

РАЗРАБОТКИ ИЭС им. Е. О. ПАТОНА В ОБЛАСТИ ПОДВОДНОЙ СВАРКИ И РЕЗКИ

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

Представлены обобщающие материалы о ряде конструкторских разработок в области подводной сварки и резки, выполненных в ИЭС им. Е.О.Патона НАН Украины с 1966 г. Сделана попытка оценить их с позиции пользователя.

*Светлой памяти А. Е. Асниса
и И. М. Савича посвящается*

Ключевые слова: мокрая сварка, порошковые проволоки, полуавтомат, покрытый электрод, электрокислородная резка, дуговая резка, плазменная резка

В бывшем СССР исследованиями и разработкой электродных материалов, технологий и оборудования для подводной сварки и резки занимались различные организации, связанные прямо или косвенно с выполнением аварийно-спасательных и подводно-технических работ. В конце 1960-х — начале 1970-х гг. на снабжении Поисково-спасательной службы (ПСС) ВМФ СССР находился ряд электродных материалов и оборудования для проведения подводно-технических работ, позволявших решать определенные задачи, которые связаны с оказанием помощи кораблям и судам, получившим боевые и навигационные повреждения [1–4]. К ним можно отнести:

— покрытые электроды марки ЭПС-52 для ручной дуговой сварки малоуглеродистых и низколегированных сталей (выпускались серийно от 2 до 10 т/год на 28 Военном заводе);

— покрытые электроды марки ЭПС-А для ручной дуговой сварки корпусных сталей типа АК. Обеспечивали аустенитную структуру металла шва (выпускались мелкосерийно на 28 Военном заводе);

— покрытые трубчатые электроды марки ЭПР-1 для электрокислородной резки малоуглеродистых и низколегированных сталей (выпускались серийно от 5 до 20 т/год на 28 Военном заводе);

— держатели для сварки и резки под водой покрытыми электродами марки ЭПС-2 и держатели для электрокислородной резки под водой марки ЭКД-4-60 (выпускались серийно на 28 Военном заводе);

— автономные источники питания дуги с падающей внешней вольт-амперной характеристикой и повышенным напряжением холостого хода марки ПАС-400-VI для сварки и резки под водой покрытыми и трубчатыми электродами, а также палубный источник питания АСУМ-400 с падающей и жесткой внешними вольт-амперными характеристиками;

— полуавтомат ППСР 300-2 для мокрой механизированной сварки и резки под водой проволокой сплошного сечения (прошел государственные испытания и принят для использования ПСС ВМФ, всего выпущено 3 полуавтомата).

Всем перечисленным выше оборудованием, за исключением полуавтоматов ППСР 300-2, были укомплектованы водолазные боты и спасательные суда. Электродные материалы, хотя и обеспечивали низкую производительность и недостаточный уровень прочности и пластичности сварных соединений, на тот момент позволяли решать текущие проблемы ПСС ВМФ.

В 1966 г. руководством ВМФ СССР было принято решение о передаче части тематики, связанной с разработкой новых технологий, электродных материалов и оборудования для выполнения механизированной сварки и резки на различных глубинах, в ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. Группу сотрудников возглавил И. М. Савич. Научное руководство темы осуществлял профессор А. Е. Аснис.

В 1967 г. группой сотрудников под руководством И. М. Савича была разработана самозащитная порошковая проволока ППС-АН1 [5]. Исследования, предшествующие разработке, проводили в следующей последовательности:

— выполняли процесс сварки проволоками сплошного сечения с различной системой легирования. Сварку проводили как с защитой зоны горения дуги газом, так и без нее. Положительных результатов достигнуто не было;

— оценивали возможность защиты реакционной зоны с использованием флюсов, разработанных для сварки на воздухе. Были получены обнадеживающие результаты.

Известно, что применение флюсов при сварке связано с целым рядом проблем. В первую очередь — выполнение швов в положениях, отличных от нижнего, когда затруднительно защитить флюсом реакционную зону, тем более в условиях сварки под водой, при наличии волнового воздействия и течений.

Идея о применении самозащитной порошковой проволоки для сварки под водой принадлежит академику Б. Е. Патону. Однако использование самозащитных порошковых проволок, разработанных



ных в тот период для сварки на воздухе, в подводных условиях положительных результатов не дало.

