИТКУ ПІДВОДНОГО ЗВАРЮВАННЯ

Літвінов О.П., д-р істор. наук
(Приазовський державний технічний університет)

В Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона в 1965 р. було розгорнуто цикл дослідних і конструкторських робіт зі створення нової технології та обладнання для підводного зварювання і різання металу. В результаті вперше в світі були вирішені проблеми напівавтоматичного зварювання та різання під водою без повітряних камер – мокрим способом.

Ключові слова: історія техніки, підводне зварювання, підводна різка, Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона, зварювальне виробництво.

Актуальність досліджень полягає в необхідності встановити внесок України, в першу чергу Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона у створення сучасної технології та обладнання для підводного зварювання і різання сталевих конструкцій. Для виконання цього завдання розглядається генезис і використання елементів механізованого зварювання в звичайних атмосферних умовах. Метод досліджень – системний аналіз історії винаходу різних технологій підводного дугового зварювання.

Відомо, що можливість горіння електричної дуги з вугільного електрода під водою була доведена ще в 1880 році російським фізиком В.М. Чикольовим. Наступного року видатний вітчизняний винахідник М.М. Бенардос вперше в світі винайшов спосіб зварювання електричною дугою, який майже зразу знайшов широке впровадження і почав вдосконалюватися у різних країнах. Однак півстоліття нікому не вдалося «помирити розплавлений метал з водою, та ще й сформувавши щільне з'єднання двох деталей». Зварювальні роботи у воді проводили звичайними плавкими металевими електродами вручну у спеціальних камерах: витісняли воду, подаючи повітря під підвищеним тис-

ком і ізолюючи місце зварювання (чи – різання) від впливу водного середовища. Для складних конструкцій кораблів та інших споруд практично неможливо було створити такі умови – витіснити воду з міста зварювання. Для виконання з'єднань, що знаходяться безпосередньо у воді (тобто зварювання «мокрим способом»), в 1932 р. професор Московського інституту залізничного транспорту К.К. Хренов вперше у світі розробив спеціальні обмазки для електродів, способи ручного дугового зварювання та різання під водою. Відсутність камер при мокрому способі дозволяє успішно використовувати підводне зварювання конструкцій будь-якої конфігурації, причому у найвіддаленіших водоймах, швидко перекидаючи обладнання в ці райони. Перша ж його публікація була негайно перевидана за кордоном. У роки Великої Вітчизняної війни спеціальні водолазні команди застосували ці технології для ремонту кораблів, мостів, причалів, для того, щоб розрізати і підняти великі конструкції. (За підводне зварювання К.К. Хренов в 1946 р. отримав Сталінську премію).

У другій половині ХХ століття при будівництві та ремонті нафтовидобувних платформ, підводних трубопроводів, портових та інших гідротех-

нічних споруд і комунікацій різко зросла потреба у зварюванні під водою. У СРСР і за кордоном у 1940-х роках продовжувало удосконалюватися ручне дугове зварювання, розроблялися водостійкі покриття обмазок, склади стрижнів. Однак продуктивність і якість швів ручного зварювання не задовольняла різко зрослим потребам у виконанні монтажно-будівельних робіт підводних споруд. З середини 1940-х років для різання почали застосовуватися трубчасті електроди, через центральний канал яких в зону дуги подавали аргон. Однак це значно здорожувало процес різання. Вже на початку 1950-х років на суші універсальне ручне дугове зварювання почало витіснятися механізованим напівавтоматичним зварюванням у вуглекислому газі (сталей, чавуну) і в інертних газах (кільорових металів і сплавів). У світовій практиці механізацію зварювання почали здійснювати тільки «сухим» способом – в тих же спеціальних камерах. Для ручного зварювання мокрим способом продовжували створювати спеціальні штучні електроди [1].

У 1965 р. в Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона з ініціативи Б.Є. Патона почалися роботи по металургії і технології механізованого підводного зварювання конструкційних сталей, насамперед, мокрим способом. Організаційні роботи були покладені на І.М. Савича. Основним замовником став Військово-морський флот СРСР. Протягом трьох років був побудований басейн, в якому водолаз-оператор може виконувати роботи в умовах, максимально наближених до природних, зібрати дослідне обладнання, навчити співробітників водолазному справі і прийомам мокрою зварювання, оснастити лабораторію і розгорнути дослідження зі створення глибоководного напівавтомата і порошкового дроту для мокрої механізованого зварювання маловуглецевої і низьколего-

ваної сталі. Одним з основних завдань було забезпечення міцності зварних споруд при збільшенні глибини.

