



# СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОДВОДНОЙ СВАРКИ И РЕЗКИ В УКРАИНЕ

**В. Я. КОНОНЕНКО**, канд. техн. наук («Экотехнология», г. Киев)

Проведен анализ состояния подводной сварки и резки в Украине. Установлено, что основным способом подводной сварки в настоящее время является мокрая сварка покрытыми электродами. Практически все металлоконструкции под водой в Украине разрезаются с применением электрокислородной резки трубчатыми электродами. Другие способы подводной резки за последнее время не использовались.

*Ключевые слова:* мокрая подводная сварка, резка порошковой проволокой, электрокислородная резка, покрытые электроды, порошковая проволока, экзотермические электроды

Подводную сварку и резку в бывшем СССР начали применять с середины 1930-х гг. [1] при ремонте подводных трубопроводов, а также при подъеме и восстановлении кораблей, получивших боевые и навигационные повреждения. Основным заказчиком на разработку этих технологических процессов и оборудования являлось Министерство обороны бывшего СССР. Работами в этом направлении занимались несколько организаций. В 1967 г. на базе ИЭС им. Е. О. Патона была сформирована группа, трансформировавшаяся затем в специализированную лабораторию по исследованию и разработке электродных материалов, технологических процессов и оборудования для различных способов сварки и резки под водой.

## Сварка под водой покрытыми электродами.

В Украине сварку под водой длительное время выполняли с использованием покрытых электродов марок ЛПС-4, ЛПС-5, ЛПС-5, ЭПС-5, ЭПС-35, ЭПО-55, ЭПС-52, ЭПС-А и др. [2-4], разработанных в 1940-1950-е гг. Основным изготовителем был «28 военный завод» в г. Ломоносове. Ряд электродов изготавливали сами исполнители подводно-технических работ. Сварка под водой указанными электродами характеризовалась неустойчивым горением дуги. Валики получались высокими с крупночешуйчатой поверхностью, отделимость шлаковой корки затруднялась. При сварке многопроходного сварного соединения установлено ухудшение формирования второго и последующих швов.

Наиболее удовлетворительными сварочно-технологическими свойствами отличались электроды марки ЭПС-52. Механические свойства соединений, полученных при сварке под водой этими электродами, соответствовали таковым, выполненным на воздухе электродами типа ЭЗ4. В настоящее время выпуск электродов ЭПС-52 на предприятии «28 военный завод» возобновлен. Электроды марки ЭПС-А предназначены для сварки под водой корпусных сталей повышенной прочности типа АК. Удовлетворительные сварочно-технологические свойства швов обеспечивались только при выполнении сварки в нижнем и вертикальном положениях. Металл, наплавленный этими электродами, имел глубоководноаустенитную структуру. Однако электроды ЭПС-А не выпускаются уже более десяти лет.

Мокрая сварка под водой покрытыми электродами имеет свои положительные и отрицательные стороны. К положительным можно отнести следующее:

- высокую мобильность процесса;
  - возможность использования широко распространенных передвижных сварочных агрегатов с автономным приводом;
  - небольшую массу и размеры оборудования, идущего под воду;
  - большую защищенность капли расплавленного металла за счет козырька, образующегося на торце электрода, чем при сварке самозащитными порошковыми проволоками;
  - возможность получения корневого шва с обратным формированием валика.
- Отрицательным является следующее:
- низкая производительность процесса;

Марка электродного материала	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_t$ , МПа	$\delta_5$ , %	$KCV_{-20^\circ C}$ , Дж/см <sup>2</sup>	Угол загиба, град, по классу В AWS D3.6M:1999
ЭПС-52	340...400	Не нормирован	$\leq 6$	Не опр.	Не опр.
ЭПС-АН1	420...460	320...350	$\geq 10$	$\geq 25$	180
ЭЗ8-ЛКИ-1П	400	Не нормирован	$\leq 8$	Не опр.	Не опр.
ППС-АН1	400...430	300...320	14...18	$\geq 10$	180
ППС-АН2	400...440	300...340	13...18	$\geq 25$	180
ППС-АН5	420...460	320...360	13...17	$\geq 25$	180
ППС-ЭК1	400...460	300...360	14...18	$\geq 25$	180

большое количество газовой фазы и механической взвеси в реакционной зоне, затрудняющей визуальный контроль горения дуги и формирование шва;

значительный разброс прочностных и пластических показателей металла сварных соединений в зависимости от глубины выполнения работ и квалификации водолаза-сварщика.