Проведенные в ИЭС им. Е. О. Патона лабораторные исследования позволили разработать оригинальный состав шихты порошковой проволоки и технологию ее изготовления, обеспечившую герметичность замка. Это дало возможность разместить порошковую проволоку в погружном узле полуавтомата, заполненного водой, что упростило его конструкцию. Отпала необходимость в подаче газа в погружной узел. Проволока рutil-руднокислого вида, получившая название ППС-АН1, обеспечивала сварку в пресной воде на глубине до 20 м ряда малоуглеродистых и низколегированных сталей [6, 7]. Технология мокрой механизированной сварки под водой самозащитными порошковыми проволоками на момент своей разработки была уникальна и не имела аналогов в мире.

Для реализации технологического процесса ОКТБ ИЭС разработало целый ряд полуавтоматов, установок для орбитальной сварки стыковых соединений, автоматической приварки грузоподъемных проушин, погружных источников питания дуги и других уникальных изделий. Краткое описание части разработанного оборудования приведено в таблице. На рис. 1–5 впервые представлены основные образцы оборудования, выпущенные единично и серийно на Опытном заводе сварочного оборудования (ОЗСО) ИЭС.

Конструкторские разработки усложнялись по мере получения опыта эксплуатации отдельных образцов полуавтоматов. Большая часть проектов разработана конструкторами ОКТБ ИЭС под руководством В. Е. Патона. Основные усилия конструкторов при разработке полуавтоматов были направлены на снижение массы погружного узла и повышение надежности работы электрической схемы. Первым полуавтоматом для подводной механизированной сварки, который прошел государственные испытания и был принят на снабжение ПСС ВМФ, является полуавтомат А1450 («Нептун 4»). Масса погружного узла под водой с запасом порошковой проволоки в этом проекте достигала 46 кг. В последних проектах (ПШ141, ПШ146) массу погружного узла с запасом порошковой проволоки под водой удалось снизить до 7 кг, а электрическая схема обеспечивала равномерную подачу электродной проволоки в зону горения дуги независимо от нагрузки, при длине кабеля цепи управления 675 м. Полуавтомат ПШ141 также прошел государственные испытания и в 1991 г. был принят на снабжение ПСС ВМФ.

Как отмечалось выше, важная роль в процессе мокрой механизированной сварки под водой отводится порошковой проволоке. От того, как осуществляется защита реакционной зоны, какова система легирования металла шва, зависят основные показатели прочностных и пластических свойств соединений. Работы по усовершенствованию состава порошковой проволоки ППС-АН1 для получения более высоких механических свойств соединений проводились с 1974 г. В результате раз-

работано семейство порошковых проволок, обеспечивавших получение равнопрочных соединений ряда корпусных и трубных сталей на различных глубинах. Порошковая проволока ППС-АН5 выпускалась серийно в условиях Экспериментального производства (ЭП) ИЭС.

Группой сотрудников под руководством А. А. Игнатушенко созданы макетные образцы порошковых проволок на никелевой основе, обеспечивавшие получение стабильно аустенитной структуры металла шва [8]. Этими проволоками в имитационных условиях глубоководной камеры мокрым способом получены соединения сталей на глубинах до 1200 м, а в натуральных — заварен неповоротный трубный образец, выдержавший испытательное давление более 20 МПа.

Кроме работ по разработке технологий и оборудования для мокрой механизированной сварки, сотрудники ИЭС занимались обучением этому технологическому процессу гражданских и военных специалистов. Обучение проводили как с выездом на объекты, подлежащие ремонту, так и в условиях лаборатории подводной сварки ИЭС.

Мокрая механизированная сварка самозащитными порошковыми проволоками была адаптирована к технологиям проведения подводно-технических работ в бывшем СССР, так как позволяла выполнять ремонтные работы в условиях, когда невозможно использовать глубоководные водолазные суда. С помощью этой технологии и оборудования выполнен большой объем работ по ремонту подводных переходов газо- и нефтепроводов через реки [9], ремонт кораблей и судов, получивших аварийные и навигационные повреждения [10–12], причальных сооружений и стационарных оснований добывающих платформ. Ремонтные работы выполняли как в летнее, так и зимнее время со льда. Успешному выполнению работ способствовал высокий уровень подготовки специалистов. Для выполнения ремонтных работ на трубопроводах, как правило, привлекали специалистов ИЭС.

