



## ГИПЕРБАРИЧЕСКАЯ СУХАЯ ПОДВОДНАЯ СВАРКА (Обзор)

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

Рассмотрен мировой опыт в области технологий подводной сварки в сухой камере. Показаны особенности использования их при сборке, изготовлении и ремонте ответственных конструкций и сооружений.

*Ключевые слова:* дуговая сварка, сухая сварка под водой, обитаемые камеры, покрытые электроды, порошковые проволоки, механические свойства соединений

В настоящее время в мире существуют более 4000 стационарных оснований в открытом море, используемых для добычи нефти и газа со дна морей. Большая часть этих металлоконструкций действующие и находятся в эксплуатации более 20 лет. Транспортировка нефти и газа в регионы потребления, как правило, осуществляется по подводным трубопроводам, длина которых составляет несколько десятков тысяч километров. Построены причальные сооружения с большим количеством металлических элементов, находящихся в воде, строятся и эксплуатируются десятки тысяч кораблей и судов. В подводной части этих сооружений возможно возникновение дефектов, нарушающих их водонепроницаемость, появление которых может быть вызвано нарушениями технологии при выполнении монтажных работ, развитием коррозионных процессов, повреждениями из-за воздействия природных сил, боевыми повреждениями, а также возможными ошибками при проектировании и строительстве. Для строительства и восстановления работоспособности этих сооружений необходимо высококачественное выполнение сварочных работ.

Ремонт корпусов кораблей и судов обычно выполняется в сухих доках или на слипах по отработанным технологиям. Сложности возникают при невозможности перемещения металлоконструкции в сухой док, где проводится ремонтно-восстановительные работы, или при отсутствии доков в регионах. В этих случаях ремонт осуществляется с применением подводной сварки. На сегодня существуют три основных способа выполнения сварочных работ под водой:

мокрая сварка в условиях непосредственного соприкосновения с водой выполняется под давлением, которое зависит от глубины выполнения сварочных работ;

гипербарическая сухая сварка внутри сухой обитаемой камеры, установленной вокруг свариваемых элементов, выполняемой под давлением, значение которого зависит от глубины;

сварка внутри кессона в сухих условиях при атмосферном давлении путем использования погружаемой в воду металлоконструкции, которая герметично соединяется с ремонтируемым элементом и внутри которой работает сварщик.

Состояние и особенности развития мокрой подводной сварки в бывшем СССР и странах СНГ достаточно подробно изложены в ряде публикаций [1–7]. Сварка внутри кессона практически ничем не отличается от сварки в обычных условиях на суше. В данной статье рассмотрен мировой опыт применения гипербарической подводной сварки.

В мире этот способ сварки начал развиваться с 1960-х годов, когда по мере расширения добычи углеводородного сырья на морском дне и монтажа установок для его добычи проектировщики стали использовать материалы с более высокими механическими свойствами. Соответственно повышались требования к качеству сварных соединений. Впервые в 1967 г. компания «Тейлор Дайвинг энд Салвейдж» (США) применила для сухой подводной сварки простую камеру с открытым дном, установленную на месте будущего соединения труб [8, 9]. Камера одевалась на трубопровод с помощью боковых вырезов, которые охватывали трубопровод и герметизировались специальными уплотнениями. Вода из сварочной камеры вытеснялась инертным газом и водолаз-сварщик, находясь в образовавшемся в камере газовом пузыре, выполнял сварку. Основная особенность применения этого способа состоит в исключении контакта реакционной зоны сварки и свариваемого металла с водой, что обеспечивает существенные преимущества для получения равнопрочного сварного соединения независимо от внешних условий и глубины выполнения работ. Положительные результаты, полученные с помощью этой технологии, позволили модернизировать камеру, оснастив ее гидравлическими системами и другим необходимым оборудованием.

