

## Автоматическая подводная сварка по увеличенному зазору

*Владимир Лебедев*

Институт электросварки имени Е.О.Патона НАН Украины  
ул. Боженко 11, Киев-150, Украина, 03680  
[valpaton@ukr.net](mailto:valpaton@ukr.net), [orcid.org/0000-0003-0391-6113](https://orcid.org/0000-0003-0391-6113)

Отримано 08.10.2018, прийнято до публікації 23.10.2018  
DOI: 10.26884/uwt1808.1401

В последнее время появился определённый круг задач, когда возникает необходимость использования автоматической дуговой сварки различных объектов под водой с использованием мокрого способа и применения специальных электродных порошковых проволок [1]. Одна из таких задач приварка специальных конструктивов в трубе на глубинах 200 и более метров [2]. Кроме большой глубины, на которой выполняется процесс, задача осложняется стеснёнными условиями сварки, наличием достаточно больших зазоров между свариваемыми конструктивами с толщинами порядка 10 мм, невозможностью точного аппаратного контроля положения сварочной горелки относительно сварного шва [3].

Наличие больших зазоров в свариваемых конструкциях возникает из-за технологической необходимости транспортирования привариваемого элемента внутри труба на отмеченное выше расстояние и наличие определённых (достаточно больших) допусков на овальность и внутренний диаметр трубы.

Целью настоящей работы является получение надёжного соединения элементов конструкции с увеличенным зазором при автоматической сварке в условиях ограниченного контроля положения горелки относительно сварного шва и разработка оборудования для решения такой, достаточно сложной, задачи.

Следует заметить, что при технико-технологических исследованиях и при

создании оборудования были использованы разработки ИЭС им. Е.О.Патона как по самому способу сварки и сварочных материалов [4], так и по узлам и конструкциям механизированного оборудования общего и специального назначения [5, 6], в том числе и для подводной сварки мокрым способом, выполненным на уровне изобретений, реализованных в виде целого ряда полуавтоматов, выпускавшихся в промышленности серийно.

Были опробованы различные способы сварки на разных режимах, а также разные конструкции обеспечения минимального зазора постоянной величины  $\delta$  и устройства слежения за стыком. Ни одно из предлагаемых технических решений по совокупности вышеотмеченных причин не привело к получению шва с требуемой плотностью и необходимыми механическими свойствами. Причина – неравномерность зазора, сложность применения следящих систем известных конструкций, характеристики свариваемых объектов (толщина, материал, взаимное положение) и др.

Напрашивается решение, связанное с увеличением режима сварка, которое позволит захватить большую зону проплавления, однако, рассчитанные по результатам работы [7] величины увеличения погонной энергии, неизбежно приведут к перерасходу как материальных, так и энергетических ресурсов с существенным перегревом металла в зоне сварки с более мощными характеристиками процесса. При этом основ-

ная проблема, виникаюча при збільшенні тепловложения в основний метал, в частині при сварці низкоуглеродистих и низколегированих сталей, зв'язана з чремерним ростом зерен на участку перегрева металла околешовної зони. Крупнозерниста структура металла на цьому участку перегрева як показано, наприклад в [8] може привести к пониженой ударной вязкости и малой стойкости против перехода в хрупкое состояние, когда сталь плохо выдерживает динамические нагрузки и непригодна для изделий более или менее ответственного назначения.