Основным способом мокрой сварки под водой за рубежом и до конца 1980-х гг. в бывшем СССР являлась сварка покрытыми электродами [13–16]. Этот способ имеет свои положительные и отрицательные стороны. Он востребован потребителем, так как оборудование для его реализации надежно, мобильно, имеет малую массу и размеры. Для питания дуги используют широко распространенные передвижные сварочные агрегаты с автономным приводом. К отрицательным аспектам технологии можно отнести низкую производительность процесса сварки, высокие требования к подготовке водолазов-сварщиков и значительный разброс показателей механических свойств соединений, зависящих от объективных и субъективных факторов. С помощью этого способа можно выполнять ремонтные работы на сооружениях, где не требуется проведения большого объема сварочных работ.

За рубежом для мокрой сварки под водой малоуглеродистых и низколегированных сталей на различных глубинах разработано большое коли-

чество покрытых электродов [13–16]. При их использовании обеспечиваются механические свойства сварных соединений на уровне класса «С», изрядка «В», спецификации AWS D3.6–99. [17].

В связи с тем, что механические свойства соединений, обеспечиваемые при использовании электродов ЭПС-52, были низкими, а закупки электродов за рубежом для нужд ВМФ не проводились, стал вопрос о разработке новых электродов с улучшенными сварочно-технологическими и механическими свойствами. Такие работы были начаты в ИЭС в 1985 г. Опыт работ, полученный в лаборатории подводной сварки при разработке самозащитных порошковых проволок, позволил создать оригинальную газшлаковую композицию покрытия и разработать новый электрод для мокрой сварки во всех пространственных положениях. Электрод ЭПС-АН1 имеет хорошие сварочно-технологические характеристики и предназначен для сварки под водой на глубине до 20 м ряда углеродистых и низколегированных сталей. При его использовании обеспечиваются механические свойства металла шва на уровне соединений, выполненных на воздухе электродами типа Э42. Кроме сварки под водой, эти электроды используют при сварке на воздухе металлоконструкций, имеющих слой воды на поверхностях, подлежащих соединению. Для крепления электродов и передачи сварочного тока в ИЭС разработан новый держатель ДПС-АН1.

Дуговая резка под водой покрытыми электродами имеет свои положительные и отрицательные стороны. Она востребована в случае, если металлоконструкции изготовлены из нержавеющей сталей, чугуна или цветных металлов. Иногда, из-за отсутствия оборудования, дуговая резка применялась и при разделении металлоконструкций из сталей общего назначения. Процесс похож на ручную подводную дуговую сварку металлическим электродом, выполняющуюся при повышенной плотности тока. Однако он малопроизводителен из-за больших затрат времени для пробивания металла на всю его толщину в начальный момент резки, сильного перегрева электрода, что вызывает повышенный его расход и частую замену в процессе работы [18]. Для процесса дуговой резки применялись электроды ЭПС-52.

В ИЭС были проведены работы по повышению прорезающей способности электродов за счет изменения состава электродного покрытия. В результате создан электрод ЭПР-1, имеющий повышенную прорезающую способность при резке под водой. С его помощью можно резать металл толщиной до 16 мм на глубине до 20 м в пресной и морской воде во всех пространственных положениях. С увеличением толщины металла прорезающая способность электродов снижается. Наибольший эффект достигается при резке металла толщиной до 6 мм, когда электрокислородная резка малоэффективна. Для крепления и передачи сварочного тока применяются те же держатели, что и при сварке под водой (ЭПС-2-76 и ДПС-АН1).

В процессе разработки порошковых проволок для механизированной сварки под водой установ-

лено, что ряд компонентов, вводимых в шихту, способствуют увеличению глубины проплавления основного металла. На базе проведенных исследований разработан технологический процесс и порошковые проволоки для механизированной подводной резки сталей, чугуна и цветных металлов [19–21]. Порошковые проволоки выпускали диаметром 2,2...3,0 мм.

