

О. Б. Гецкин



Е. М. Вышемирский



С. И. Полосков

УДК 621.791.947.5(204.1)

**Ю. А. Хаустов, инж.,**  
**О. Б. Гецкин, канд. техн. наук (НПП «ТехноТрон»),**  
**Е. М. Вышемирский, канд. техн. наук**  
**(ОАО «Газпром»),**  
**С. И. Полосков, д-р техн. наук**  
**(ФГАУ НУЦ «Сварка и контроль»**  
**при МГТУ им. Н. Э. Баумана)**

sales@tehnotron.ru

## ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ СВАРКИ В МИНИ-КЕССОНЕ ДЛЯ РЕМОНТА ПОДВОДНЫХ ПЕРЕХОДОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

*Показано, что особенности выполнения работ по подводной сварке трубопроводов требуют разработки и реализации нового поколения высокоэффективных полуавтоматов с перспективными техническими решениями по локальной защите зоны сварки и достигаемым результатам при выполнении подводных сварочных работ. Установлено, что наиболее эффективным типом механизированного оборудования для подобных работ являются полуавтоматы с локальными системами защиты от действия водной среды.*

**Ключевые слова:** водная среда, локальная защита, механизированная сварка, мини-кессон, подводный переход, трубопровод.

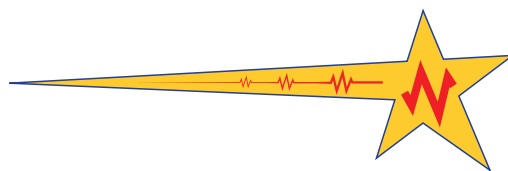
*Shown that the features of work in underwater welding pipelines require the development and implementation of a new generation of highly efficient semiautomatic with promising technical solutions to protect the local weld zone and achieve results in the performance of underwater welding. Found that the most effective type of mechanized equipment for such work are semi-local systems with protection of the aquatic environment.*

**Keywords:** aquatic environment, local security, mechanized welding, underwater passage, pipeline.

**Введение.** Впервые в мировой практике подводную дугую резку, а затем и сварку угольным электродом осуществили Н. Н. Бенардос и Д. А. Лачинов в 1887 г., поэтому история подводной сварки и резки по праву насчитывает более чем 125-летний период [1]. Однако необходимость более-менее систематического проведения подводно-технических работ возникла в конце 1940-х годов, когда, с одной стороны, началось активное освоение месторождений нефти на шельфе Каспия, а с другой — массовое строительство магистральных газо- и нефтепроводов с преодолением многочисленных водных преград в континентальной части России. Одновременно в послевоенный период возросла необходимость применения подводной сварки при восстановлении объектов народного хозяйства. Поэтому только с начала 1950-х годов подводная сварка стала по-настоящему значимым технологическим процессом соединения материалов в экстремальных условиях. Примерами высокоэффективного применения подводной сварки являются уникальные работы по ремонту подводных переходов газо- и нефтепроводов, сооружению стационарных оснований и причалов, гидротехнических сооружений, ликвидации последствий повреждений корпусов судов без постановки их в док, разделке затонувших судов и расчистке прибрежных акваторий [2, 3].

**Анализ видов сварки под водой.** По условиям реализации все процессы подводной сварки подразделяются на «мокрую» и «сухую» сварку [4]. «Мокрая» сварка — процесс, осуществляемый в водной среде без какой-либо защиты изделия и дуги,

