

УДК 621.791.71(204.1)

## ПОДВОДНАЯ СВАРКА И РЕЗКА В СТРАНАХ СНГ

**В. Я. КОНОНЕНКО**

ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ. 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

В настоящее время существуют два основных способа выполнения сварочных работ под водой — гипербарическая сухая сварка и мокрая сварка. Оба способа успешно используются на территории стран СНГ для ремонта и строительства металлоконструкций под водой. Гипербарическая сухая сварка наиболее востребована в случае выполнения ремонтных работ на подводных переходах газопроводов через водные преграды, так как обеспечивает высокий прогнозируемый уровень механических свойств сварных соединений. Мокрая сварка востребована при строительстве и ремонте гидротехнических сооружений, таких как причалы, основания добывающих платформ, а также при подъеме и аварийном ремонте кораблей и судов. Для ее выполнения используют покрытые электроды и механизированный процесс сварки самозащитными порошковыми проволоками. Механические свойства соединений, которые обеспечивают эти технологии на уровне механических свойств соединений, получаемых при сварке на воздухе электродами типа Э42 и Э46. Однако при реализации этих технологий существует возможность образования дефектов, вызванных резким охлаждением металла шва и человеческим фактором при работе водолаза-сварщика под водой. Для выполнения подводной резки в настоящее время наиболее востребованы технологии подводной электрокислородной резки и резки экзотермическими электродами, которые выпускаются как на территории стран СНГ, так и за их пределами. Эти технологии обеспечивают сравнительно низкий уровень производительности и необходимость дополнительной механической обработки зоны реза в случае последующего создания сварных соединений. С помощью сухой и мокрой сварки на территории стран СНГ выполнен большой объем работ, связанный с ремонтом подводных трубопроводов, причальных сооружений, подъемом и ремонтом кораблей и судов. Наиболее значимая работа за последнее время выполнена при строительстве МЛСП «Приразломная». Библиогр. 9, табл. 3.

*Ключевые слова:* сухая сварка под водой, мокрая сварка, покрытые электроды, порошковые проволоки, механические свойства соединений, выполненные работы

В настоящее время существуют два основных способа выполнения сварочных работ под водой [1]:

- гипербарическая сухая сварка — выполняется внутри сухой обитаемой камеры, установленной вокруг свариваемых элементов под давлением, величина которого зависит от глубины [2];
- мокрая сварка — выполняется в условиях непосредственного соприкосновения с водой под давлением, величина которого зависит от глубины выполнения сварочных работ.

Гипербарическая сухая сварка была впервые использована компанией «Тейлор Дайвинг энд Салвейдж» (США) в 1967 г. [2]. Основная цель применения этого способа сварки состоит в том, чтобы исключить контакт с водой зоны горения дуги и свариваемого металла, что дает существенные преимущества для получения равнопрочного сварного соединения независимо от внешних условий и глубины. Надо отметить, что использование этой технологии применительно к ремонту трубных элементов стационарных оснований, корпусов судов, причалов и других гидротехнических сооружений с развитой поверхностью связано со значительными материальными затратами. Существенные неудобства возникают и при использовании сухой сварки в обитаемых камерах при ремонте подводных переходов трубопроводов через

малые водные преграды. В этом случае невозможно использовать специализированные глубоководные суда, имеющие на борту необходимое оборудование и грузоподъемные механизмы.

Однако, учитывая высокий прогнозируемый уровень качества соединения, получаемого с помощью сухой сварки, за последнее время в России сотрудниками фирмы ООО «Подводсервис» с использованием специализированного кессона Захарова (СПКЗ) успешно выполнен целый ряд работ по ремонту переходов газопроводов через малые водные преграды [3, 4]. СПКЗ предназначен для установки его на дефектный участок ремонтируемого трубопровода диаметром от 325 до 1420 мм на глубинах до 60 м. СПКЗ представляет собой водолазный колокол, выполненный в виде открытого снизу металлического короба, боковые поверхности которого выполнены с возможностью установки на наружную поверхность трубопровода. Герметичность установки на поверхность магистрального трубопровода обеспечивается резиновым уплотнителем, размещенным по периметру сторон короба, прилегающих к наружной поверхности. Сварка дефекта трубы осуществляется в газовой среде находящимся внутри СПКЗ водолазом-сварщиком в водолазном снаряжении. Подача воздуха для дыхания водолаза и отвод выдыхаемого воздуха за пределы кессона производятся по

© В. Я. Кононенко, 2014

специальному шланг-кабелю без нарушения требуемого состава газовой смеси внутри кессона. С помощью этого оборудования выполнен ремонт подводного газопровода на переходе через р. Лена на глубине 10 м ОАО «Сахатранснефтегаз», газопровода — отвод на Заречье, диаметр 530 мм, через р. Обь на глубине 8 м «ООО Тюментрансгаз», а также резервной нитки диаметром 1220 мм подводного перехода газопровода Ямбург–Елец 2.