С энергетической точки зрения процесс разделительной резки под водой порошковыми проволоками достаточно удачный, так как в малом объеме выделяется энергия, эквивалентная мощности 10...25 кВт. Металл, независимо от химического состава, расплавляется дугой, имеющей в условиях мокрой сварки под водой температуру 6000...12000 °С. Газовый поток, образующийся на торце плавящегося электрода, и давление дуги обеспечивают эвакуацию расплавленного металла из зоны реза. Процесс разделительной дуговой резки порошковыми проволоками можно выполнять на глубине более 600 м.

С точки зрения потребителя процесс также был востребован, так как отпадала необходимость в приобретении различных комплектов оборудования, достаточно иметь на водолажном посту запас порошковой проволоки для резки, которая может быть установлена в полуавтомат для подводной сварки. Кроме того, отпадали проблемы, связанные с доставкой и хранением большого объема кислорода. При толщине металла ≤ 18 мм для резки можно было использовать источники питания дуги и оборудование, применяемые для механизированной сварки. При использовании стандартного комплекта оборудования для механизированной сварки скорость резки под водой порошковыми проволоками близка к показателям электрокислородной подводной резки [21].

Принимая во внимание положительные аспекты технологии механизированного процесса резки под водой порошковыми проволоками, работы в этом направлении были продолжены. По заказу ВМФ разработан комплект оборудования, включавший полуавтомат А-1773 и специализированный палубный источник питания дуги. Использовали порошковую проволоку диаметром 3 мм, $I_p = 1000$ А, $U_d = 50$ В. Выделение такой мощности в локальном объеме позволяло резать любые металлы толщиной до 50 мм. С применением этой технологии и комплекта оборудования осуществлена вырезка на глубине 40 м технологического отверстия в реакторном отсеке подводной лодки [22].

Дальнейшее развитие этого направления шло по пути уменьшения массы погружного узла полуавтомата, снижения диаметра порошковой проволоки и уменьшения мощности, отбираемой источником питания дуги. Разработан специализированный комплект оборудования для разделительной резки под водой. Конструкцию полуавтомата, получившего индекс ПШ131, упростили, снизили массу погружного узла, уменьшили диаметр проволоки до 2,4 мм и отказались от регулирования скорости ее подачи. Это позволило использовать стандартные источники питания мощностью 40...50 кВт, однако при этом процесс потерял уни-



Оборудование для подводной сварки и резки, разработанное и выпущенное ИЭС им. Е. О. Патона