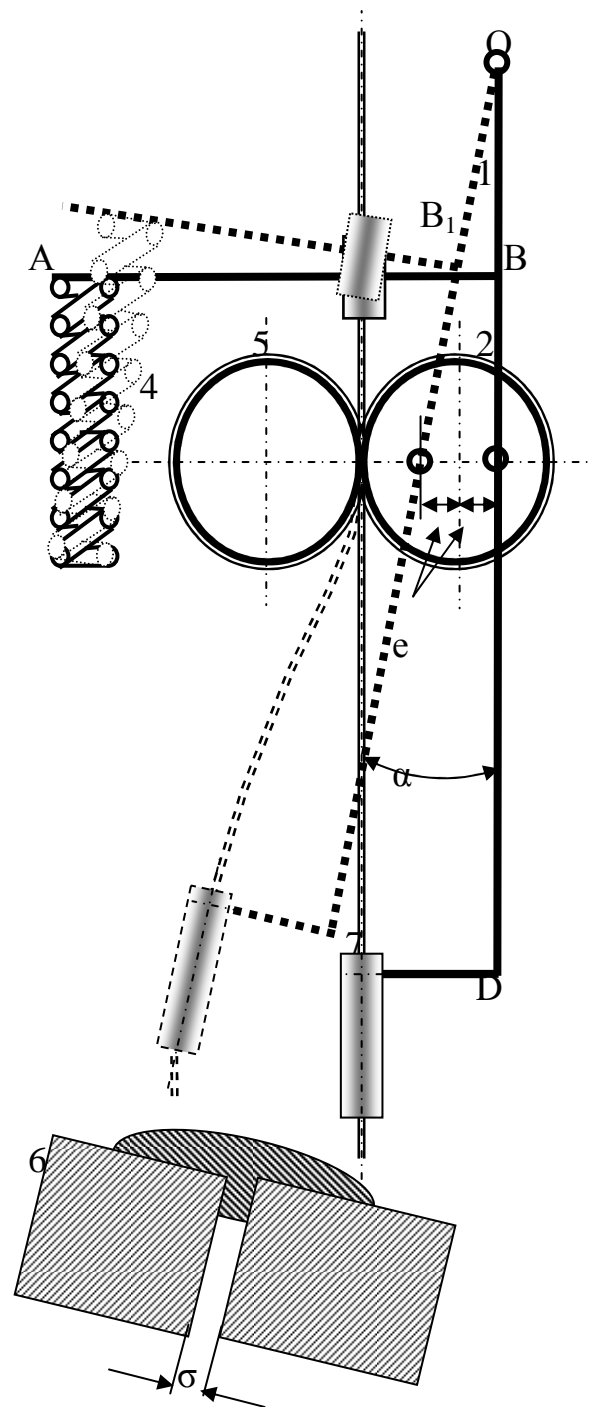
Положительные результаты с приемлемыми характеристиками сварного соединения были получены при применении колебаний сварочной горелки относительно сварного шва как перпендикулярно оси шва, так и под некоторым углом. Последнее оказалось необходимым для обеспечения компактности устройства в сварочном аппарате в целом.

В результате комплекса поисковых работ была предложена оригинальная, компактная конструкция колебателя сварочной горелки с приводом непосредственно от механизма подачи электродной проволоки, схема которой в упрощённом виде представлена на Рис.1. По нашему мнению, опираясь на схему колебателя, не трудно представить себе его работу. Эффективная передача движения на прижимной ролик, который связан с рычагом колебателя и сварочной горелкой возможна только при подаче электродной проволоки.

Сложность создания такой конструкции колебателя заключается в получении сплошности шва при ограниченных параметрах регулирования частоты колебаний горелки, что следует из выражения (1). Другой важной задачей являлись ограниченные энергетические ресурсы приводного электродвигателя, который должен затрачивать определённую дополнительную мощность на внеосевые перемещения (колебания поперёк шва) электродной проволоки и участка направляющего канала, по которому проволока подаётся в зону горения дуги, а также преодоление усилия пружины.

Рассмотрим, как решались эти задачи в разработанной конструкции.

Отметим, что в данной конструкции час-



**Рис.1.** Схема колебателя сварочной горелки: 1 – рычаг; 2 – прижимной ролик; 3 – сварочная горелка; 4 – пружина сжатия; 5 – подающий ролик; 6 – элементы конструкции (условно); 7 – электродная проволока

тота колебаний сварочной горелки  $f$  определяется частотой вращения прижимного

ролика и зависит от скорости подачи электродной проволоки  $v_3$  и диаметра прижимного ролика  $d_{np}$  и соответствует выражению

$$f = \frac{v_3}{\pi d_{np}}. \quad (1)$$

Так как в рассматриваемой конструкции горелки колебание сложное с итоговым синусоидальным законом движения, то условие сплошности сварного шва по аналогии с [9] и некоторыми преобразованиями можно записать в следующем виде

$$v_3 = bf \sqrt{\frac{(\sin \tau - 1) \cos \tau}{\frac{3\pi}{2} - \tau}}, \quad (2)$$

где  $b$  – размах колебаний торца электродной проволоки;  $\tau$  – корень уравнения  $\frac{l^2}{b^2} = (\sin t - 1) \left[ (\sin t - 1) + \left( \frac{3\pi}{2} - t \right) \cos t \right]$ ;  $l$  – ширина шва;  $t = \frac{2fx}{v_3}$ ;  $x$  – путь, пройденный дугой в продольном направлении.