В настоящее время на рынке сварочных материалов в Украине появились предложения о возможной поставке электродов типа Э38-ЛКИ-1П для подводной сварки углеродистых и некоторых низколегированных сталей, разработанных в Санкт-Петербургском морском техническом университете совместно с АО «Электродный завод» [5]. Они выпускаются под заказ в АО «Электродный завод». Для проведения сварочных работ в Украине эти электроды пока не применялись.

В ИЭС им. Е. О. Патона в результате многочисленных систематических исследований была создана газшлаковая композиция, позволившая разработать новый покрытый электрод для мокрой сварки под водой во всех пространственных положениях [6, 7]. Электроды типа ЭПС-АН1 отличаются хорошими сварочно-технологическими характеристиками и предназначены для сварки под водой на глубине до 20 м ряда углеродистых и низколегированных сталей. Они обеспечивают механические свойства металла шва на уровне свойств электродного металла Э-42. По сварочно-технологическим и механическим свойствам они превосходят электроды типа Э38-ЛКИ-1П.

С помощью электродов марки ЭПС-АН1 в г. Киеве был выполнен ремонт пульпопровода под водой. Они применялись также при монтаже металлоконструкций подземных сооружений, имеющих слой воды на поверхности. С помощью этих электродов в 2001 г. была приварена протекторная защита на причальном основании для приемки нефти в районе г. Одесса. В настоящее время они выпускаются мелкими партиями под заказ в лабораторных условиях.

Следует отметить, что ряд фирм, торгующих водолазным снаряжением в Украине, предлагают электроды для сварки под водой, выпущенные различными компаниями. Эти электроды сертифицированы согласно международным стандартам. Их стоимость в 3...5 раз выше аналогичных отечественных электродов.

#### **Мокрая механизированная подводная сварка.**

В рамках работ с ВМФ была создана уникальная технология мокрой механизированной сварки самозащитными порошковыми проволоками [8–11]. Основным элементом технологического процесса являлась самозащитная порошковая проволока типа ППС-АН1. Ее конструкция и технологические особенности изготовления позволяли поместить проволоку в полость подающего механизма полуавтомата, заполненного водой. При этом отпала необходимость в подаче в зону горения дуги и внутреннюю полость полуавтомата защитного газа. За счет уменьшения объема газовой фазы и взвесей в реакционной зоне повысилась возможность визуально контролировать процесс горения дуги и

формирование металла шва. Такие технологические особенности позволили ОКТБ ИЭС им. Е. О. Патона разработать удачную конструкцию специализированного полуавтомата для работы на значительных глубинах. Две его модификации А1450 и ПШ141 прошли государственные испытания и были приняты для оснащения поисково-спасательной службы ВМФ. Их серийный выпуск был организован на Опытном заводе сварочного оборудования (ОЗСО) ИЭС им. Е. О. Патона. Кроме полуавтоматов, принятых на снабжение ВМФ, для нужд народного хозяйства выпускались полуавтоматы марки А1660 и ПШ146.

Порошковые проволоки марки ППС-АН1 и ППС-АН5 (проволока для сварки в соленой воде) для подводной сварки серийно изготавливались экспериментальным производством (ЭП) и ОЗСМ ИЭС им. Е. О. Патона. При сварке порошковыми проволоками конструкций из сталей марок ВСтЗсп, 09Г2, 09Г2С, и 19Г в пресной и морской воде на глубине до 20 м обеспечивались механические свойства сварных соединений на уровне свойств соединений, выполненных на воздухе электродами Э-42. При сварке на больших глубинах сварочно-технологические характеристики и механические свойства металла ухудшались. С 1994 г. серийный выпуск этих проволок на ОЗСМ и в ЭП ИЭС им. Е. О. Патона был приостановлен.