В настоящее время большая часть работ в сухих камерах выполняется при ремонте подводных трубопроводов [9–12]. Камеры проектируются и изготавливаются индивидуально под заказ. Такая камера массой от 8 до 20 т, как правило, входит

в состав корабельного водолазного комплекса. Кроме нее, в комплекс входят гидравлические подъемники и центраторы, которые необходимы для перемещения труб в вертикальной и горизонтальной плоскости при их фиксации и герметизации в торцах камеры. Камеры комплектуются набором герметизирующих элементов под различные диаметры труб, комплектом оборудования для зачистки, резки и подгонки труб, герметизированным универсальным источником питания дуги для сварки неплавящимся и плавящимся электродом, герметичными емкостями для хранения инструмента и приспособлений, электроинструментом, оборудованием для послесварочной зачистки, контроля и термообработки сварных соединений. В камере находится также система дымоудаления, пожаротушения, контроля состава газовой смеси и гидравлическая система для фиксации и перемещения на небольшие расстояния ремонтируемой трубы в случае ее центровки при монтаже. В верхней части камеры располагается люк, к которому пристыковывается водолазный колокол. Водолазы-сварщики из колокола могут переходить непосредственно в камеру. В период монтажа на трубе, когда камера затоплена, работы выполняются в водолажном снаряжении. После окончания монтажных работ сварщик работает без водолазного снаряжения, при необходимости он надевает дыхательную маску, подключенную к системе газоснабжения водолазного колокола. Технологию ремонта подводных трубопроводов, отработанную на сотнях объектах [10–12], можно разбить на следующие этапы:

размыв и очистка поверхности трубопровода на расстоянии 5...10 м в обе стороны от дефектного участка;

– установка гидравлических подъемников и подъем трубопровода в положение, позволяющее монтировать на нем камеру;

– установка на ремонтируемый участок и герметизация вводов трубы в камеру;

– вытеснение воды путем подачи газовой смеси, состав которой подобран в зависимости от глубины;

– вырезка дефектного участка с формированием двух кромок;

– монтаж в трубе герметизирующих элементов;

– окончательная зачистка внутренних и наружных поверхностей трубопровода;

– подгонка ремонтируемого участка до размеров ввариваемой катушки;

– монтаж ввариваемой катушки на ремонтируемый участок и ее прихватка;

– сварка корневых швов;

– заполнение разделки многопроходным швом;

– термообработка сварных соединений по заданному циклу;

– неразрушающий контроль сварных соединений;

– гидроизоляция ремонтируемого участка;

– демонтаж камеры и подъемных устройств;

– замыв отремонтированного участка трубопровода.

Следует заметить, что все операции под водой выполняются под руководством специально подготовленных инженеров и техников. Они постоянно следят за физическим состоянием водолазов-сварщиков, составом и влажностью газовой смеси, а также контролируют все электрические параметры дугового процесса. Сварочные работы под водой выполняют специалисты, прошедшие многомесячную подготовку.

Сухая сварка под водой металлоконструкций с развитой поверхностью сопряжена со значительными трудностями [8, 12]. Для ее реализации необходимо проектировать и изготавливать камеру, предназначенную для ремонта только одного элемента, что требует существенных затрат. Современные компьютерные технологии и металлообрабатывающее оборудование позволяют изготавливать специализированную камеру за три-четыре рабочих дня. Такая камера, как правило, имеет минимальное внутреннее оборудование. Совместно с ней используется погружной универсальный источник питания, позволяющий выполнять сварку покрытым электродом, ТИГ и МИГ/МАГ, а также проводить термообработку сварного соединения по заданной программе. Источник размещается за пределами камеры. Сварочные материалы и оборудование для выполнения работ подаются внутрь камеры в герметичных боксах. В верхней части камеры может располагаться переходной узел для ее стыковки с водолажным колоколом. Условия работы водолаза-сварщика в таких камерах хуже, чем в камерах, применяемых для сварки трубопроводов. Технология выполнения ремонтных работ зависит от глубины, конструкции ремонтируемого узла, технологических возможностей фирмы, удаленности ремонтируемого объекта от мест, где производятся такие камеры, и требований заказчика к срокам проведения работ.