С целью дальнейшего внедрения технологии сварочных работ в специализированном кессоне под водой, в частности, для обеспечения возможности не только заварки отдельных дефектов тела трубы, но и для создания технологии ремонта трубопровода методом «врезки катушки» конструкторами ООО «Подводсервис» совместно с ООО «Газпром трансгаз Югорск» разработан, испытан и сдан заказчику ремонтный комплекс с пригоночной рамой [4]. Конструкция кессона охватывает всю поверхность трубопровода диаметром 1220 мм и обеспечивает возможность одновременной работы двух водолазов-сварщиков. Комплекс технических средств включает оборудование (сварочное и обеспечивающее) для резки, центрирования и сварки тела трубы, специализированный кессон, предназначенный для герметичного размещения на трубопроводе, а также пригоночную раму, позволяющую обеспечить соосность участков трубы при разрезке. Комплекс обеспечен оборудованием для термообработки и последующей ультразвуковой дефектоскопии сварочных швов. Работа ремонтного комплекса основана на принципе сухой гипербарической сварки в среде инертных газов.

*Сварка внутри кессона при атмосферном давлении.* Этот технологический процесс выполняется в сухих условиях при атмосферном давлении. На ремонтируемую трубу одевается камера и герметично с ней соединяется. Сварщик работает внутри камеры и после выполнения ремонтных работ она остается на объекте. Этот технологический процесс в мировой практике широкого распространения не нашел. Работы в этой рабочей камере ограничены глубиной водоема и составляют обычно 10...12 м, однако на р. Волга в России с использованием этой технологии были проведены ремонтные работы на глубине 30 м.

Кроме ремонта трубопроводов сухую сварку при атмосферном давлении используют для ремонта причальных сооружений. Для этого изготавливают специализированный кессон, открытый с боковой части и сверху. Уплотнение по боковой поверхности осуществляют в местах прилегания камеры к ремонтируемому причальному сооружению. Как правило, длина кессона 5...6 м, высота 3...4 м. Кессон перемещают по мере ремон-

та причального сооружения. После его осушения для ремонта применяют стандартные сварочные материалы, используемые для сварки на воздухе. Такие кессоны используют в Литве и Латвии. Выполнять ремонтные работы достаточно рентабельно, так как нет необходимости в спуске водолаза под воду при сварке основного количества дефектов. Ремонт этих металлоконструкций на глубине более 3 м выполняют с использованием покрытых электродов, предназначенных для мокрой сварки в водолазном снаряжении.

*Мокрая сварка.* При мокрой сварке сварщик и свариваемый объект находятся в водной среде. Процесс происходит без каких-либо дополнительных сооружений и устройств. Благодаря этому сварщик имеет большую свободу перемещений, что делает мокрую сварку очень эффективным и экономичным способом сварки под водой, в первую очередь при восстановлении металлоконструкций с развитой поверхностью на глубине до 20 м [3].

Для выполнения таких работ наиболее часто в странах СНГ применяют электроды зарубежного производства, однако в Украине и России также разработаны и выпускаются в лабораторных условиях и промышленно электроды для мокрой сварки под водой. Механические свойства соединений, обеспечиваемые при использовании этих электродов, приведены в табл. 1. Надо отметить, что область применения мокрого способа сварки покрытыми электродами ограничена из-за низких механических свойств соединений, недостаточной производительности процесса и высоких требований к квалификации водолаза-сварщика.

Для повышения вероятности получения соединений с прогнозируемым уровнем качества необходимо снизить возможность образования холодных трещин, что достигается регулированием термического цикла сварки [3]. Это может быть реализовано за счет технологических мер путем регулирования параметров режимов сварки, способствующих уменьшению скорости охлаждения сварного соединения и снижению вероятности образования закалочных структур и, как следствие, подваликовых трещин. Снизить скорость охлаждения сварного соединения можно также путем нанесения на его поверхность теплоизолирующего слоя.