С 1991 г. в лабораторных условиях ИЭС им. Е. О. Патона по техническим условиям выпускается порошковая проволока марки ППС-АН2 (модификация ППС-АН1), которая обеспечивает хорошие сварочно-технологические свойства при сварке на глубине до 20 м. Испытания проволоки ППС-АН2, проведенные в 1992 г. в США, показали, что вода, в которой происходит сварка, ухудшает пластические свойства металла сварного соединения. Механические свойства сварных соединений, получаемых при использовании этой проволоки в пресной воде, приведены в таблице.

В 1997 г. предприятие «Экотехнология» разработало самозащитную порошковую проволоку марки ППС-ЭК1 для механизированной подводной сварки на глубине до 20 м конструкций из углеродистых и низколегированных сталей типа ВСтЗсп, 09Г2 и др. Проволока серийно производится по ТУУ 14288312.003–97, имеет сертификацию УкрСЕПРО и поставляется для выполнения подводных технических работ при ремонте портовых сооружений и судов на плаву в Балтийском море и нефтедобывающих платформ в Каспийском море. Механические свойства сварных соединений приведены в таблице. Проволоку ППС-ЭК1 взамен проволок ППС-АН1, ППС-АН5 и ППС-АН2 можно применять совместно с полуавтоматами типа А1660, А1450, ПШ141 или ПШ146 для подводной сварки.

С 1981 г. в ИЭС им. Е. О. Патона был разработан ряд макетных образцов порошковых проволок для мокрой сварки под водой низколегированных сталей повышенной прочности. В качестве оболочки использовали ленты из нержавеющей сталей с различным содержанием никеля и никелевую ленту. Макетные образцы проволок обеспечивали мокрую сварку сталей с углеродным



эквивалентом более 0,4 во всех пространственных положениях. Для автоматической сварки на больших глубинах разработаны порошковые проволоки аустенитного класса. Эксперименты, выполненные в имитационной камере, показали возможность сварки углеродистых и низколегированных сталей, а также корпусных сталей типа АК на глубине до 1000 м.

По заказу ВМФ в 1985 г. был разработан макетный образец уникальной установки А1802 для автоматической приварки судоподъемных проушин на глубоководных объектах и проведены его натурные испытания. Установка обеспечивала выполнение двусторонних многопроходных швов одновременно двумя дугами в нижнем положении. Удаление шлаковой корки после каждого прохода осуществляли многобойковым зачистным инструментом оригинальной конструкции. Для обеспечения работы установки был разработан макет глубоководного погружного источника питания УСИП. Его натурные испытания проведены с использованием установки А1802. Источник имел жесткую и падающую внешние вольт-амперные характеристики, что давало возможность выполнять автоматическую сварку порошковыми проволоками и покрытыми электродами. Оборудование и электродные материалы (порошковые проволоки аустенитного класса) были приняты государственной комиссией и одобрены к последующему внедрению. Однако отсутствие финансирования не позволило проводить дальнейшие работы в этом направлении.

Технология мокрой механизированной сварки является чрезвычайно удачным технологическим решением применительно к восстановлению практически всех видов металлоконструкций под водой. Незначительная масса оборудования, его компактность и надежность, быстрое освоение пользователями позволили выполнить большое количество работ как на территории Украины, так и за ее пределами [12–14]. В Украине с помощью механизированной подводной сварки отремонтированы подводные переходы трубопроводов через реки Днепр, Северский Донец, озеро Дондузлав, водоводы и пульпопроводы, гидротехнические сооружения при реконструкции глубоководных водозаборов в Кривом Роге (СевГОК), подняты затонувшие суда. Осуществлен уникальный ремонт подводного перехода газопровода через р. Днепр. Трубопровод был изготовлен из стали типа Х60 с толщиной стенки 22 мм, его рабочее давление составляло 7 МПа. Сварку осуществляли с использованием порошковой проволоки, обеспечивающей глубокоаустенитную структуру металла шва. В больших объемах подводную механизированную сварку применяли в 1974 г. при подъеме теплохода «Моздок», затонувшего в районе г. Одесса.