Подготовка ремонтируемых поверхностей (очистка от обрастания) выполняется с применением механических щеток или струей воды высокого давления. Подготовка трубных элементов в воде производится с применением электрокислородной или экзотермической резки. Подготовка поверхностей под сварку (разделка кромок) осуществляется с использованием металлорежущего инструмента с гидравлическим или электрическим приводом. Герметизация трубных элементов, как и при сварке трубопроводов, выполняется уплотнителями, устанавливаемыми внутри труб.



Для выполнения ремонтных работ на плоских конструкциях, таких, например, как борт судна или плавучего дока, создаются специализированные камеры, в которых размещается весь ремонтируемый участок объекта [8]. Установка и герметизация такой камеры требует существенных трудозатрат. Технология ремонта такая же, как и при использовании специализированных накидных камер.

Исследования в области технологий гипербарической сварки, проводимые в ведущих институтах и исследовательских центрах [13], направлены на повышение эффективности технологий сварки покрытыми электродами, МИГ/МАГ и ТИГ с использованием проволок сплошного сечения и порошковых проволок, на оценку влияния давления, состава газовой среды и расхода защитных газов на перенос, окисление легирующих элементов, структуру и механические свойства металла шва в процессе сварки. В связи с тем, что новые месторождения нефти и газа в Мексиканском заливе и других регионах располагаются на глубинах более 500 м, были интенсифицированы работы по созданию автоматических систем сварки с дистанционным управлением. Автоматические системы, разработанные в настоящее время, позволяют получить необходимые механические свойства соединений с высокой повторяемостью технических характеристик при использовании технологий ТИГ и МИГ/МАГ на глубине до 450 м [14–16].

Для строительства стационарных оснований и подводных трубопроводов применяются углеродистые и низколегированные стали с микролегированием алюминием, титаном, бором и др. Такие стали склонны к образованию структур закалки в металле ЗТВ в условиях гипербарической сварки, когда наблюдается существенный отбор теплоты в окружающую среду камеры, заполненную гелиокислородной смесью. С целью снижения вероятности образования холодных трещин в металле ЗТВ свариваемые конструкции подогревают до температуры 120 °С.

При гипербарической сварке необходимо различать два типа среды — среда сварочной камеры и среда (газовая смесь), подаваемая сварщику для дыхания. В связи с тем, что процесс сварки загрязняет окружающую среду (атмосферу камеры), сварщику необходимо носить маску и иметь независимую среду для дыхания. Это важно также с учетом того, что для реализации процесса сварки необходимо выполнить подготовительные работы. Кроме того, существует риск того, что сварщик может случайно вдыхать газовую среду камеры, поэтому она должна быть пригодна для дыхания [12].

В составе газов, заполняющих камеру, жестко контролируется содержание азота, при попадании

которого в зону горения дуги образуются оксиды азота, а также аргона при повышенном давлении, так как оба газа оказывают сильное наркотическое воздействие на организм человека. В этом отношении гелий (хотя и очень дорогой) является газом, который приемлем для дыхания водолаз-сварщика на различных глубинах. Для дыхания сварщика необходим кислород, концентрация которого в составе атмосферы камеры устанавливается с позиции биологической потребности и требований пожарной безопасности [11, 12].

При попадании выдыхаемого сварщиком газа в камеру, концентрация кислорода и других газов может выйти за допустимые рамки. Газовая смесь, которую выдыхает сварщик, либо выводится за пределы камеры, либо в камере устанавливают систему регенерации атмосферы, которая контролирует концентрацию кислорода и других газов.

Процесс сварки характеризуется выделением в атмосферу камеры целого ряда соединений, таких как  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ , и различных видов пыли. Концентрация этих соединений в составе атмосферы камеры не должна превышать порога допустимых значений. Кроме состава атмосферы, внутри камеры контролируются такие параметры, как влажность и температура. Повышенная влажность атмосферы камеры может привести к возникновению проблем, связанных с насыщением расходуемых материалов влагой и попаданием ее в зону горения дуги. Контроль температуры внутри камеры также оказывает существенное влияние на состояние здоровья сварщика в связи с тем, что в процессе дыхания при повышенном давлении гелий выносит из организма человека значительно больше теплоты, чем азот.