Опыт создания и эксплуатации металлоконструкций из трубных сталей повышенной прочности показывает, что при выборе электродных материалов для ее сварки на воздухе необходимо стремиться к получению металла шва с более высокими пластическими свойствами, даже если их прочность несколько ниже прочности основного металла [3]. Пластичный шов с более низ-

кой прочностью, чем основной металл, является мягкой прослойкой, которая при растяжении начинает пластически деформироваться раньше, чем достигается предел текучести основного металла, что приводит к контактному упрочнению металла шва. Значительное количество работ под водой было выполнено с использованием электродных материалов, уровень прочности металла шва, который они обеспечивают, значительно ниже прочности основного металла. Некоторые из этих работ выполнены при сварке трубных сталей, углеродный эквивалент которых ( $C_3$ ) составлял 0,38...0,40 %, а  $\sigma_B = 440...500$  МПа (табл. 2). Как и при сварке на воздухе использование электродных материалов, обеспечивающих металл шва с более низким уровнем прочности, чем основной металл ( $\sigma_B = 410...430$  МПа), позволило решить задачу ремонтной сварки под водой. Менее прочный металл шва под воздействием рабочих нагрузок начинал пластически деформироваться, что вызывало его контактное упрочнение. При этом общий уровень прочности сварных соединений был достаточен для обеспечения надежной работы подводных переходов газопроводов.

Технология мокрой механизированной сварки под водой самозащитными порошковыми проволоками, разработанная в ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины [5], широко применяется в странах СНГ с 1969 г. Технологический процесс универсален и позволяет при наличии определенной квалификации у пользователя получать достаточно высокий прогнозируемый уровень механических свойств соединений в случае сварки низкоуглеродистых и ряда низколегированных корпусных сталей во всех пространственных положениях при использовании порошковых проволок ферритного класса (табл. 3). При использовании этой технологии существенно повышается производительность процесса, которая в 3...6 раз выше по сравнению со сваркой покрытыми электродами. Этот аспект чрезвычайно значим при работе водолаза под водой. К недостаткам способа мокрой механизированной сварки самозащитной порошковой проволокой, как и при сварке покрытым электро-

дом, можно отнести резкое охлаждение металла сварного соединения в воде и значительное насыщение его водородом и кислородом [3]. Это может привести к появлению холодных трещин в сварных соединениях, выполненных на некоторых низколегированных трубных сталях повышенной прочности с углеродным эквивалентом  $C_3 \geq 0,39$  % электродными материалами ферритного класса. С помощью этого технологического процесса в бывшем СССР был выполнен ряд работ по ремонту подводных переходов трубопроводов через водоемы [3, 6] и других гидротехнических сооружений.

Наиболее значимая работа за последнее время с использованием технологии мокрой механизированной сварки была выполнена в 2004–2005 гг. при строительстве на ФГУП «ПО «Севмашпредприятие» морской ледостойкой стационарной платформы (МЛСП) «Приразломная» [7–9]. Нижняя часть МЛСП – кессон, представляющий собой сварную конструкцию из хладостойких сталей размерами 126×126×24,3 м и массой около 70 тыс. т и обеспечивающий хранение 700 тыс. баррелей нефти. Собрать такую конструкцию на стапелях завода «Севмашпредприятие» в настоящее время не представляется возможным. Для соединения секций (суперблоков) применена известная технология поэтапной их сборки на плаву с использованием сухого кессона. Она заключается в том, что на стапеле при изготовлении каждой секции размером 126×31,5×24,2 м в ее нижней части монтируется половина удаляемого впоследствии сухого кессона. На территории СНГ эта технология до настоящего времени не использовалась. Соединение двух половинок сухого кессона осуществлялось под водой на глубине 8 м с использованием технологии мокрой механизированной сварки самозащитной порошковой проволокой. Работа характеризуется выполнением сварки в потолочном (126 м на секцию) и вертикальном (16 м на секцию) положениях. Под надзором Российского морского регистра судоства без учета перерывов на достройку элементов платформы за 55 рабочих дней с учетом подготовительно-заключительного времени на глубине до 8

Таблица 1. Механические свойства соединений, выполняемых мокрой сваркой под водой

Марка электродного материала	Предел прочности $\sigma_B$ , МПа	Предел текучести $\sigma_T$ , МПа	Относительное удлинение $\delta_5$ , %	Ударная вязкость $KCV_{20}$ , Дж/см <sup>2</sup>	Угол загиба $\alpha$ , град, по классу В AWS D3.6M
<i>Покрываемые электроды</i>					
ЭПС-52	390...420	Не нормирован	6...20	Не определялась	Не нормирован
ЭПС-АН1	≥420	→→	≥14	→→	→→
Э38-ЛКИ-1П	410	→→	≤8	→→	→→
<i>Самозащитные порошковые проволоки</i>					
ППС-АН1	400...430	300...320	14...16	≥10	180
ППС-АН2	400...440	300...340	13...18	≥25	180
ППС-АН5	420...460	320...360	13...17	≥25	180
ППС-ЭК1	400...460	300...360	14...18	≥25	180