Год	Название	Краткое описание
1967	A1200 «Нептун 1»	Аппаратный шкаф с пускорегулирующей аппаратурой и контрольными приборами расположен на поверхности. Погружной узел из органического стекла массой 54 кг газонаполненный (заполняется воздухом). Запас проволоки 10 кг, регулирование скорости подачи плавное, длина держателя 2 м. Аппаратный шкаф и погружной узел соединены кабелем цепи управления (100 м), сварочными кабелями и шлангом подачи воздуха. В серию не пошел
1968	A1242 «Нептун 2»	Аппаратный шкаф с такими же рабочими характеристиками, как и «Нептун 1». Подающий механизм открытый (нет защитного бокса). Из-за этого большие токи утечки с поверхности проволоки и подающих роликов при сварке в соленой воде (до 150 А). Впервые применен компенсатор наружного давления в виде резиновой газонаполненной емкости. В серию не пошел
1970	«Нептун 3»	Аппаратный шкаф одностинный с «Нептун 2». Погружной узел закрытый металлический, покрытый эпоксидной смолой с обрешиненной внутренней поверхностью. Двигатель и редуктор в металлическом стакане заполнены жидкостью и имели систему компенсации давления. Выпущен макетный образец
1972	A1516 «Нептун 5»	Аппаратный шкаф в брызгозащитном исполнении с пускорегулирующей аппаратурой, схемой, обеспечивающей плавное регулирование скорости подачи электродной проволоки и приборами контроля. Погружной узел из пеноэпоксидной композиции. Редуктор и двигатель расположены в полости, отлитой внутри погружного узла и заполненной жидкостью ПЭС-1. Масса снаряженного проволокой погружного узла под водой составляла 10, на воздухе — 30 кг. Погружной узел удобен в эксплуатации. Рабочая глубина 60 м. В процессе работы жидкость попадала в поры пеноэпоксидной композиции, насыщая последнюю. Внутри полости образовывались газовые пузыри. За счет этого наружным давлением продавливалось компенсирующую диафрагму. Выпущено 15 полуавтоматов. В дальнейшем погружной узел A1516 явился прототипом проекта погружного узла полуавтомата ПШ141
1974	A1450 «Нептун 4»	Аппаратный шкаф с пускорегулирующей аппаратурой, схемой плавного регулирования скорости подачи электродной проволоки и приборами контроля. Погружной узел резиновый с металлическими упрочняющими элементами, заполненный водой. Масса в снаряженном состоянии 45 кг. Двигатель и редуктор помещены в металлический корпус, имевший систему компенсации давления. Запас сварочной проволоки 7 кг, длина держателя 3 м. Длина сварочной цепи и цепи управления 180 м. Испытательное давление 4,0 МПа. Прошел государственные испытания и был принят на снабжение ПСС ВМФ. Выпущено более 100 комплектов полуавтоматов
1977	A1660	Аппаратный шкаф с пускорегулирующей аппаратурой, схемой плавного регулирования скорости подачи электродной проволоки и приборами контроля. Погружной узел аналогичен проекту A1450. Длина сварочной цепи и кабеля цепи управления 60 м, рабочая глубина 60 м. Выпускался с различными модификациями электрической схемы управления двигателем. Последние модели оснащены блоком защиты от перегрузок и коротких замыканий в цепи управления. Разработан для нужд народного хозяйства. Выпущено более 140 комплектов полуавтоматов
1977	A1715	Установка для сварки неповоротных стыков труб в автоматическом режиме. Подающий узел от полуавтомата A1450. Аппаратный шкаф с системой слежения по стыку и расположению электрода в пространстве. Выпущен макетный образец
1977	A1773	Полуавтомат для резки под водой порошковой проволокой диаметром 3 мм на глубине до 60 м совместно с плавным источником питания. Регулирование скорости подачи порошковой проволоки плавное. Запас порошковой проволоки 10 кг, длина держателя 3 м. Выпущен макетный образец
1985	A1802	Установка для приварки судоподъемных проушин двухсторонними многопроходными швами в автоматическом режиме. Выпущен макетный образец. Успешно прошли натурные испытания в условиях Черного моря
1986	A1821 «Скат 3»	Установка для плазменно-дуговой резки под водой. Выпущено 2 установки
1989	ПШ131 В5	Полуавтомат для подводной механизированной резки порошковой проволокой. Аппаратный шкаф с пускорегулирующей аппаратурой и приборами контроля. Скорость подачи порошковой проволоки не регулируется. Редуктор и двигатель помещены в металлический корпус с системой компенсации давления. Корпус погружного узла из пеноэпоксидной композиции массой под водой 14 кг. Запас порошковой проволоки до 10 кг, длина держателя 3 м, рабочая глубина 60 м. Выпущено 18 комплектов
1991	ПШ 141 В5 «Проток»	Полуавтомат для мокрой механизированной сварки самозащитными порошковыми проволоками. Аппаратный шкаф блочного типа с пускорегулирующей аппаратурой, системой плавной регулировки скорости подачи электродной проволоки и приборами контроля. Оснащен системой защиты схемы от перегрузок и коротких замыканий в кабеле цепи управления. Двигатель мощностью 55 Вт вместе с планетарным редуктором помещен в металлический корпус, заполненный жидкостью. Предусмотрена система компенсации давления. Корпус погружного узла из сферопласта. Масса в воде 7 кг, запас проволоки на кассете до 5 кг. Прижимные ролики шестеренчатого типа. Длина держателя с пластиковым каналом 3 м. Испытательное давление 6,25 МПа. Длина кабеля цепи управления 625 м. Прошел государственные испытания. Выпущено 8 комплектов полуавтомата
1991	ПШ146 В5 «Проток»	Аналог полуавтомата ПШ141. Рабочая глубина 60 м, длина цепи управления 75 м. Разработан для нужд народного хозяйства. Выпущено 4 комплекта полуавтомата

версальность. Для мокрой механизированной резки сталей, цветных металлов и чугуна толщиной до 40 мм в пресной и морской воде выпускали по-

рошковые проволоки марок ППР-АН1, ППР-АН2, ППР-АН3 и ППР-ЭК3 диаметром 2,2... 2,4 мм.