так как дуга в результате испарения и разложения воды в процессе сварки горит в естественном газовом пузыре. Процессы «мокрой» сварки реализуются с использованием как штучных электродов, так и плавящейся электродной проволокой. Существенным недостатком сварки покрытыми электродами являются определенные проблемы продолжения шва из-за необходимости периодической замены электродов по мере их расхода. Переход к сварке проволокой сплошного сечения и порошковой проволокой не только исключил данный недостаток, но и дал мощный толчок в конце 1960-х годов к механизации сварочного процесса под водой [5]. Наиболее известный полуавтомат для механизированной сварки «Нептун-7», разработанный в ИЭС им. Е. О. Патона может устойчиво работать на глубине до 180—200 м — максимальной глубине, на которой может работать водолаз с использованием серийно выпускаемых глубоководных водолазных станций [6]. Так как «мокрая» сварка реализуется без каких-либо дополнительных устройств, то она характеризуется невысокой стоимостью и относительной простотой работ. Однако наряду с преимуществами «мокрой» сварке присущи и существенные недостатки, главными из которых являются повышенная склонность к дефектам (поры, трещины) из-за пониженного содержания легирующих элементов и высокого содержания водорода в наплавленном металле; нежелательной структуры металла шва и ЗТВ ввиду высокой скорости охлаждения сварного шва, проблемы формирования шва в потолочном положении. Поэтому «мокрую» сварку на



потенциально опасных объектах, например подводных переходах, можно рассматривать только как временную меру, вплоть до выполнения более качественных работ с использованием «сухой» сварки.

«Сухая» сварка — процесс с полным удалением воды из зоны сварки. Удаление воды из зоны сварки позволяет реализовывать основные способы дуговой сварки. Для реализации «сухой» ручной дуговой сварки, механизированной сварки плавящимся электродом, сварки неплавящимся электродом в инертных газах с 1970-х годов используют специальные локальные системы защиты, гипербарические камеры и специальные шахтные камеры, имеющие выход на поверхность [7]. Локальные системы обеспечивают только изоляцию места сварки от водной среды, а сварщик-водолаз находится вне их. Гипербарические и шахтные камеры оснащаются стыковочными узлами для возможности расположения в них сварщика-водолаза. С 1980-х годов в составе подобных камер помимо сварочного оборудования, инструмента и материалов имеются также приспособления и оборудование для резки, зачистки поверхностей, контроля и термообработки. С 1990-х годов гипербарические камеры становятся сложными инженерными сооружениями, в состав которых помимо основного и вспомогательного оборудования входят многотонные гидравлические подъемники и центраторы. Как правило, такие камеры изготавливают под конкретный заказ [8]. Поэтому, несмотря на высокое качество соединений, применение «сухой» сварки связано со значительной трудоемкостью работ и огромными временными затратами, определяющими значительную стоимость работ.

Однако благодаря энтузиазму персонала отдельных российских предприятий и организаций создан целый ряд менее затратных разработок, в том числе по подводной сварке в сварочно-монтажных камерах, и мини-кессонов при ремонте переходов трубопроводов через водные преграды [9].

**Особенности ремонтной сварки с использованием локальных систем защиты.** Сварочно-монтажные камеры и мини-кессоны сочетают преимущества как «мокрой» (в части простоты реализации и невысокой стоимости затрат), так и «сухой» сварки по обеспечению стабильно высокого качества сварных соединений, однако имеют ограничения применения по глубине выполнения работ и видимости зоны сварки. Поэтому их применение целесообразно на глубине до 40 м, например, при работах на относительно неглубоких подводных переходах трубопроводов.

Применение сварки с локальными системами защиты наиболее эффективно при устранении следующих дефектов на подводных переходах:

- наружных несквозных дефектов основного металла трубопроводов в виде местной или общей коррозии;
- несквозных дефектов сварных швов трубопроводов (пор, шлаковых включений, непроваров и несплавлений, трещин, подрезов, коррозионных и других дефектов);
- дефектов механического происхождения (рисок, задиры, царапины).

Для обеспечения стабильно сухой газовой среды вокруг ремонтируемого соединения накидная сварочно-монтажная камера неподвижно закрепляется на месте сварки. Камера должна плотно прилегать к трубопроводу и обеспечивать герметичность зоны сварки. В камере предусмотрен люк для ввода в нее водолазом-сварщиком сварочной горелки. Для вытеснения из камеры воды и создания сухой среды в нее подается