В настоящее время рынок услуг, связанных с использованием подводной механизированной сварки, сократился. С 1992 г. прекратилось финансирование работ ВМФ России. Уменьшилось количество водолазов, обучавшихся на базе ИЭС им. Е. О. Патона. Серийный выпуск полуавтоматов для подводной сварки прекращен с 1993 г. Не

выпускаются и комплектующие к ним. Новая модификация полуавтомата для подводной сварки с механическим переключением скорости подачи в настоящее время находится на стадии испытаний. Широкое внедрение этого полуавтомата маловероятно из-за его ограниченных технологических возможностей.

**Механизированная подводная сварка с локальным осушением рабочей зоны.** В Украине одним частным предпринимателем ведутся работы по совершенствованию технологии и оборудования для механизированной подводной сварки с местным осушением рабочей зоны. Основным элементом комплекта оборудования является закрытый газонаполненный подающий механизм с запасом проволоки для сварки и мини-камера, в которой непосредственно осуществляется дуговой процесс и формируется сварной шов. Мини-камера прижимается к свариваемому объекту самим водолазом-сварщиком. Он же включает и выключает подачу проволоки. Остальные параметры процесса регулирует оператор, располагающийся на поверхности. Оттеснение воды из реакционной зоны осуществляется углекислым газом или аргоном в смеси с кислородом. Сварку выполняют проволокой типа Св-08Г2С. Согласно информации, которой располагает автор, испытания, проведенные в г.г. Черноморское, показали достаточно высокие эксплуатационные возможности данного комплекта оборудования. Дальнейшие испытания проходили в США. При сварке под водой на глубине до 20 м ряда образцов низколегированных сталей были получены высокие механические свойства соединений, соответствующие классу А AWS D3.6М: 1999.

**Механизированная подводная резка.** В процессе создания порошковых проволок для сварки под водой было установлено, что ряд компонентов, вводимых в ее состав, обеспечивает более глубокое проплавление основного металла. Полученные результаты исследований легли в основу разработок специализированных порошковых проволок для разделительной подводной резки [13–16]. Эти проволоки обеспечивают эффективное плавление и окисление разрезаемого металла. Продувку полости реза для эвакуации расплавленного металла выполняли путем введения в состав шихты сердечника газообразующих компонентов. При разделительной резке порошковой проволокой возможно использование полуавтоматов для подводной сварки типа А1660 или А1450 («Нептун») и источников питания дуги, применяемых в этом же случае. Резку осуществляли на токах 300... 600 А металла толщиной до 20 мм. В случае увеличения толщины разрезаемого металла необходимо использовать проволоку большего диаметра и применить источник питания, обеспечивающий рабочий ток 900... 1000 А. Эксперименты по резке, выполненные в имитационной камере, показали, что процесс возможен и на глубине более 600 м. С увеличением глубины эффективность процесса резки несколько возрастает.

По заказу ВМФ в 1979 г. был разработан специализированный полуавтомат и палубный источник питания для резки под водой металла толщиной

до 50 мм, однако в процессе его испытаний было установлено, что водолаз быстро устает, поскольку держатель, рассчитанный на ток 1000 А, имеет значительную массу, порошковая проволока диаметром 3 мм является жесткой, а масса погружного механизма с проволокой превышает 50 кг. Широкого распространения этот комплект оборудования не нашел, но с его помощью была выполнена уникальная работа по вырезке отверстия в корпусе реакторного отсека подводной лодки [17].

Учитывая высокую эффективность процесса разделительной резки под водой порошковой проволокой и исключение применения в технологической цепочке кислорода, совершенствование оборудования продолжилось. Был разработан специализированный облегченный полуавтомат ПШ131, изготовление которого освоено ОЗСО ИЭС им. Е. О. Патона. Порошковые проволоки для резки выпускал серийно ОЗСМ и ЭП ИЭС им. Е. О. Патона. В настоящее время выпуск проволок для резки под водой приостановлен из-за отсутствия заказов. С помощью этой технологии был выполнен ряд работ по разделительной резке под водой судов и других металлоконструкций [15, 17–19]. Порошковые проволоки для резки также применялись при подготовке подводных металлоконструкций под сварку.