Таблица 2. Основные работы, выполненные при восстановлении подводных переходов трубопроводов через водные преграды

Место выполнения работы	Характер повреждения	Технология ремонта
р. Днепр, глубина 10 м. Водовод Ø1020×12 мм из стали 09Г2 (1969 г.)	Две трещины: 1 — $L \approx 1,5$ м с раскрытием в верхней части трубы до 30 мм, 2 — $L \approx 250$ мм по сварному шву	Внутрь ремонтируемого участка трубы заведены технологические подкладки и дополнительные вставки. С трубой их соединили многослойными стыковыми швами
р. Бейсуг. Глубина 5 м. Нефтепровод Ø1020 мм из стали 14ХГС (1970 г.)	Трещина по монтажному стыку, из-за непровара корня шва	Механическая разделка с фиксацией концов трещины сверлением. Разделка заполнена многослойным стыковым швом
р. Волга. Глубина 12 м (р-н г. Волгограда). Две трубы водовода Ø1020×12 мм из стали ВСт3сп. Ремонт выполнен за 2 месяца (1971 г.)	Девять участков с трещинами $L \leq 2500$ мм и разрывами $L \leq 1500$ мм с раскрытием до 200 мм	После механической разделки в окна завели вставки, которые соединяли с трубой многопроходными стыковыми швами $L \approx 38$ м. Большинство швов располагалось в вертикальном и потолочном положениях
р. Казанка. Глубина 6 м (г. Казань). Водовод Ø820 мм из стали ВСт3сп (1972 г.)	Частичный разрыв трубы, образовавшийся в результате нарушения технологии прокладки	После механической разделки в образовавшееся окно установили заплату, которую соединили с трубой многослойным стыковым швом
р. Днепр. Глубина 6 м. (р-н г. Херсон). Водовод Ø720 мм из стали ВСт3сп (1973 г.)	Разрыв по монтажному стыку на 1/2 диаметра	Монтаж на дефектном участке двух полумуфт, имевших специальную внутреннюю разделку. С трубой полумуфты соединяли угловыми многопроходными швами
р. Москва. Глубина 8 м. Переход газопровода Ø720 мм из стали 09Г2 (1974 г.)	Под воздействием динамических нагрузок образовалась трещина в металле ЗТВ монтажного стыка	После механической разделки и фиксации концов трещины, путем сверления, образовавшуюся разделку заполняли многопроходным стыковым швом
р. Ухта. Глубина 10 м. Переход газопровода Ø820 мм из стали 14ХГС (1975 г.)	Трещина в результате непровара корня монтажного стыка	То же
р. Обь. Глубина 6 м (р-н п. Перегребное). Переход газопровода Ø1020 мм из стали 09Г2 (1976 г.)	Трещина, образовавшаяся в процессе эксплуатации из-за непровара монтажного стыка	->-
о. Донузлав (Крым). Глубина 4 м при отсутствии видимости. Переход газопровода Ø720 мм из стали 09Г2 (1977 г.)	Свищи, образовавшиеся в результате коррозионного разрушения	Механическая разделка дефектных участков. Сварка проволокой Ø 1,4 мм, так как толщина металла в зоне сварки не превышала 4 мм
р. Даугава. Глубина 18 м (р-н г. Рига). Водовод Ø720 мм из стали 09Г2 (1978 г.)	Полный разрыв трубы	Электрокислородной резкой удален дефектный участок трубы. После механической обработки внутри трубы смонтирована вставка длиной 0,5 м с зазором, не превышавшим 10 мм. С трубой вставку соединили угловыми многопроходными швами
р. Обь. Глубина 7 м. Переход нефтепровода Александровское-Анжеро-Судженск трубой Ø1020×18 мм из стали 18Г2САФ (1980–1981 гг.)	Непровар корня двух монтажных стыков. Трещины при укладке дюкера	Удалены дефектные участки трубы с трещинами. После механической обработки образовавшихся кромок в трубу установили заплаты с подкладными элементами, используя винтовой домкрат. Из-за высокого углеродного эквивалента стали ремонтировали комбинированным методом. Первых три прохода выполняли мокрым способом, используя специальную самозащитную порошковую проволоку. Дальнейшее заполнение разделки выполняли ручной сваркой покрытыми электродами в кессоне с предварительным подогревом трубы
р. Волга. Глубина 5 м (р-н г. Казань). Две соединительные муфты на городском водозаборе Ø1420 мм. Работа была выполнена за 30 дней (1982 г.)	Зазоры между трубой и соединительными полумуфтами по периметру трубы, достигавшие 160 мм	На расстоянии 3 м от ремонтируемых муфт вырезали операционные люки, через которые внутрь трубы заходил водолаз, и подавали полуавтомат. Трубы с полумуфтами соединяли многопроходными угловыми швами катетом 8...20 мм. Общая протяженность швов 28 м. Для ликвидации больших зазоров применяли накладные элементы