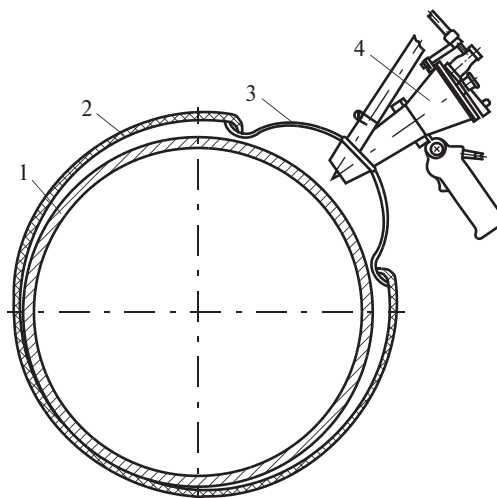


Рис. 1. Конструкция гибкого мини-кессона:

- 1 — труба; 2 — стяжной пояс; 3 — эластичная мембрана;  
4 — горелка

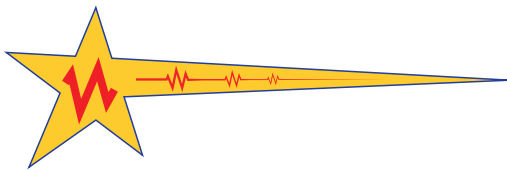
смесь газов под соответствующим давлением. Камеру полностью или частично изготавливают из прозрачного материала. Через прозрачные стенки камеры сварщик может наблюдать за процессом сварки, а через перчаточный шлюз управлять горелкой. Как правило, мини-камеру изготавливают по специальному заказу, еще до начала сварочных работ.

Гибкий мини-кессон (рис. 1) значительно проще по конструкции, чем накидная сварочно-монтажная камера. Рабочая зона мини-кессона должна обеспечивать возможность подогрева металла и проведения сварки на участке поверхности ремонтируемого трубопровода. Эластичная мембрана мини-кессона фиксируется стяжным поясом. Существенным преимуществом сварки с использованием мини-кессонов является их невысокая стоимость, а основным недостатком — проблемы наблюдения и контроля за процессом сварки. С учетом изложенного в НПП «Технотрон» разработали установку УПСС-1 с визуализацией механизированной сварки при ремонтных работах на подводных переходах газопроводов.

**Установка УПСС-1 для ремонтной сварки под водой в гибком мини-кессоне.** Установка состоит из универсального гибкого мини-кессона и полуавтомата для механизированной сварки.

Отличительной особенностью разработанного в НПП «Технотрон» мини-кессона является возможность не только фиксации горелки, но и выполнения в нем вспомогательных операций предварительного подогрева и контроля нагрева основного металла. Кроме того, оригинальное крепление горелки на мембране обеспечивает возможность свободных манипуляций ею в процессе сварки в пределах 30—50 см на поверхности трубопровода большого диаметра, для чего сварочная горелка, находящаяся в руках водолаза-сварщика, обеспечивает не только горение дуги, но и наблюдение за процессом сварки. Конструкция стяжного пояса, обеспечивающая перемещение мембраны по поверхности трубопровода без демонтажа мини-кессона, позволяет выполнять заварку нескольких отдельных дефектов, расположенных на одной трубе, а также устранять дефекты сварки после проведения дефектоскопического контроля.

Полуавтомат для механизированной сварки с использованием локальных систем защиты практически ничем не отлича-



ется от полуавтоматов для «мокрой» сварки [5, 6] и состоит из источника сварочного тока, блока управления, блока погружного с механизмом подачи электродной проволоки и катушкой, сварочной горелки с гибким шлангом для подачи проволоки и комплекта токогазовых коммуникаций (рис. 2).

Источник сварочного тока ДС 400.33 М — современный инверторный аппарат, обеспечивающий сварку плавящимся электродом током до 400 А. Отличительной особенностью источника является точное поддержание режимов сварки независимо от длины силовых кабелей и перепадов напряжения в сети питания.

Блок управления обеспечивает питание функциональных устройств, пуск и остановку подачи проволоки, регулирование скорости ее подачи, контроль возможных неполадок и параметров сварочного процесса. В процессе сварки блок также должен находиться на поверхности. Управление приводом выполнено по классической двухконтурной схеме с внутренним регулятором ЭДС двигателя (с комбинированными связями, отрицательной по напряжению и положительной по току). Для этого силовая схема электропривода выполнена на двух транзисторах (первый транзистор обеспечивает двигательный режим, второй — тормозной режим).