**Резка под водой покрытыми электродами.** Ряд работ по электродуговой резке под водой (ЭДР) выполняли с использованием покрытых электродов для сварки типа ЭПС-52. С помощью этого способа возможна резка металлов толщиной 5... 10 мм [2, 3]. Однако несмотря на низкую производительность этот процесс часто применяется благодаря простоте, дешевизне и отсутствию необходимости использовать в технологическом процессе кислород. С целью повышения производительности резки в ИЭС им. Е. О. Патона были разработаны специализированные покрытые электроды для подводной резки марки АНР-5П [20]. Для гидроизоляции электрода на поверхность обмазки нанесли слой полиэтилена. Одним электродом диаметром 4 мм можно выполнить рез длиной 120 мм на стали толщиной 10 мм. Эти показатели существенно выше, чем при использовании электродов ЭПС-52. Электроды выпускаются в лабораторных условиях ИЭС им. Е. О. Патона мелкими партиями под заказ.

**Электрокислородная резка под водой.** Наряду с ЭДР покрытыми электродами широкое распространение нашла электрокислородная резка (ЭКР) под водой электродами марки ЭПР-1 [2, 3], разработанными в 1950-е гг. Серийный выпуск электродов был освоен на предприятии «28 военный завод». Электроды пользовались постоянным спросом у потребителей, однако сравнительные испытания электродов ЭПР-1 и их зарубежных аналогов, проведенные в конце 1980 г., показали, что скорость резки первыми ниже. В ИЭС им. Е. О. Патона был разработан новый электрод марки АНР-Т8 и держатель для ЭКР. Гидроизоляцию обмазки осуществляют термоусадочной трубкой. Длина реза, выполняемая одним электродом на стали толщиной 20 мм, достигает 400 мм. Элек-

троды изготавливаются в лабораторных условиях ИЭС им. Е. О. Патона.

**Резка под водой экзотермическими электродами.** По заказу ВМФ в ИЭС им. Е. О. Патона были разработаны образцы электродов для подводной экзотермической резки. В 1991 г. электроды прошли натурные испытания в условиях Балтийского флота. Поскольку с 1992 г. работы по заказам ВМФ бывшего СССР были прекращены, организация серийного производства этих электродов не проводилась. В настоящее время в Украине эти электроды не производятся.

На основании результатов, полученных при проведении НИР совместно с ВМФ бывшего СССР, в Санкт-Петербурге было создано специализированное оборудование и организован участок по изготовлению экзотермических электродов. В настоящее время электроды выпускаются под заказ. Одновременно на предприятии «28 военный завод» организован выпуск специализированных держателей для этих электродов. Электроды и держатели пользуются ограниченным спросом у потребителей. В Украине они до настоящего времени не применяются.

В заключение следует отметить, что в настоящее время в Украине сварка под водой покрытыми электродами превалирует из-за прекращения выпуска полуавтоматов и комплектующих к ним для подводной механизированной сварки. При отсутствии капиталовложений в разработку и выпуск нового полуавтомата, спроектированного на современной элементной базе, технология мокрой механизированной сварки в ближайшее время может быть полностью утеряна для пользователя.

Основным способом разделительной резки под водой в Украине опять становится ЭКР. Этот способ полностью обеспечен электродными материалами и оборудованием отечественного производства. Способ ЭДР под водой востребован мало из-за своей низкой производительности. Способ дуговой резки под водой порошковой проволокой не применяется в связи с отсутствием специализированного оборудования.

1. Хренов К. К. Электрическая сварка и резка под водой // Сборник, посвященный семидесятилетию со дня рождения и пятидесятилетию научной деятельности Е. О. Патона. — Киев, 1946. — С. 191–225.
2. Мадатов Н. М. Подводный ремонт кораблей и судов. — М.: Воен. изд-во МО СССР, 1965. — 280 с.
3. Мадатов Н. М. Подводная сварка и резка металлов. — Л.: Судостроение, 1967. — 164 с.
4. Авилев Т. И. Некоторые вопросы металлургии сварки в воде качественными электродами: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — М., 1957. — 9 с.
5. АО «Электродный завод» // Электроды сварочные (каталог). — Санкт-Петербург, 1997. — С. 24–25.
6. Грецкий Ю. Я., Максимов С. Ю. Влияние компонентов электродного покрытия на формирование металла шва при ручной сварке под водой // Автомат. сварка. — СПб, 1994. — № 7/8. — С. 15–17.
7. Грецкий Ю. Я., Максимов С. Ю. Структура и свойства соединений низколегированных сталей при подводной мокрой сварке покрытыми электродами // Там же. — 1995. — № 5. — С. 7–11.
8. Савич И. М. Подводная сварка порошковой проволокой // Там же. — 1969. — № 19. — С. 70.
9. Савич И. М., Смолярко В. Б., Камышев М. А. Технология и оборудование для полуавтоматической подводной