Кислородно-дуговая резка под водой трубчатым электродом используется для разделения стальных



Рис. 1. Полуавтомат А1200 «Нептун 1»

металлоконструкций более 50 лет. Для ее реализации применяли тонкопокрытые трубчатые электроды марки ЭПР-1. Использование электродов ЭПР-1 не обеспечивало необходимой производительности труда водолаза при выполнении подводно-технических работ. В ИЭС были проведены исследования по повышению прорезающей способности электродов за счет изменения состава покрытия. В результате разработан новый трубчатый электрод с повышенными режущими характеристиками марки АНР-Т8. Используя один такой электрод, опытный водолаз-резчик обеспечивает разделение металлоконструкции толщиной



Рис. 2. Полуавтомат «Нептун 3»



Рис. 3. Полуавтомат А1450 «Нептун 4»

22 мм на длину 400 мм. Ток резки при использовании электрода АНР-Т8 на 30...70 А ниже, чем с помощью электрода ЭПР-1.

Для крепления электродов, передачи электрического тока от источника питания к электроду и подачи кислорода в ИЭС разработан универсальный электрододержатель повышенной надежности ЭКД-АН2. Он предназначен как для электродов диаметром 8 мм, используемых при кислородно-дуговой резке, так и для электродов диаметром 10 мм, используемых при экзотермической резке.

По заказу ВМФ в ИЭС разработаны макетные образцы электродов для подводной экзотермической резки. Они прошли натурные испытания на Черном и Балтийском морях. Проведены также конструкторские работы, позволившие сконструировать основные элементы оборудования для серийного выпуска этих электродов. Поскольку с 1992 г. работы по заказам ВМФ СССР были прекращены, организация серийного производства этих электродов в ИЭС не проводилась. В настоящее время ИЭС выпускает под заказ в лабораторных условиях экзотермические электроды марки АНР-Э10.

Под руководством академика К. К. Хренова с 1972 г. в ИЭС проводили работы по разработке технологического процесса разделения металлоконструкций под водой с использованием сжатой плазменной дуги [23]. В качестве рабочей плазмообразующей среды при подводной резке использовали воздух. В ОКТБ ИЭС разработана установка «Скат-2М» и «Скат-3» для воздушно-плазменной



Рис. 4. Установка для приварки судоподъемных проушин А1802



Рис. 5. Полуавтомат для подводной сварки ПШ141

резки под водой в морских условиях. При создании установок решен ряд технических проблем, связанных с необходимостью защиты плазменной дуги от воздействия морской воды, обеспечения ее поджига и устойчивого горения на глубине, исключения опасности поражения водолаза электрическим током. Установка состояла из аппаратного шкафа, блока водоснабжения и обеспечения воздухом, ручного плазменного резака с электро-, водовоздушными коммуникациями и вьюшки для спуска и подъема плазменного резака. Управление установки осуществлялось с помощью выносного пульта, который располагался непосредственно у места спуска водолаза. Основные параметры процесса устанавливались и контролировались приборами, размещенными на передней панели аппаратного шкафа.

Макетный образец установки «Скат-2М» для воздушно-плазменной резки под водой в морских условиях прошел успешную апробацию при подъеме танкера «Людвиг Свобода». С использованием этой установки было выполнено 1160 пог. м реза металлоконструкций с толщиной стенки 15...35 мм. Всего было выпущено две такие установки.

Работы, проведенные в ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины в области мокрой подводной сварки и резки, позволили создать оригинальные технологии и оборудование для подводно-технических работ, не имеющих аналогов за рубежом. Залогом успеха было то, что это направление находилось на постоянном контроле у Б. Е. Патона. Благодаря этому концентрировалась интеллектуальная и материально-техническая база ИЭС, привлекались высококлассные специалисты, владевшие знаниями в области разработки электродных материалов, технологических процессов сварки, конструкторскими навыками и имевшими опыт работы под водой. Значительный вклад в научные достижения этого направления внесен профессором А. Е. Аснисом.