Существенные проблемы при сварке в гипербарических условиях возникают в результате повышенного давления и высокой теплопроводности газовой среды. Установлено, что независимо от используемых технологий с увеличением глубины выполнения работ дуговой процесс дестабилизируется [17, 18]. Точка пересечения собственной характеристики источника питания сварочной дуги и характеристической кривой дуги в гипербарических условиях меняет свое положение по отношению к ее положению в нормальных условиях. Дуга в этих условиях характеризуется большим градиентом падения напряжения и высокой степенью обжатия, поджиг дуги усложняется.

Повышенное давление оказывает существенное влияние на состав наплавленного металла [19]. Как отмечалось выше, в условиях повышенного давления и столб дуги обжимается, снижается площадь анодного и катодного пятен, что, в свою очередь, повышает их температуру. Обжатие дуги и повышение ее температуры оказывает влияние на геометрию и другие характеристики сварочной ванны

(с повышением давления увеличиваются глубина проплавления и высота усиления, уменьшается ширина шва, изменяется поверхностное натяжение расплавленного металла и его подвижность, а также возрастает степень адсорбции газов). Повышение температуры дуги способствует интенсивному выгоранию легирующих элементов из металла шва. Снижается концентрация кремния и марганца в шве и возрастает количество их оксидов в шлаковой корке.

Для защиты зоны горения дуги при использовании технологий ТИГ и МИГ/МАГ применяют различные комбинации газов (He, He/CO<sub>2</sub>, He/O<sub>2</sub> в различных сочетаниях и др.). Оптимальное количество газа, подаваемого для защиты зоны горения дуги при сварке в гипербарических условиях, составляет примерно 10 л/мин [13]. Существенное влияние на ударную вязкость металла сварного соединения оказывает характер истечения потока защитного газа из сопла горелки. Турбулентный газовый поток, как и при сварке на воздухе, снижает ударную вязкость металла шва.

*Технология сварки покрытым электродом* в гипербарических условиях применяется для сварки корневых швов, а в ряде случаев и для заполнения разделки. Обычно используются покрытые электроды с основным видом покрытия, при работе с которыми возникает целый ряд технических и технологических трудностей. Как отмечалось выше, с увеличением давления снижается жидкотекучесть сварочной ванны и возрастают возмущения, вызванные магнитным дутьем, швы становятся более выпуклыми с более крутым переходом шва к основному металлу, что усложняет удаление шлака. Водлазу-сварщику приходится использовать электроды меньшего диаметра по сравнению с электродами, применяемыми в аналогичных условиях при сварке на воздухе. Наибольшие трудности возникают при выполнении многопроходных угловых швов и последнего шва, заполняющего разделку. Сварку приходится выполнять очень короткой дугой. Определенные проблемы возникают из-за высокой гигроскопичности основного покрытия электродов в условиях сварки в гелиокислородной атмосфере. При влажности в камере 90...98 % скорость насыщения электрода парами воды до концентрации 0,2 % составляет 2...3 мин. Поэтому электроды в камере находятся в портативных печах (подогреваемых пеналах) или в вакуумной упаковке, что снижает вероятность их увлажнения. Нарушение условий хранения электродов в камере перед сваркой приводит к образованию холодных трещин в металле ЗТВ и пористости в металле шва [12].

Установлено, что при выполнении сварочных работ с возрастанием глубины наблюдается увеличение содержания углерода и кислорода в сос-

таве металла шва, а также повышенное выгорание марганца и кремния.

С повышением давления наблюдается увеличение количества водорода в сварном соединении, что связано с воздействием давления на электрическую дугу. Это может оказать существенное влияние на стойкость соединений к образованию холодных трещин при сварке сталей с высоким углеродным эквивалентом и толстолистовых металлоконструкций. Механические свойства сварных соединений, полученных в гипербарических условиях с применением покрытых электродов, находятся на уровне прочностных показателей основного металла.