Преобразовав и приравняв уравнения (1), (2), можно найти конструктивные параметры  $b$  и  $d_{np}$ , задавшись одним из них из следующего соотношения

$$\pi d_{np} = b \sqrt{\frac{(\sin \tau - 1) \cos \tau}{\frac{3\pi}{2} - \tau}}. \quad (3)$$

Сила  $P$ , вызывающая линейное упругое перемещение канала с проволокой [10], в зоне взаимодействия роликов и проволоки может быть с рядом допущений (упругость, форма, сечение и др.), но с достаточной для конструктивных решений точностью найдена из соотношения

$$P = \frac{3eEJ}{l_k^3} \pm P_{np}, \quad (4)$$

где  $P_{np}$  – усилие пружины,  $e$  – величина эксцентриситета прижимного ролика;  $l_k$  – длина изгибаемой части канала с проволокой;  $E$  – модуль упругости связки проволока-канал (в нашем случае учитывался модуль упругости канала, так как свободно находящаяся в канале проволока практически не изгибается);  $J$  – момент инерции сечения изгибаемой части канала с проволокой.

При этом найденное значение силы имеет максимальное значение при сжатии пружины и учитывается при определении момента на валу электродвигателя механизма подачи.

Перемещение токоподводящего накопечника (соответственной и дуги) в свою очередь можно установить, исходя из геометрических соотношений по Рис.1 в следующем виде

$$\frac{OC}{OD} = \frac{e}{b}, \quad (5)$$

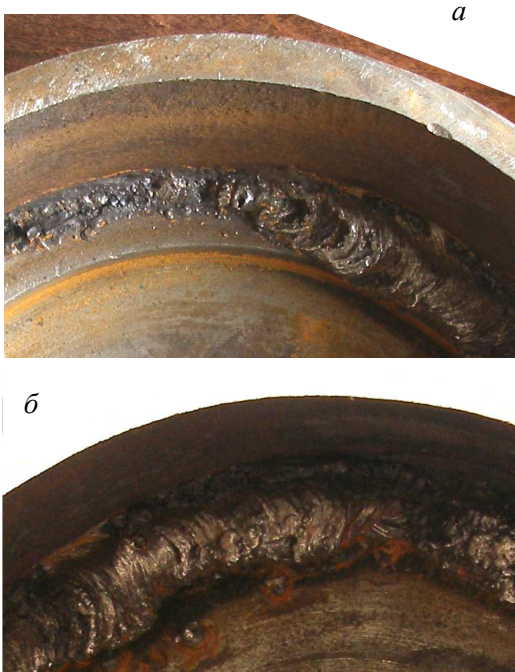
где  $OC$  и  $OD$  – размеры элементов рычага.

Учитывая, что  $OC \approx l_k$ , уравнение (4) можно записать следующим образом

$$P = \frac{3l_k b E J}{O D l_k^2} \pm P_{np} \quad (6)$$

На основании выражения (6) производится полный расчёт параметров роликов и рычага с горелкой с выбором размеров, минимизирующих элементы конструкции колебателя электродной проволоки и усилия на валу приводного электродвигателя.

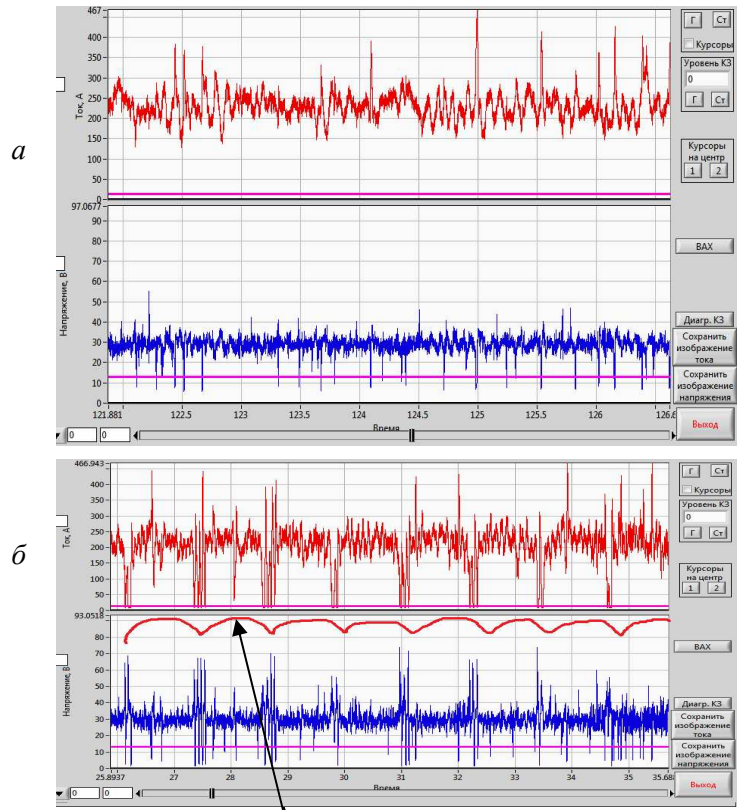
Разработана реальная конструкция колебателя электродной проволоки для сварки мокрым способом в ограниченных условиях. Подчеркнём, что колебатель в комплекте с механизмом подачи проволоки по габаритам вписывается в диаметр до 110 мм.