Generalizing information is given on a number of design developments in the field of underwater welding and cutting conducted at PWI since 1966. An attempt has been made to evaluate them from the user's viewpoint.

1. Авлилов Т. И. Электроды для сварки и резки металла в воде // Свароч. пр-во. — 1955. — № 6. — С. 9–10.
2. Авлилов Т. И. Исследование процесса дуговой сварки под водой // Там же. — 1958. — № 5. — С. 12–14.
3. Мадатов Н. М. Подводный ремонт кораблей и судов. — М.: Воениздат, 1965. — 280 с.
4. Мадатов Н. М. Подводная сварка и резка металлов. — Л.: Судостроение, 1967. — 164 с.
5. Савич И. М. Подводная сварка порошковой проволокой // Автомат. сварка. — 1969. — № 10. — С. 70.
6. Савич И. М., Смолярко В. Б., Камышев М. А. Технология и оборудование для полуавтоматической подводной сварки металлоконструкций // Нефтепромысловое стр-во. — 1976. — № 1. — С. 10–11.
7. Порошковые проволоки для дуговой сварки: Каталог-справочник / И. К. Походня, А. М. Суптель, В. Н. Шлепаков и др. — Киев: Наук. думка, 1980. — 180 с.
8. Аснис А. Е., Игнатушенко А. А., Дьяченко Ю. В. Меры снижения содержания водорода в зоне термического влияния при механизированной подводной сварке // Автомат. сварка. — 1983. — № 8. — С. 1–4.
9. 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.
10. Кононенко В. Я., Грицай П. М. Мокрая механизированная сварка при ремонте корпусов судов // Мор. флот. — 1994. — № 11–12. — С. 21–22.
11. Кононенко В. Я., Грицай П. М., Семенкин В. И. Применение мокрой механизированной сварки при ремонте корпусов судов // Автомат. сварка. — 1994. — № 12. — С. 35–38.
12. Кононенко В. Я., Ломакин Н. Н. Применение подводной механизированной сварки самозащитными порошковыми проволоками при ремонте судов и гидротехнических сооружений // Там же. — 1996. — № 4. — С. 36–39.
13. Liu S., Olson D., Ibarra S. Electrode formulation for underwater welding // Proc. Intern. conf. on underwater welding (New Orleans, 20–21 March, 1991). — Miami: AWS, 1991. — P. 98–119.
14. Grantham J. Development of an underwater SMAW electrode for improved fatigue strength in wet welded joints // Abstr. pap. present. 71st intern. AWS and solder. conf. (Miami, 22–27 Apr., 1990). — Miami, 1990. — P. 290.
15. West T. C., Mitchell G. Evaluation of commercially available wet welding electrodes for potential repair of U.S. Navy Ships // J. Ships Production. — 1988. — № 4. — P. 228–243.
16. Pett M. Wet welding-significant advances in quality // Welding Met. Fabr. — 2000. — № 4. — P. 22–24.
17. ANSI/AWS D3.6. Specification for underwater welding. — Miami: AWS, 1999.
18. Данченко М. Е., Ланна А. В. Подводная резка штучными электродами. (Обзор) // Автомат. сварка. — 1993. — № 8. — С. 35–37.
19. Данченко М. Е., Савич И. М., Нефедов Ю. Н. Подводная дуговая резка порошковой проволокой // Там же. — 1988. — № 4. — С. 59–61.
20. 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.
21. Данченко М. Е., Нефедов Ю. Н. Подводная резка порошковой проволокой с использованием сварочного полуавтомата // Там же. — 1990. — № 1. — С. 70–71.
22. Савич И. М., Максимов С. Ю. Применение механизированной резки при подъеме подводной лодки // Там же. — 2001. — № 2. — С. 59–60.
23. Дудко Д. А., Хренов К. К., Эсбиян Э. М., Бахтияров Д. П. Подводная воздушно-плазменная резка металлов // Там же. — 1976. — № 3. — С. 55–56.

Поступила в редакцию 22.09.2003