*Технология ручной сварки ТИГ* в гипербарических условиях, как правило, применяется при выполнении корневого шва цилиндрических стыковых соединений, когда необходимо получить обратное формование. Дальнейшее заполнение разделки выполняют покрытым электродом или механизированным процессом МАГ с использованием проволок сплошного сечения или порошковых проволок.

Установлено, что повышение давления вызывает увеличение напряжения горения дуги. Последнее способствует большему влиянию магнитного дутья на стабильность дугового процесса, в особенности при давлении свыше 0,8 МПа. При этом дуга становится неустойчивой. В ряде случаев для ее стабилизации используют высокочастотную составляющую. Еще один путь — использование внешнего магнитного поля для воздействия на дугу [20–22], которое создается катушкой, намотанной вокруг неплавящегося электрода, на которую подается постоянный ток силой примерно 3 А. Использование внешнего магнитного поля позволило выполнить сварку ТИГ под давлением 2,1 МПа при силе тока 100 А. Дальнейшие эксперименты позволили установить, что положительные результаты обеспечиваются и при переменном магнитном поле, параметры которого менялись по заданной программе.

С возрастанием давления увеличивается глубина проплавления основного металла, при этом ширина шва практически не меняется. Проведенные многочисленными исследователями эксперименты показывают, что в случае использования сварки ТИГ увеличение глубины выполнения работ незначительно влияет на механические свойства сварного соединения.

*Технология сварки МАГ проволокой сплошного сечения* имеет свои преимущества по сравнению со сваркой покрытыми электродами — это высокая производительность за счет непрерывной подачи проволоки в зону горения дуги, саморегулирование дугового процесса и отсутствие шлака в реакционной зоне [23]. В гипербарических условиях эта технология обычно используется при



сварке короткой дугой. В качестве плавящегося электрода применяют те же проволоки, что и при сварке на воздухе. При сварке на токе обратной полярности с увеличением давления дуговой процесс дестабилизируется, возрастает глубина проплавления и разбрызгивание, повышается содержание оксидов железа, кремния и марганца в газовой фазе (появляется бурый дым). При сварке на токе прямой полярности дуга более стабильная, что позволяет выполнять сварку на больших глубинах.

Технология сварки МАГ порошковыми проволоками имеет те же преимущества, что и технологии сварки под водой проволоками сплошного сечения в защитных газах. Введение в сердечник стабилизирующих ингредиентов и лигатур позволяет выполнять сварку на глубине более 200 м, наличие шлаковой фазы улучшает формирование шва, защищает расплавленный металл от взаимодействия с окружающей средой и обеспечивает более высокую степень повторяемости результатов. В металле сварного соединения снижается содержание водорода. Применение бесшовных порошковых проволок, специально разработанных для сварки в гипербарических условиях, позволяет выполнять сварку на более высоких режимах. Это дает положительный результат по сравнению с применением покрытых электродов, при использовании которых с увеличением глубины необходимо снижать силу тока. Выполнение сварки на более высоких режимах в ряде случаев позволяет исключить из технологического цикла предварительный подогрев.

Были проведены исследования с целью определения влияния парциального давления кислорода, содержащегося в составе защитных газовых смесей ( $\text{He}/\text{CO}_2$ ,  $\text{He}/\text{O}_2$ ), на содержание кислорода в металле шва при сварке порошковыми проволоками, легированными марганцем и никелем [13]. Исследования проводили при различных парциальных давлениях кислорода (0,002...0,15 МПа) и углекислого газа (0,0015...0,20 МПа) на глубине до 100 м. Сварку выполняла группа водолазов-сварщиков с различным опытом работы под водой. Как и предполагалось, повышение парциального давления кислорода в смесях  $\text{He}/\text{CO}_2$ ,  $\text{He}/\text{O}_2$  увеличивало концентрацию кислорода в металле шва. Исследования ударной вязкости металла швов, выполненные при давлении 0,6...1,0 МПа (температура испытаний  $-20^\circ\text{C}$ ), показали высокие значения показателей поглощенной энергии удара (52...107 Дж) в зависимости от используемой защитной смеси. Эти значения достаточно высоки и соответствуют требованиям стандартов, предусмотренным для конструкций, сооружаемых в открытом море.