Место выполнения работы	Характер повреждения	Технология ремонта
1982 г. р. Обь. Глубина 12 м (р-н г. Нефтеюганск). Переход продуктопровода трубой Ø820 мм из стали 17Г1С (1982 г.)	Разрушение монтажного стыка на 1/3 длины	Электрокислородной резкой удален дефектный участок. После механической обработки в образовавшуюся полость установили вставку с подкладными элементами и соединили ее с трубой по периметру многопроходным стыковым швом
р. Днепр. Глубина 12 м (р-н г. Кременчуг). Переход газопровода Елец–Кременчуг–Кривой Рог. Труба Ø1420×18,7 мм из стали типа Х70 (1987 г.)	Свищ в монтажном стыке	После механической разделки с углом раскрытия кромок 90° на глубину 16 мм полученная разделка была заполнена многопроходным стыковым швом. Использовали порошковую проволоку, обеспечивающую аустенитную структуру металла шва
р. Кама. Глубина 12 м (р-н г. Пермь). Переход газопровода трубой из стали 17Г1С (1990 г.)	Трещина монтажного стыка длиной 100 мм	То же

Таблица 3. Характерные примеры восстановления причальных сооружений и нефтедобывающих оснований

Регион	Технология выполнения работ
Ремонт причальных сооружений	
Порт Дудинка. Нарушение целостности шпунтовой стенки. Расходились замки между шпунтинами (1982–1987 гг.)	Ремонт проводили зимой, после прекращения судоходства. Угловыми швами катетом 6...10 мм приваривали дублирующие листы толщиной 6...8 мм. Глубина выполнения работ от 1 до 14 м. Отремонтировано более 5 км причальной стенки
Клайпедский порт. Шпунтовая причальная стенка (1982–1983 гг.)	Технология та же. Глубина 2...12 м. Протяженность угловых швов катетом 6...8 мм — 287 м
Санкт-Петербургский морской порт. АП БАСУ «Балтийские Буксиры» (1996 г.)	Технология та же. Глубина 2...12 м. Общая длина угловых швов катетом 8...10 мм — 360 м
Ремонт стационарных нефтедобывающих оснований	
Глубоководная платформа № 12 на морском нефтяном месторождении им. 26 Бакинских комиссаров в Каспийском море (1991 г.)	Восстановление несущей способности трубного элемента вертикальной опоры 820×10 мм из стали 17ГС. Опора была полностью смята на глубине 4 м. Дефектный участок был удален. С помощью стыковых швов новый участок вертикальной опоры был соединен с основанием
Реконструкция подводной части опорного блока МПС LAM-22 (2000 г.)	Обустройство подводных конструкций анодами ПАКМ-75. За 12 дней на глубине до 20 м было смонтировано и приварено 115 анодов. Общая длина сварочных швов, выполненных во всех пространственных положениях, 55,2 м. Производство работ контролировал представитель Германского Ллойда.

м в потолочном и вертикальном положениях было сварено 1800 м однопроходного шва. Для выполнения работ использовали полуавтоматы для подводной сварки А1660 и ПСП-3 [3] и порошковую проволоку ППС-ЭК1 [7–9].

Два ремонта подводных переходов газопроводов (см. табл. 2) были выполнены с использованием порошковых проволок, обеспечивающих аустенитную структуру металла шва, а в натуральных условиях (п. г. т. Черноморское) на глубине 10 м с помощью такой проволоки был заварен неповоротный трубный образец, выдержавший испытательное давление 20 МПа [3].