В Університеті ім. В.Піка (Wilhelm-Pieck-Univ., Rostock) (НДР, Росток) в 1983 р. зроблено огляд стану та перспектив розвитку підводного зварювання. Описано найпростіші маніпулятори і пристрої для проведення підводного зварювання в інертному або активному газах порошковим дротом, особливості забезпечення стабільності дуги при підводному зварюванні на середніх і великих глибинах. Одним з основних напрямків розвитку підводного зварювання було створення найпростіших маніпуляторів і пристроїв для підводного зварювання в інертному або активному газах з метою забезпечення стабільності дуг [2]. Тоді ж в ІЕЗ ім. Є.О. Патона розглянуто стан підводного зварювання і різання в СРСР і за кордоном [3].

У 1965-1970 рр. був виконаний комплекс досліджень особливостей зварювання під водою, розроблені основи захисту зварювання і легування металу шва у водному середовищі. Розроблено зварювальні матеріали та апаратуру для дугової механізованої зварки на великих глибинах. У 1969 р. вперше в світі здійснено підводне напівавтоматичне зварювання міцнощільним швом водопроводу через ріку Дніпро у м. Дніпродзержинську (під орудою І.І. Савича) [3].

Для розробки напівавтоматичного зварювання використовувався досвід напівавтоматичного зварювання у вуглекислому газі, створеного наприкінці 1940-х років для механізації виробництва споруд з конструкційної сталі (природно, в нормальних атмосферних умовах). Механізоване зварювання полягає в тому, що електродний дріт подається в зону зварювання через струмопіводящий мундштук, і тому повинен бути без покриттів. І для того, щоб захистити зону зварювання і

компенсувати вигорання зі сплавів легуючих елементів і потрапляння водню з води, до складу дроту повинні додатково вводитися відповідні компоненти. У ІЕЗ розвернулися дослідження трьох видів механізованого зварювання: 1 – в середовищі вуглекислого газу, 2 – самозахисним порошковим дротом, 3 – порошковим дротом з додатковим газовим захистом. Основна мета досліджень – створення спеціальних електродів з урахуванням особливостей мокрого способу підводного зварювання.

Порошковий дріт являє собою згорнуту в трубку тонкий дріт, заповнений в процесі згортання подрібненим флюсом – шихтою. Шихта повинна замінювати легуючі елементи, вигоряючі в парогазовому міхурі і перешкоджати проникненню в розплавлений метал водню. Дріт, в якому шихта задовільно виконує ці функції, називається самозахисним, і застосовується без додаткового захисту для зварювання під водою низьковуглецевих і деяких низьколегованих конструкційних сталей (діаметром 1,2-2 мм марки ППС-АН1).

Розвернулися дослідження металургійних, енергетичних і технологічних особливостей підводного зварювання і різання незахищеною дугою металевих об'єктів на глибинах континентального шельфу (І.М. Савіч, А.Г. Рибченков, В.І. Паньков, А.А. Ігнатушенко, В.Я. Кононенко та ін.). У короткі терміни були розроблені технологія та обладнання для підводного мокрого зварювання сталей порошковим дротом (І.М. Савіч, В.Я. Кононенко), електроди для підводного мокрого зварювання у всіх просторових положеннях конструкційних сталей з межею текучості до 350 МПа (С.Ю. Максимов), технологія і електроди для ручного і три типи порошкових дротів для механізованого різання (В.Е. Данченко, Ю.Н. Нефедов, Н.В. Головка). В обмазку і шихту матеріалів для рі-

зання введені компоненти, що в зоні горіння дуги виділяють велику кількість кисню. При цьому не потрібно подавати в зону дуги з поверхні кисень і міняти електроди [4-6].

У ІЕЗ було створено низку макетів напівавтоматів, виконаних за різними схемами – закритою, відкритою і напіввідкритою. Конструкція, виконана за закритою схемою, мала сухий жорсткий бункер, в якому розміщувалися механізм подачі і котушка з електродним дротом. Для запобігання попадання води через канал шлангового утримувача в бункер по спеціальному шлангу подавалося повітря під тиском, що перевищує гідростатичний тиск стовпа води на 0,05 МПа. Були розроблені вперше в світі занурювані у воду апарати, в які входять подаючий механізм з двигуном, редуктором, гнучким шлангом і тримачем, котушка з електродним дротом, проводи ланцюгів управління та зварювальні кабелі (В.Е. Патон, В.Б. Смолярко, В.Г. Пічак) [5].