Предусмотрено два режима работы блока управления: двухтактный — с нажатием и удержанием кнопки горелки вплоть до окончания процесса сварки и четырехтактный — с кратковременным нажатием кнопки горелки для начала процесса сварки и повторным нажатием кнопки для его прекращения.

Имеется также настроенный режим работы — без включения источника.



Рис. 2. Полуавтомат для механизированной сварки под водой



Рис. 3. Горелка для сварки плавящимся электродом в гибком мини-кессоне:

а, б — со стороны сопла и окна визуального наблюдения соответственно

В процессе выполнения сварки источник и блок управления находятся на поверхности, поэтому необходимые контрольно-измерительные приборы позволяют регулировать процесс сварки без участия водолаза-сварщика, оперативная связь с которым поддерживается по радио.

В погружном блоке, выполненном в виде стального чехла с герметичным вводом проводов цепи управления, размещены механизм подачи проволоки и катушка с электродной проволокой. В процессе сварки погружной блок располагают под водой недалеко от места сварки. В кожухе при помощи системы подачи газа и регулирующих клапанов постоянно поддерживается давление газа, ориентировочно в 1,5 раза больше, чем давление окружающей воды.

Однако горелка для сварки в мини-кессоне значительно более сложная по конструкции (рис. 3), чем горелка для «мокрой» сварки, из-за наличия специального окна для визуального наблюдения за дугой и зоной сварки.

Для этого горелка выполнена в форме пистолета, ствол которого заканчивается усеченной насадкой со светофильтром. На горелке расположены вентиль регулирования расхода защитного газа, узел фиксации горелки на мембране, хомут для крепления шланга подачи электродной проволоки и подвода сварочного тока, лампа подсветки, кнопка включения подачи электродной проволоки и сварочного тока.

В гибком шланге горелки общей длиной до 2 м располагается стальная спираль или пластиковая трубка, по которой плавящаяся электродная проволока подается к контактному наконечнику сварочной горелки.

Кабель управления обеспечивает работу механизма подачи электродной проволоки. В погружной блок кабель входит через герметичный ввод. Токогазовые коммуникации обеспечивают работу подсоединенного к горелке и участку трубопровода сварочного источника, находящегося на поверхности, и подачу защитного газа в кессон и горелку.

#### Техническая характеристика установки УПСС-1

Напряжение питания, В . . . . .	380 (трехфазное, переменный ток)
Потребляемая мощность, кВт . . . . .	≤ 25
Максимальный сварочный ток, А . . . . .	400
Диаметр электродной проволоки, мм . . . . .	0,8—2,0
Скорость подачи электродной проволоки, м/мин . . . . .	≤ 14
Масса установки с кабелем длиной до 70 м, кг . . . . .	≤ 104
Масса сварочного источника, кг . . . . .	≤ 44
Масса блока погружного, кг . . . . .	25
Масса блока управления, кг . . . . .	≤ 4
Габаритные размеры сварочного источника, мм . . . . .	≤ (610 × 280 × 535)
Габаритные размеры блока погружного, мм . . . . .	4090 × 335
Габаритные размеры блока управления, мм . . . . .	260 × 222 × 131
Масса токогазовых коммуникаций, кг . . . . .	≤ 75

Климатическое исполнение установки — У2 (ГОСТ 15150). Находящиеся в процессе сварки на поверхности сварочный источник и блок управления устойчиво работают при температуре окружающего воздуха от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $40^{\circ}\text{C}$  и относительной влажности 80 % при  $15^{\circ}\text{C}$ . Условия функционирования блока погружного: температура окружающей среды от  $-5^{\circ}\text{C}$  до  $40^{\circ}\text{C}$ , внешнее давление до 600 кПа. Для сварки в надводном положении и «мокрой» сварки в комплект полуавтомата дополнительно входит традиционный держатель. При «мокрой» сварке используют электродную проволоку ППС-АН1, ППС-АН5, а мини-кессон не применяют.