Существенный объем работ в настоящее время с использованием технологии мокрой механизированной сварки выполняется в России при ремонте причальных сооружений. Используются полуавтоматы для подводной сварки А1450 и А1660, выпущенные в 1980 годах и порошковая проволока ППС-ЭК1. Так, только фирма «Балтий-

ский проект» в год для выполнения подводной механизированной сварки использует около 900 кг проволоки, что вполне сравнимо с тем количеством порошковой проволоки, которая выпускалась в ИЭС для ВМС СССР и для гражданских нужд.

Для реализации технологии мокрой механизированной сварки, а также сварки покрытыми электродами разработаны комплекты оборудования, технологическая документация и методика обучения водолазов-сварщиков.

*Резка металла под водой.* Резка металлоконструкций под водой является достаточно значимым элементом технологического процесса при выполнении подводно-технических работ. Наиболее востребована в настоящее время технология резки под водой экзотермическими электродами, изготовленными ведущими мировыми производителями [3]. К сожалению надо отметить, что такие технологии, как резка под водой порошковой про-

волокой и резка взрывом, разработанные в ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, в настоящее время практически не востребованы. Электроды для экзотермической подводной резки, разработанные в ИЭС, выпуск которых был организован в России, в настоящее время на рынок не поступают.

Некоторое количество электродов марок АНР-Т8 и других диаметром 8 мм для электрокислородной подводной резки, изготавливаемые в лабораторных условиях, доходит до потребителя. Качество этих электродов достаточно высокое, что подтверждается их регулярным использованием на территории России и Украины.

*Тенденции развития.* По нашему мнению, технология сварки в сухой камере, вмещающей как сварщика, так и сварной узел, будет и в дальнейшем использоваться для сборки и ремонта под водой ответственных гидротехнических сооружений, таких как высоконапорные трубопроводы и отдельные элементы стационарных оснований, а также в случае низкой прозрачности воды.

Мы предполагаем увеличение объемов выполнения ремонтных работ с использованием новых покрытых электродов с улучшенными сварочно-технологическими свойствами. При незначительных объемах сварочных работ применение электродов предпочтительно в случае получения адекватных с механизированным способом прочностных показателей.

Приведенные материалы позволяют сделать заключение о высокой эффективности технологии мокрой механизированной сварки самозащитными порошковыми проволоками. Качество выполнения работ во многом зависит от уровня подготовки специалистов. Разработанные и испытанные на практике технологические решения позволяют быстро и эффективно ремонтировать корпуса судов и другие гидротехнические соору-

жения, выполняемые с минимальными затратами труда.

### Выводы

1. Технология мокрой механизированной сварки под водой самозащитными порошковыми проволоками успешно использовалась для ремонта подводных переходов трубопроводов через водные преграды в конце прошлого века.

2. В настоящее время ремонт подводных переходов трубопроводов с использованием технологии сварки в гипербарических условиях является наиболее перспективным, учитывая существенный уровень износа как с позиции коррозионного разрушения, так и с позиции длительного воздействия динамических нагрузок.

3. Применение технологии сварки внутри кессона при атмосферном давлении для ремонта подводных переходов трубопроводов малоперспективно.

4. Для подводной резки наиболее востребованы электроды для экзотермической резки.

1. Патон Б. Е., Савич И. М. К 100-летию сварки под водой // Автомат. сварка. – 1987. – № 12. – С. 1–2.
2. Evans N. H. Welding in offshore constructions // Metal Construction and British J. – 1974. – № 5. – P. 153–157.
3. Кононенко В. Я. Подводная сварка и резка. – Киев: Ун-т «Україна», 2011. – 264 с.
4. Кононенко В. Я. Использование способа сухой сварки при ремонте подводных переходов газо- и нефтепроводов в РФ // Автомат. сварка. – 2010. – № 5. – С. 54–59.
5. Савич И. М. Подводная сварка порошковой проволокой // Там же. – 1969. – № 10. – С. 70.
6. Кононенко В. Я. Технологии подводной сварки и резки. – Киев: Екотехнологія, 2004. – 135 с.
7. Кононенко В. Я. Технология мокрой механизированной сварки при строительстве МЛСП «Приразломная» // Автомат. сварка. – 2005. – № 9. – С. 37–39.
8. Кононенко В. Я. Technologies of underwater wet welding and cutting E. O. Paton Welding Institute. – NASU, 2006. – 156 p.
9. Кононенко В. Я. Применение технологии механизированной подводной сварки при строительстве МЛСП «Приразломная» // Автомат. сварка. – 2005. – № 12. – С. 53.

Поступила в редакцию 22.04.2014