У 1974 р. А1450 «Нептун 4» пройшов Державні випробування і був прийнятий ВМФ СРСР. Випущено більше 100 комплектів напівавтоматів. У 1977 р. був розроблений А1660 на роботу глибину 60 м. Випущено більше 140 комплектів напівавтоматів. Напівавтомат типу А1660 складається з шафи управління, розташовані на повітрі, і контейнера, що занурювався у воду і був пов'язаний з шафою керування і джерелом живлення зварювальними кабелями і проводами ланцюгів управління. Напівавтомат набув широкого поширення при виконанні гідротехнічних робіт. У 1989 р ІЕЗ був розроблений більш досконалий напівавтомат для підводного зварювання (ПШ 141) [6].

Найважливішим завданням, що поставив ВМФ СРСР Інституту електрозварювання ім. С.О. Патона, було розробити ефективні технології різання під водою сталевих конструкцій товщиною більше 30 мм. У 1986 р.

була спроектована установка для плазмово-дугового різання під водою А1821 «Скат 3», в 1989 р. – напівавтомат для підводної механізованої різання порошковим дротом ПШ131 В5 (редуктор і двигун розміщені в металевому корпусі з системою компенсації тиску; корпус занурюваного вузла з піноепоксидною масою під водою – 14 кг.; запас порошкового дроту до 10 кг; довжина тримача – 3 м; робоча глибина – 60 м). Зразу було випущено 18 комплектів. У 1991р було випущено 8 комплектів вдосконаленого напівавтомата ПШ 141 В5 «Протока» [6].

З 1979 р. підводне зварювання застосовують при відновленні газопровідних труб, що працюють під високим тиском, корпусів суден, портів шлюзів і при будівництві різних гідротехнічних об'єктів. Роботи проводилися на річках Об, Єнісей, Волга, Дніпро, Ірма, Великий Іргиз, Вичегда, Москва-ріка та ін. З використанням напівавтоматичного зварювання спеціальним порошковим дротом тільки на будівництві знаменитого газопроводу Уренгой - Західна Європа довжиною близько 5 тисяч кілометрів було зварено 794 річкових переходи.

У другій половині 1990-х і в перші роки після 2000 рр. були інтенсифіковані і поглиблені дослідження з метою розширення технологічних можливостей механізованого зварювання на глибинах до 100-200 м, встановлення природи і заходів запобігання пористості швів, підвищення стабільності дугового розряду при високих значеннях гідростатичного тиску, нейтралізації шкідливого впливу дифузійного водню на якість зварних з'єднань, запобігання холодних тріщин у з'єднаннях трубних сталей та інших конструкційних сталей підвищеної міцності. Розпочато було дослідження по зварюванню нержавіючих сталей стосовно проблем атомників [7]

Вивченню еволюції газових поро-

жнин присвячено чимало досліджень. Встановлено, що одним з найважливіших фізичних процесів у системі газ-рідина є дифузійні явища. Динаміка зростання бульбашки визначається моментом її зародження. Чим пізніше утворився пухирець, тим раніше поле концентрації в приповерхневому шарі досягає великого значення, що в підсумку збільшує кількість газу, який дифундує в порожнину пухирця, і сприяє зростанню останнього [8-10]. Наявність водного середовища справляє помітний вплив на процес формування зварного з'єднання, виконаного під водою. Дуга горить в парогазовому міхурі, що складається в основному з парів води та продуктів її дисоціації. Вміст водню в металі шва може в кілька разів перевищити звичайні норми і досягати 35 см³/100 г. У поєднанні з підвищеною швидкістю кристалізації і меншим обсягом зварювальної ванни у порівнянні зі звичайними умовами підвищений вміст водню створює небезпеку інтенсивного пороутворювання при мокрому зварюванні. У той же час підвищений тиск в парогазовому міхурі повинен ускладнювати процес зародження зростання пор, збільшувати розчинність водню і, отже, зменшувати пористість швів [11]. Однак за даними робіт [12,13] збільшення глибини призводить до підвищення кількості пор.