**Рис.2.** Сварка элементов конструкции:  
*a* – без колебаний; *б* – с колебаниями токоподводящего наконечника

Рассматриваемый механизм в составе автомата испытывался как в лабораторных условиях при сварке на имитируемой в барокамере глубине более 200 м и в процессе опытно-промышленной эксплуатации на глубинах до 230 м показал надежность работы и высокие технико-технологические показатели.

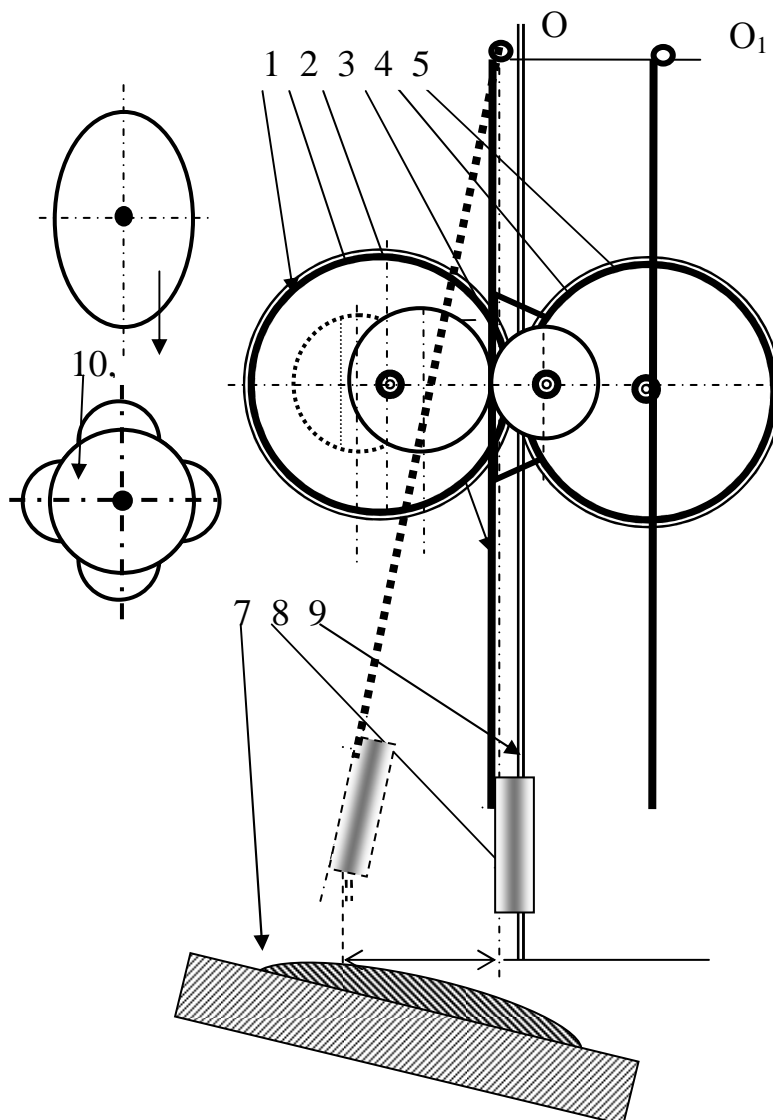
На Рис.2 представлены сравнительные результаты сварки с колебаниями и без колебаний токоподводящего наконечника при наличии зазора до 4 мм в водной среде при давлении более 200 Ати. Средние значения тока сварки  $I_{св} = 230A$ , напряжения сварки  $U_{св} = 29,3 В$ . Скорость сварки 6...7 м/ч. При сварке без колебаний токоподводящего наконечника, как это видно по Рис.3 имеются провалы сварочной ванны с последующим непроваром конструкции показаны сравнительные результаты сварки “в угол” в горизонтальной плоскости. Осциллографирование процесса сварки, результаты которого представлены на Рис.3, показывает, что процесс с колебаниями более стабилен с



**Рис.3.** Осциллограмма тока и напряжения процесса приварки доньшка: *a* – обычный процесс; *б* – с колебаниями токоподводящего наконечника

чёткими обозначениями периода колебаний (частота колебаний в пределах  $f = 1,2 Гц$ ). Следует заметить, что, при необходимости частота колебаний может быть увеличена без изменения параметров сварочного процесса и изменения кинематической схемы малогабаритного комплектного устройства. Увеличение частоты колебаний может быть достигнуто при применении колебателя с кинематической схемой, представленной на Рис.4, где в качестве возбудителя колебаний установлен эксцентрично (с вышеописанным эффектом) дополнительный ролик, при необходимости, с фигурной поверхностью обеспечивающий большое число видов колебаний от гармонических до колебаний с остановками и др.