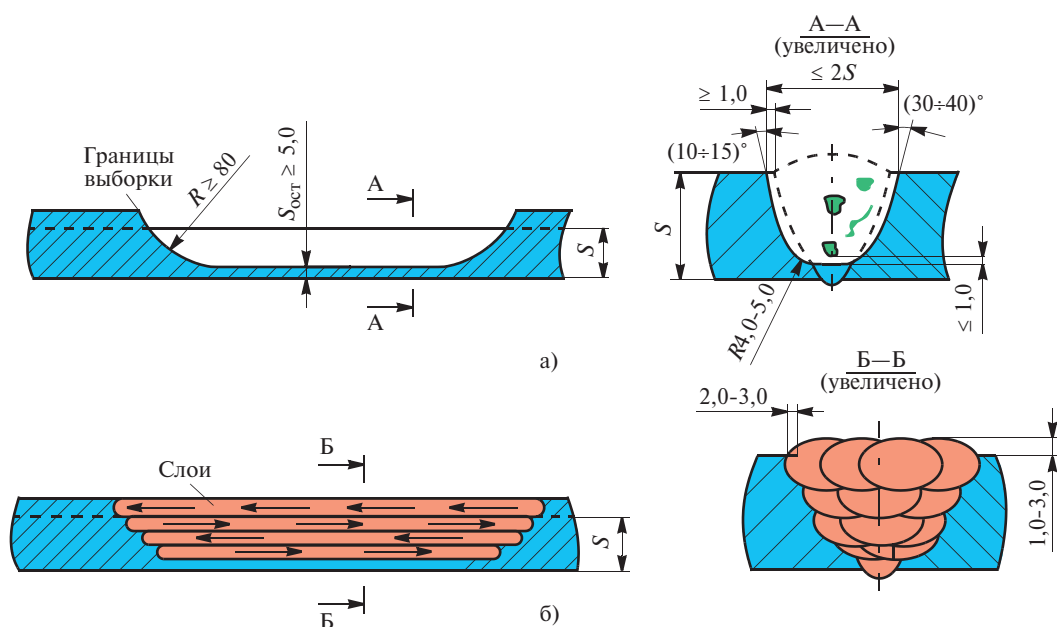
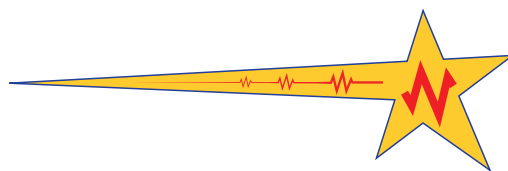


Рис. 4. Параметры выборки дефектного участка прямоугольной формы (а) и порядок ее заполнения (б)

**Расходные сварочные материалы.** Для подводной сварки (наплавки, заварки) дефектов труб и сварных соединений из сталей с классом прочности до К54 включительно рекомендуется применять проволоки сплошного сечения Св-08Г2С-0 или Super Arc L-56. Для сварки (наплавки, заварки) дефектов труб и сварных соединений из сталей с классом прочности до К60 включительно — проволоки сплошного сечения Thyssen K-Nova (TS-6), K-600 (Union K Nova-Ni), OK Autrod 12.66, Lincoln Supra Mig. В качестве защитного газа рекомендуется применять смесь аргона и углекислого газа в отношении (%) 80 Ar + 20 CO<sub>2</sub>. Допускается использование 100 % CO<sub>2</sub> по ГОСТ 8050 высшего сорта.

**Технологические особенности ремонтной сварки под водой (наплавки, заварки).** До начала ремонта проводят выборку дефектного участка. Выборку дефектного участка с наружными дефектами выполняют механическим способом для получения необходимой формы, при этом наружные поверхности свариваемых кромок, прилегающие к границам выборки, зачищают до металлического блеска на ширину 10—15 мм. В процессе выборки (вышлифовки) дефектов обеспечивают их полное удаление, при этом глубина выборки не должна превышать глубину наружных дефектов более чем на 1,0 мм. В процессе работ применяют шлифовальные машинки и фрезы с гидравлическим приводом.