У 1980-х роках у Великобританії, ФРГ і США розгорнулися дослідження підводного зварювання на глибинах більше 100 м. У 1996 р. у Технологічному інституті Великобританії (Institute of Technology, Granfield) гіпербаричне зварювання ведуть під тиском газового середовища, рівним тиску навколишньої води на відповідній глибині. На глибинах до 150 м хороші результати може дати зварювання напівавтоматом порошковим електродним дротом з додатковим газовим захистом; при цьому спрощуються металургійні проблеми, проте неможливе зварювання металів великої товщини [14]. Розгор-

нулося вивчення дугового зварювання під дією тиску більш ніж 100 бар. Встановлено можливі технології зварювання і з'єднання підводних споруд (дугове зварювання, зварювання в твердій фазі, зварювання вибухом, склеювання). Вказані досягнення різних країн у процесах дугового зварювання на глибині 500-1000 м – зварювання плазмове і в захисному газі. Доведено можливості використання роботів, спеціальних пристосувань, моніторингу процесів зварювання і т.д. [15-17].

Група підкомітету G01.09 "Корозія в природних водах" входить до Американського товариства по випробуванню матеріалів (ASTM), проводить дослідження з визначення стійкості до корозії під дією морської води алюмінієвих сплавів з високим вмістом магнію, що широко застосовуються у суднобудуванні [18].

Одним з видів електротермічної різання, застосовуваним для підводних робіт, є контактнo-дугове різання. Воно характеризується безпекою та низькою собівартістю [19]. Ще одним унікальним досягненням ІЕЗ останніх років є розробка технології і обладнання для мокрого дугового зварювання порошковим дротом в автоматичному режимі конструктивних нижньої частини колони теплообмінника. Вперше в світі було створено зварювальний автомат, що може працювати зануреним в трубу внутрішнього діаметра 119 мм на глибині 200 м у середовищі рідкого теплоносія. Це було замовлення компанії «Greenfield Energy» для виготовлення й ремонту опалювальних систем замкнутого контуру [20].

Висновки

1. У 1965-1970 рр. в Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона

виконано комплекс досліджень особливостей зварювання під водою, розроблені основи захисту зварювання і легування металу шва у водному середовищі. Розроблено зварювальні матеріали та апаратура для дугового механізованого зварювання на великих глибинах.

2. У 1969 р вперше в світі здійснено підводне напівавтоматичне зварювання міцно-щільним швом водопроводу через ріку Дніпро у м. Дніпродзержинську.

3. З 1970-х років підводне зварювання застосовують при відновленні газопровідних труб, що працюють під високим тиском, корпусів суден, портових шлюзів і при будівництві різних гідротехнічних об'єктів. З використанням напівавтоматичного зварювання спеціальним порошковим дротом тільки на будівництві знаменитого газопроводу Уренгой - Західна Європа довжиною близько 5 тисяч кілометрів було зварено 794 річкових переходів.

4. У другій половині 1990-х і в перші роки після 2000 рр. були інтенсифіковані і поглиблені дослідження з метою розширення технологічних можливостей механізованого зварювання на глибинах до 100-200 м, встановлення природи і заходів запобігання пористості швів, підвищення стабільності дугового розряду при високих значеннях гідростатичного тиску.

5. У 2000-х роках продовжують виконуватися прикладні дослідження: з розробки по підводному зварюванню на глибинах континентального шельфу (до 300 м); по створенню технологій дугового зварювання з адаптивним управлінням процесом формування металу шва і нового покоління зварювального устаткування.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Мадагов Н.М.* Подводная сварка и резка металлов. / Н.М. Мадагов. – Л.: Судостроение, 1967. – 164 с.
2. *Setffarth P.* Zum gegenwärtigen Stand des Unterwasserschwei ßens. / P. Setffarth // Schweisstechnik (DDR). – 1983. – 33. – №11. S. 521 – 522.
3. *Аснис А.Е.* Подводная сварка и резка металлов. / А.Е. Аснис, И.М. Савич // Сварка и спец. электрометаллургия. – 1984/ – С. 115-120.