Вот уже более 15 лет проводятся исследовательские работы по разработке автоматизированных систем, позволяющих сократить время пре-

бывания водолаза-сварщика в гипербарических условиях [14–16]. Наиболее часто используется технология сварки ТИГ в сочетании с орбитальными системами, апробированными на глубине до 230 м. Разрабатываются комплексы, позволяющие осуществлять полностью автоматическую сварку в гипербарических условиях с дистанционным управлением всеми процессами с поверхности моря.

Добываемые нефть и природный газ содержат в своем составе значительное количество  $\text{H}_2\text{S}$  и  $\text{CO}_2$ , которые способствуют развитию коррозионных дефектов в трубопроводах. В связи с этим в настоящее время проводятся исследовательские работы по разработке технологий и оборудования для сварки на больших глубинах материалов с повышенной коррозионной стойкостью [24–26]. К таким материалам относятся шлакированные стали и дуплексные нержавеющие стали. Проверяются возможности использования для их сварки технологий ТИГ и плазменно-дуговой сварки МИГ. Экспериментальные работы сегодня ограничены глубиной 30 м. Сварка выполняется в горизонтальном положении.

В практике ремонта подводных переходов в бывшем СССР сухая сварка почти не применялась, за исключением ремонта нефтепровода Александровское–Анжеро-Судженск в месте его перехода через реку Обь (674 км). Непосредственным исполнителем этой работы был автор этой статьи (информация частично была изложена в работе [27]). Оба дефекта трубы диаметром 1020 мм с толщиной стенки 16 мм из стали 18Г2АФ располагались близко друг от друга в районе судового хода, где скорость течения воды достигала 0,7...0,9 м/с. В связи с этим работа могла выполняться только зимой со льда. Работу выполняли в два этапа.

На первом этапе в феврале–марте 1979 г. в сухой камере на глубине 6 м была заварена трещина кольцевого сварного шва длиной 250 мм. После размыва грунта, удаления футеровки и гидроизоляции на дефектный участок трубы установили камеру, изготовленную из части стальной емкости размером 1800×1500×2200 мм. Размеры камеры не позволяли свободно маневрировать со сварочным оборудованием, так как расстояние от наружной поверхности трубы до стенки камеры в нижней части не превышало 60 см. Камеру одевали на трубопровод с помощью боковых вырезов, которые охватывали трубопровод и герметизировались с помощью двух фланцев. Вода отжималась сжатым воздухом, подаваемым с поверхности компрессором. Вход и выход водолазов, подача необходимого инструмента и приспособлений, кабелей и шлангов выполнялась через его нижнюю часть. Дефектный участок (400×650 мм) вырезали с применением газокислородной резки. Для

подготовки разделки под сварку использовали абразивный инструмент. В образовавшееся отверстие была введена заплата с подкладкой. После фиксации ее на внутренней поверхности трубопровода с применением мокрой механизированной сварки был выполнен корневой шов. Затем разделку заполняли с использованием покрытых металлических электродов в воздушной среде. Перед сваркой проводили предварительный подогрев трубы. Электроды в зону работ подавали в герметичной емкости. Сварку выполняли в снаряжении типа СВУ. Для дыхания использовали аппарат АВМ-1М, что ограничивало время пребывания сварщика под водой до 50 мин. В рабочий день сварщик выполнял, как правило, два, изредка три спуска. В осушенном пространстве водолаз-сварщик находился в водолазном снаряжении и аппарате. Общая продолжительность работ, включающих изготовление камеры, ее монтаж и выполнение сварочных работ под водой (примерно 35 ч), составила более 75 сут. После ультразвуковой дефектоскопии и гидравлических испытаний трубопровода было установлено, что труба имеет еще один дефект.