Параметры выборки дефектного участка прямоугольной формы на ремонтируемом сварном шве и порядок ее заполнения (наплавки) показан на рис. 4, а круглой или овальной формы — на рис. 5.

Для обеспечения гарантированного сплавления по кромкам в условиях интенсивного теплоотвода выборка должна иметь чашеобразную U-образную форму, при этом она должна превышать фактическую длину дефекта не менее чем на 30 мм в каждую сторону. В поперечном сечении угол разделки выборки в зависимости от ее расположения может различаться. Так, для выборки в верхней или нижней поверхности трубы рекомендуется симметричная разделка с углами скоса (25±30)°, а для выборки на ее боковых поверхностях — несимметричная разделка с углами скоса (30±40)° в верхней части и (10±15)° в ее нижней части.

Перед сваркой осуществляют предварительный подогрев выборки электрическими нагревательными устройствами. Температура подогрева определяется толщиной стенок ремонтируемых труб и классом их прочности.

Сварку (наплавку) выборки выполняют постоянным током обратной полярности узкими валиками по встречно-симметричной схеме. Направление швов в каждом последующем слое должно быть встречным предыдущему. Швы должны наплавляться с перекрытием 2—3 мм. Ширина первых заполняющих слоев должна составлять 4—6 мм, последующих заполняющих слоев — 8—10 мм. Облицовочные слои должны перекрывать основной металл на величину 2—3 мм и иметь выпуклость 1—3 мм. Контурный шов должен иметь ширину 8,0—12,6 мм и перекрывать основной металл на 2—3 мм.

Режимы сварки под водой на глубине 5 м приведены в табл. 1.

Таблица 1

Пространственное положение выборки	Ток, А	Напряжение, В	Расход газа, л/мин	Скорость подачи проволоки, м/мин	Вылет проволоки, мм
<i>Проволока сплошного сечения диаметром 0,8 мм</i>					
Нижнее	130—140	23—25	30	7,5	10—15
Вертикальное	90—100	20—21	30	5,0	10—15
Потолочное	90—100	20—21	30	5,0	10—15
<i>Проволока сплошного сечения диаметром 1,0 мм</i>					
Нижнее	140—150	30—32	30	7,5	10—15
Вертикальное	110—120	28—29	30	5,5	10—15
Потолочное	100	25—28	30	5,5	10—15

**Примечание.** Параметры режимов сварки (наплавки) под водой на больших глубинах необходимо уточнять при производственной аттестации технологий сварки под водой.