Возможности такого механизма существенно шире, чем ранее рассмотренного, хотя его конструкция несколько сложнее. Методика расчёта такого механизма практически не отличается от вышеприведенной.



**Рис.4.** Вариант конструкции механизма подачи с колебателем от дополнительного ролика: 1- подающий ролик; 2 – ролик привода колебателя; 3 – рычаг колебателя; 4 – ролик колебателя; 5 – прижимной ролик; 6 – прижимной рычаг; 7 - изделие; 8 – сварочная горелка; 9 – электродная проволока; 10, 11 – варианты роликов возбуждателей колебаний

Можно полагать, что рассмотренная конструкция колебателя, совмещённого с элементами конструкции и кинематической схемой механизма подачи, может быть применена в других системах автоматизированного сварочного оборудования.

## ВЫВОДЫ

1. Подводная сварка мокрым способом получает всё более широкое распростране-

ния, что связано с расширением условий её применения, при этом совершенствование может быть осуществлено за счёт создания высокоэффективных автоматизированных систем для сварки плавящимся электродом.

2. Проблема автоматизации процесса сварки связана с решением задач сварки по широкому зазору, как следствию невозможности точно контролировать точное положение свариваемых в конструкцию элементов. Предложенное простое и эффективное технико-технологическое решение с

колебаниями сварочной горелки позволяет получить требуемое качество сварного соединения.

3. Предложенная конструкция колебателя на основе привода подачи электродной проволоки и методика его расчёта обеспечивают надёжную работу устройства при минимальных габаритных характеристиках.

**Ключевые слова:** автоматическая сварка, конструкция, мокрый способ, контроль, ограниченные возможности, зазор, горелка, колебания, провар.

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Evans N.H., 1974.** Welding in offshore constructions. Metal Construction and British J., Vol.5, 153-157.
2. **Зайнулин Д.И., Лебедев В.А., Максимов С.Ю., Пичак В.Г., 2013.** Уникальный комплекс оборудования для автоматической дуговой сварки на большой глубине в максимально ограниченных условиях. Сб. тезисов стендовых докладов Междунар. конф. Сварка и родственные технологии – настоящее и будущее (25-26.11.2013), 70-71.
3. **Максимов С.Ю., Лебедев В.А., Лендел И.В., 2015.** Герметизация труб теплообменников «мокрой» сваркой на глубине 200 м. Вопросы материаловедения, Вып.01, 199-204.
4. **Кононенко В.Я., Рыбченков А.Г., 1994.** Опыт мокрой механизированной сварки самозащитными порошковыми проволоками при ремонте под водой газо- и нефтепроводов. Автоматическая сварка, Вып.09-10, 29-32.
5. **С.Ю. Максимов, В.А. Лебедев, 2012.** Новое поколение оборудования для мокрой подводной автоматической сварки. Доклады Санкт-Петербургской междунар. науч.-техн. конф. (16-18.10.2012). С.-Пб, 270-278.
6. **V.A.Lebedev, S.YU. Maksimov, 2011.** New Equipment for Underwater Mechanized and Automatic Flux-Cored Wire Welding and Cutting .International Congress on Advances in Welding Science and Technology for Construction, Energy and ansportation Systems AWST–2011. (24-25.10.2011), Antalya, Turkey, 139-142.
7. **Лебедев В.А., Плющ Д.В., 2013.** Обеспечение технологической надёжности сварочного оборудования. Заготовительные производства в машиностроении, Вып.7, 11-14.
8. **Волченко В.Н., Ямпольский В.М., Винокуров В.А. и др., 1988.** Теория сварочных процессов. Под ред. Фролова В.В. Москва, Высшая школа, 223.
9. **Данилов А.И., Гартманова А.И., Колосова Н.А., 1980.** Условие сплошности наплавки при движении источника нагрева по синусоидальному закону. Сварочное производство, Вып.02, 26.
10. **Соппротивление материалов, 2003.** А.В. Александров, В.Д. Потапов, Б.П. Державин. Москва, Высш. школа, 550.