4. Максимов С.Ю. Металлургические особенности подводной мокрой сварки покрытыми электродами / С.Ю. Максимов. // Автомат. сварка. – 1994. – № 12. – С. 10-14.
5. Максимов С.Ю. Структура и свойства металла, наплавленного под водой порошковой проволокой с никелевой оболочкой / С.Ю. Максимов. // Автомат. сварка. – 2003. – № 4. – С.19-22.
6. Максимов С.Ю. Окисление металла в атмосфере парогазового пузыря при мокрой подводной сварке С.Ю. Максимов // Сб. науч. трудов НУК им. Адмирала Макарова. – 2006. – № 3. – С. 91-95.
7. Савич И.М. Применение механизированной резки при подъеме подводной лодки. / И.М. Савич, С.Ю. Максимов. // Автомат. сварка. – 2001. – №2. – С. 59-60.
8. Походня И.К., Математическое моделирование поведения газов в сварных швах. / И.К. Походня, В.Ф. Демченко, Л.И. Демченко. – Киев: Наук.думка, 1979. – 56 с.
9. Suda Y. On formation of porosity in underwater weld metal – study on mechanisms of blow-hole formation by hydrogen (the 2nd report) // Ibid. – 1987. – 18, –№1. – P. 61-68.
10. Анис А.Е. Меры снижения содержания водорода в зоне термического влияния при механизированной подводной сварке. / А.Е. Анис, А.А. Игнатушенко, Ю.В. Дьяченко // Автомат.сварка. – 1983. – № 8. – С. 1-4.
11. Ando S., Study on the metallurgical properties of steel welds with underwater gravity welding / S. Ando, T.Ashina. // Underwater weld: Proc. Intern / cont. Trondheim, 27-28 June, 1983. – Oxford. – 1983. – P. 255-261.
12. Ibarra S. Effect of water dept on underwater weld metal porosity formation S.Ibarra, Olson D.L., Liu S. // Intern. Conf. on underwater welding, New Orleans, 20-21 March, 1991. – Miami: AWS, 1991. – P. 54-69.
13. Olson D.L., Ibarra S. Underwater welding metallurgy. // Proc. Ist. On OMAE, 1986. – P. 439-447.
14. Ellis R. Deepwater arc Welding: Arc welding research at pressures that 100 bar. / Ellis Richard // HSB Int. Holl Shipbuild – 1997. – 46. – №3. – P. 51-52.
15. Die Möglichkeiten des hyperbaren Schweissens. «Maschinenbau», 1983.– 12.– №11.– 39-40 (нем).
16. Schweißen im Offshorebereich, Möglichkeiten des Kammerschweißens. Ford Eric. (Techn. Rdsch. – 1983. – 75. – №43. – S. 21, 23.
17. Deepwater arc Welding: Arc welding research at pressures that 100 bar / Ellis Richard // HSB Int. Holl Shipbuild. – 1997. – 46/ – №3. – С. 51-52.
18. Input sought For ASTM seawater exposure program // Welding Journal.– 2003.– 82.– № 8.– S. 1-4.
19. Бах В. Подводная резка / В. Бах, Дж Линдемайер, Е. Филипп, Р. Версеманн. // Сварщик. – 1999. – №:6. – С. 30-31.
20. Зайнулин Л.И. Уникальный комплекс оборудования для автоматической дуговой сварки на большой глубине в максимально ограниченных условиях. / Л.И. Зайнулин, В.А. Лебедев, С.В. Максимов // Сварка и родственные технологии – настоящее и будущее. – Сб. тезисов конференции. – Киев, ИЭС им. Е.О. Патона, – 2013. – С.70-71.

Литвинов А.П. Этапы развития подводной сварки. В Институте электросварки им. Е.О. Патона в 1965 г. был развернут цикл исследовательских и конструкторских работ по созданию новой технологии и оборудования для подводной сварки и резки металла. В результате впервые в мире были решены проблемы полуавтоматической сварки и резки под водой без воздушных камер – мокрым способом.

Ключевые слова: история техники, подводная сварка, подводная резка, Институт электросварки им. Е.О. Патона, сварочное производство.

Litvinov A.P. Abstract Stages of development of underwater welding. At the Institute of Electric them E.O Paton. in 1965 was deployed cycle of research and development projects on development of new technology and equipment for underwater welding and cutting metal. As a result, for the first time in the world have been solved problems semiautomatic welding and cutting under water without air chambers - wet method.

Keywords: history of technology, underwater welding, underwater cutting, Institute of Electric them. EO Paton, welding.