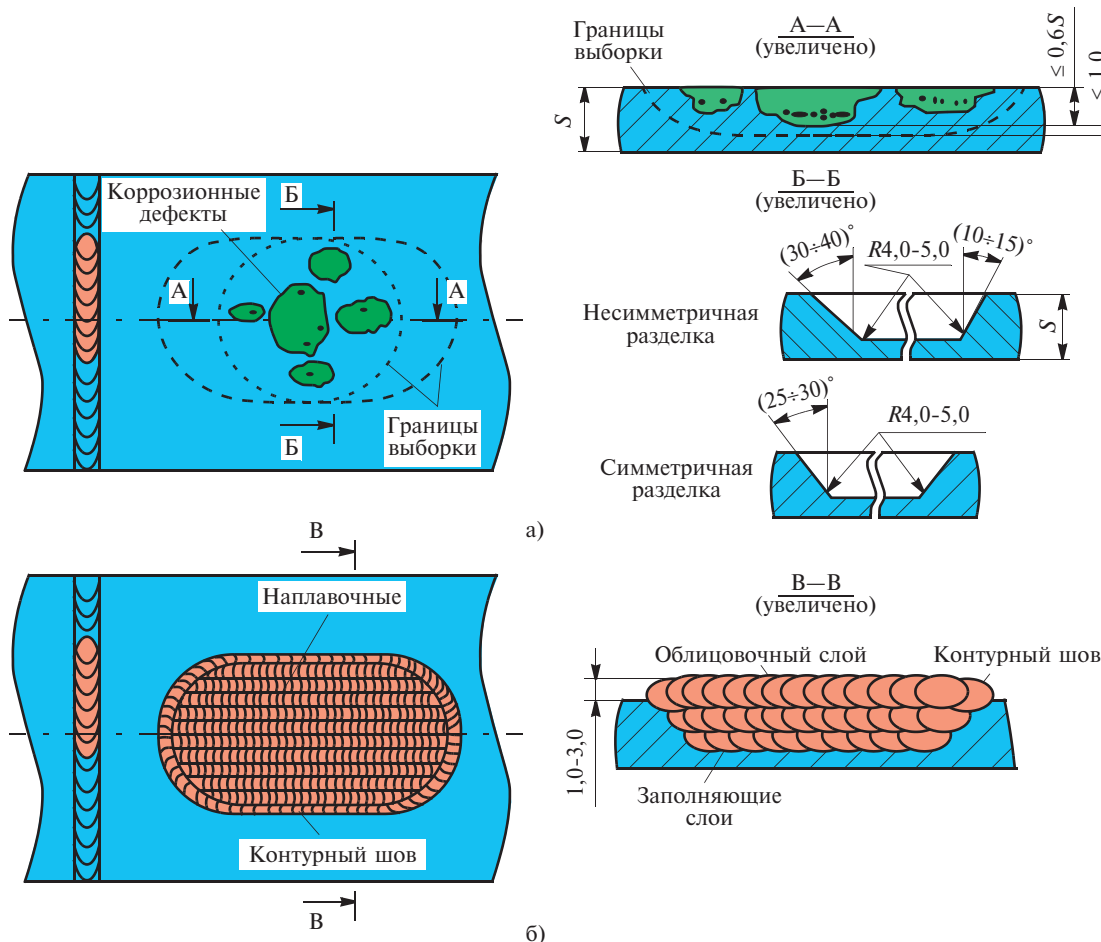
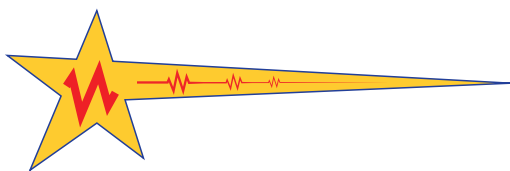


Рис. 5. Параметры выборки дефектного участка круглой или овальной формы (а) и порядок ее заполнения (б)

Таблица 2

Глубина выборки, мм	Число наплавочных слоев шва
До 10 включительно	≥3
Свыше 10 до 15 включительно	≥4
Свыше 15 до 20 включительно	≥5
Свыше 20 до 25 включительно	≥6

Минимальное число слоев наплавки при механизированной сварке проволокой сплошного сечения в защитных газах в зависимости от глубины и формы выборки приведено в табл. 2.

Контроль качества отремонтированных дефектных участков труб и сварных соединений подводных переходов проводит водолаз-дефектоскопист как визуально, так и с применением измерительных приборов.

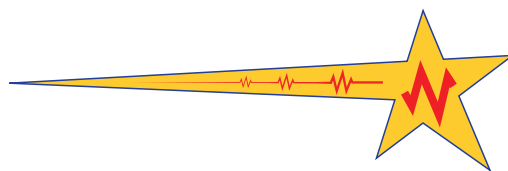
**Результаты проведенных работ.** Проведенные в установленном порядке в ООО «Подводсервис» исследовательская и производственная аттестация установки УПСС-1 и представленных ремонтных технологий сварки показали стабильно высокое качество сварных соединений (рис. 6).

По результатам опытно-промышленного внедрения установки УПСС-1 выпущен отраслевой стандарт СТО Газпром 2-2.3-159—2007 «Инструкция по ремонту подводных газопроводов с использованием установки полуавтоматической сварки УПСС-1».

Проведенные работы по ремонту подводных газопроводов, например, по заварке на глубине 15 м каверн и трещин в подводном переходе газопровода через реку Лена (рис. 7) показали перспективность применения установок УСПП-1 при ремонте подводных переходов магистральных нефте- и газо-



Рис. 6. Натурный образец наплавочных швов, выполненных установкой УПСС-1



проводов на глубинах до 40 м, даже в условиях ограниченной видимости (рис. 8).