Второй этап проведения ремонтных работ осуществлялся в феврале-марте 1980 г. Учитывая опыт предыдущей экспедиции, работа была организована таким образом, что размыв грунта был проведен в летне-осеннее время. В этом случае зачистка трубы и установка кессона была осуществлена за 10 рабочих дней. Подводные работы были организованы таким образом, что сварщик имел возможность находиться в кессоне более длительное время. Использовали аппарат ШАП-62. Воздух водолазу по шлангу подавали из транспортного баллона. Видимая часть дефектного участка монтажного стыка составляла 200 мм. Трещина, как и в первом случае, располагалась от 13 до 14.30. Технология выполнения сварочных работ была такая же, как и при ремонте предыдущего стыка. Меньшая масса и размеры водолазного снаряжения, а также возможность работы под водой 3...5 ч без выхода на поверхность позволили выполнить сварочные работы за 10 ч, с учетом нагрева трубы и зачистки швов.

Очевидно, что технология сварки в сухой камере, вмещающей как сварщика, так и свариваемый 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 при низкой прозрачности и больших скоростях течения воды.

Следует ожидать увеличения объемов выполнения ремонтных работ с использованием мокрых технологий сварки покрытыми электродами с улучшенными сварочно-технологическими свойствами и механизированных процессов. При нез-

начительных объемах сварочных работ применение электродов предпочтительно при получении прочностных показателей, адекватных с механизированным способом. 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 сооружения, выполняемые с минимальными затратами труда.

1. Патон Б. Е., Савич И. М. К 100-летию сварки под водой // Автомат. сварка. — 1987. — № 12. — С. 1-2.
2. Кононенко В. Я., Рыбченко А. Г. Опыт мокрой механизированной сварки самозащитными порошковыми проволоками при ремонте под водой газо- и нефтепроводов // Там же. — 1994. — № 9/10. — С. 29-32.
3. Кононенко В. Я., Грицай П. М., Семенкин В. И. Применение мокрой механизированной сварки при ремонте корпусов судов // Там же. — 1994. — № 12. — С. 35-38.
4. Кононенко В. Я., Ломачин Н. Н. Применение подводной механизированной сварки самозащитными порошковыми проволоками при ремонте судов и гидротехнических сооружений // Там же. — 1996. — № 4. — С. 36-39.
5. Кононенко В. Я. Технологии подводной сварки и резки. — Киев: Екотехнология, 2004. — 135 с.
6. Кононенко В. Я. Technologies of underwater wet welding and cutting. — Kiev: E. O. Paton Welding Institute, NASU, 2006. — 156 p.
7. Кононенко В. Я. Технология мокрой механизированной сварки при строительстве МЛСП «Приразломная» // Автомат. сварка. — 2005. — № 9. — С. 37-39.
8. Evans N. H. Welding in offshore constructions // Metal Construction and British J. — 1974. — № 5. — P. 153-157.
9. Coriatt G. Hyperbaric welding in the repair of offshore pipelines and structures. — 3R International, 1980. — № 3. — P. 156-162.
10. Bursaux G. A., Harrison J. M. Hyperbaric welding with dry transfer from a dynamically positioned // Proc. 11th Ann. offshore technol. conf., Houston, 1979. — P. 1537-1544.
11. Delaue P. T., Weber J. D. Hyperbaric underwater welding. The state of the art. Pt 1 // Welding J. — 1979. — № 8. — P. 17-25.
12. Delaue P. T., Weber J. D. Hyperbaric underwater welding. Pt 2 // Ibid. — 1979. — № 9. — P. 28-35.
13. Lezzi F. Principali problemi nella soldatura subacquea // Riv. Ital. soldat. — 2007. — № 1.
14. Rougier R. Automatic hyperbaric welding with thor-2 // Proc. of the 10th Intern. offshore mechanics and arctic eng. conf. — 1991. — Vol. III. — P. 159-162.
15. Hutt G., Pachniuk L. Progress in controlled hyperbaric pipeline tie-ins // Proc. of the 12th Intern. conf. on offshore mechanics and arctic eng. A. — 1993. — Vol. III. — P. 167-174.
16. Berge J. O., Harbrekke T., Knagenhjelm H. O. Automation in underwater hyperbaric pipeline welding // Proc. of the 10th Intern. offshore mechanics and arctic eng. conf. A. — 1991. — Vol. III. — P. 163-167.
17. Dick O., Ouden den G. The effect of pressure on the TIG welding process // Proc. Intern. offshore of International Institute of Welding (IIW) in Trondheim, 27-28 June, 1993. — P. 155-162.
18. Allume C. J. Effect on pressure on arcs // Proc. of the Intern. conf. of the International Institute of Welding (IIW) in Trondheim, 27-28 June, 1983. — P. 171-178.
19. Bailey N. Welding under water — a metallurgical appraisal // Proc. the First Intern. offshore and polar eng. conf., Edinburgh, 11-16 Aug., 1991. — P. 331-338.
20. Richardson I. Deflection of a hyperbaric plasma arc in a transverse in a transverse magnetic field // Proc. of the 12th Intern. conf. on offshore mechanics and arctic eng. A. — 1993. — Vol. III. — P. 155-166.