- сварки металлоконструкций // Нефтепром. стр-во. — 1976. — № 1. — С. 10–11.
10. Физико-механические свойства сварных соединений, выполненных порошковой проволокой под водой / А. Е. Аснис, И. М. Савич, А. А. Гришанов, Е. В. Глухова // Автомат. сварка. — 1978. — № 5. — С. 48–51.
  11. Патон Б. Е., Савич И. М. К 100-летию сварки под водой // Там же. — 1987. — № 12. — С. 1–2.
  12. Кононенко В. Я., Грицай П. М. Мокрая механизированная сварка при ремонте корпусов судов // Морской флот. — 1994. — № 11–12. — С. 21–22.
  13. Кононенко В. Я., Рыбченков А. Г. Опыт мокрой механизированной сварки самозащитными порошковыми проволоками при ремонте под водой газо- и нефтепроводов // Автомат. сварка. — 1994. — № 9/10. — С. 29–32.
  14. Кононенко В. Я., Грицай П. М., Семенкин В. И. Применение мокрой механизированной сварки при ремонте корпусов судов // Там же. — 1994. — № 12. — С. 35–38.
  15. Данченко М. Е., Савич И. М., Нефедов Ю. Н. Подводная дуговая резка порошковой проволокой // Там же. — 1988. — № 4. — С. 59–61.
  16. Данченко М. Е., Савич И. М., Нефедов Ю. Н. Влияние гидростатического давления на технологические параметры подводной дуговой резки порошковой проволокой // Там же. — 1989. — № 1. — С. 48–49.
  17. Савич И. М., Максимов С. Ю. Применение механизированной резки при подъеме подводной лодки // Там же. — 2001. — № 2. — С. 59–60.
  18. Данченко М. Е., Нефедов Ю. Н. Выбор оптимальных параметров процесса подводной резки порошковой проволокой // Там же. — 1991. — № 11. — С. 61–65.
  19. Данченко М. Е., Нефедов Ю. Н. Подводная резка порошковой проволокой с использованием сварочного полуавтомата // Там же. — 1990. — № 1. — С. 70–71.
  20. Данченко М. Е., Лаппа А. В. Подводная резка штучными электродами (Обзор) // Там же. — 1993. — № 8. — С. 35–37.

Analysis of the state-of-the-art in underwater welding and cutting in Ukraine has been conducted. As established, the main method of underwater welding now is wet welding using covered electrode. Almost all underwater structures in Ukraine are cut by oxy-electric cutting using tubular electrodes. No other underwater cutting methods have been employed lately.

Поступила в редакцию 19.07.2002



## 2-я Международная специализированная выставка-конгресс «Электротехнологии - 2003» (ЭЛТЕХ-2003)

Специальный раздел «Сварка и родственные технологии»  
19–22 марта 2003, Санкт-Петербург

Тематические направления выставки-конгресса

*Электрометаллургическое производство*  
*Сварка, электротермия и родственные технологии*  
*Применение газового разряда в электротехнологии*  
*Электротехнологические установки экологического назначения*  
*Энергосбережение при использовании электротехнологий*  
*Порошковая металлургия*  
*Научное и информационное обеспечение, подготовка кадров*

В рамках выставки пройдет Международная научно-техническая конференция «Современные проблемы и достижения в области электротехнологий»

### ОАО «Ленэкспо»

199106, С.-Петербург, В.О., Большой пр. 103, 10  
Тел.: (812) 321 26 31; факс (812) 321 27 22  
E-mail: averkina@mail.lenexpo.ru

### ООО «Элтех-Экспо»

194100, С.-Петербург, ул. Литовская  
Тел./факс: (812) 245 01 02, 245 83 12  
E-mail: office@rusweld.spb.ru