Необходимо отметить, что для практической реализации любых способов сварки под водой необходима развитая инфраструктура, включая не только необходимое специализированное сварочное оборудование, но и средства его доставки на место выполнения работ, а также наличие персонала, сочетающего навыки сварщика и водолаза-подводника. Наряду с этим опытно-промышленное применение установки УСПП-1 показало, что ее усовершенствование будет заключаться уже не в модернизации оборудования, а в повышении эффективности осушения свариваемых (наплавляемых) поверхностей в мини-кессоне, а также совершенствовании системы предварительного и сопутствующего нагрева стыка непосредственно в процессе сварки.

Несомненно, что существенной основой дальнейшего развития подводных работ станет разработка научно-технической документации по ремонту подводных переходов, регламентирующей применение технологий сварки в сварочно-монтажных камерах и кессонах, а также непосредственно в водной среде [10], в том числе с использованием разработок НПП «Технотрон».



Рис. 7. Спуск сварщика-водолаза с погружным блоком установки УПС-1 в реку Лена для проведения ремонтных работ



Рис. 8. Подводные ремонтные работы с использованием сварки в мини-кессоне

## Выводы

1. Для обеспечения стабильно высокого качества сварных соединений при ремонтных работах на участках относительно неглубоких подводных переходов трубопроводов (на глубине до 40 м) весьма перспективно применение механизированной сварки в мини-кессонах, что обеспечивает сочетание преимуществ как «мокрой», в части простоты реализации и невысокой стоимости затрат, так и «сухой» сварки по качеству сварных соединений.

2. Применение сварки с локальными системами защиты наиболее эффективно на участках подводных переходов с наружными несквозными дефектами основного металла трубопроводов в виде местной или общей коррозии, несквозных дефектов сварных швов в виде пор, шлаковых включений, непроваров и несплавлений, трещин, подрезов, дефектов механического происхождения (рисок, задиров, царапин).

3. Основой дальнейшего развития подводных работ станет разработка научно-технической документации ремонта подводных переходов, регламентирующей применение технологий сварки в сварочно-монтажных камерах и кессонах, а также в водной среде.

## Список литературы

1. Патон Б. Е., Савич И. М. К 100-летию сварки под водой // Автоматическая сварка. 1987. № 12. С. 1—2.
2. Кононенко В. Я. Технология мокрой механизированной сварки при строительстве МЛСП «Приразломная» // Автоматическая сварка. 2005. № 9. С. 37—39.
3. Кононенко В. Я. Подводная сварка и резка. 2-е изд., переработ. и доп. Киев: Экотехнология, 2011. 264 с.
4. Мадатов Н. М. Подводная сварка и резка металлов. Л.: Судостроение, 1967. 164 с.
5. Совершенствование оборудования для подводной механизированной и автоматизированной сварки и резки порошковой проволокой / Б. Е. Патон, В. А. Лебедев, С. Ю. Максимов и др. // Сварка и Диагностика. 2011. № 5. С. 54—59.
6. Новое поколение полуавтоматов для подводной механизированной сварки и резки / К. А. Ющенко, В. А. Лебедев, В. Г. Пичак, С. Ю. Максимов // Сварка и Диагностика. 2009. № 4. С. 31—36.
7. Кононенко В. Я. Гипербарическая сухая подводная сварка (обзор) // Автоматическая сварка. 2008. № 4. С. 44—50.
8. Кононенко В. Я. Использование способа сухой сварки при ремонте подводных переходов газо- и нефтепроводов в России // Автоматическая сварка. 2010. № 5. С. 54—59.
9. Алешин Н. П. Технологии сварки в сложных условиях (интервью) // Газовая промышленность. 2013. № 1. С. 27—29.
10. Вышемирский Е. М. Состояние и основные направления развития сварочного производства ОАО «Газпром» // Сварка и Диагностика. 2009. № 1. С. 16—19.