21. Hoffmeister H., Epler U., Ludwig J. Effect of electromagnetic fields on convection and penetration in hyperbaric TIG welding of X6CrNiTi 18 10 // Proc. of the 10th intern. offshore mechanics and arctic eng. conf. A. — 1991. — Vol. III. — P. 155–158.
22. Suga Y. The effect of magnetic field on stabilization of TIG arc welding under hyperbaric helium atmosphere // Proc. of the First Intern. offshore and polar engineering conf., Edinburgh, 11–16 Aug., 1991. — P. 325–330.
23. Drangelates U., Bouaifi B., Bartzch J. Schutzgasschweißen für die unterwasserfertigung // Schweißen und Schneiden. — 1997. — № 12. — S. 909–914.
24. Olsen J. M., dos Santos J. F., Richardson I. M. Effect of process parameters on metal transfer of hyperbaric GMAW of duplex steels // Proc. of the Fourth Intern. offshore and polar eng. conf., Osaka, 1994. — P. 107–111.
25. Ware N., Santos Dos J. F., Richardson I. M. Effect of shielding gas composition on the properties of hyperbaric GMA welds in duplex steel // Proc. of the 13th Intern. offshore mechanics and arctic eng. conf., OMAE, 1994. — Vol. III. — P. 369–377.
26. Santos Dos J. F., Richardson I. M. Process related aspect of hyperbaric GMAW of duplex steels // Proc. of the 4th Intern. conf. duplex stainless steels, Glasgow, 13–16 Nov., 1994.
27. Ремонт нефтепровода под водой с помощью сварки / В. Х. Галюк, К. А. Забела, В. Я. Кононенко и др. // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. — 1981. — № 12. — С. 22–24.

World experience in the field of technologies of underwater welding in a dry chamber is considered. Features of their application in assembly, manufacturing and repair of critical structures and constructions are shown.

Поступила в редакцию 08.11.2007



**5-я МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ “СОВРЕМЕННЫЕ ПРИБОРЫ,  
МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО  
КОНТРОЛЯ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ  
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО И  
НЕФТЕГАЗОПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ”**

г. Ивано-Франковск

02–05 декабря 2008 г.

**Уважаемые коллеги!**

*Ивано-Франковский технический университет нефти и газа 02–05 декабря проводит 5-ю Международную научно-техническую конференцию и выставку «Современные приборы, материалы и технологии для неразрушающего контроля и технической диагностики машиностроительного и нефтегазопромышленного оборудования».*

*Для участия в работе конференции и выставки приглашены известные ученые и специалисты по неразрушающему контролю (НК) и технической диагностике (ТД) из Украины, России и Молдовы, организации-производители и поставщики средств НК и ТД в Украине, представители нефтегазодобывающих, нефтегазотранспортных, машиностроительных предприятий Украины, где эксплуатируются средства НК и ТД, а также организации, осуществляющие контроль за проведением НК и ТД на промышленных предприятиях.*

**По вопросам организации и проведения конференции  
и выставки обращаться в оргкомитет:**

**тел.: (+380 3422) 4-24-30, 4-60-77;**

**факс: (+380 3422) 4-00-89;**

**e-mail: zarichna@nung.edu.ua; <http://www.nung.edu.ua>**