

Шиляев А. В., Бахматов П. В.
A. V. Shilyaev, P. V. Bakhmatov

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕРАЗЪЁМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ТАКТИЧЕСКИМ ПРИЁМОМ АРГОНОДУГОВОЙ СВАРКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСЧЁТНЫХ ДАННЫХ

STUDY OF PERMANENT JOINTS PRODUCED BY TACTICAL ARGON-ARC WELDING USING COMPUTATIONAL DATA

Шиляев Алексей Вячеславович – студент Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: mim@knastu.ru.

Aleksey V. Shilyaev – Student, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: mim@knastu.ru.

Бахматов Павел Вячеславович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технологии сварочного и металлургического производства им. В. И. Муравьева» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); тел. 8(914)160-76-54. E-mail: mim@knastu.ru.

Pavel V. Bakhmatov – PhD in Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Technologies of Welding and Metallurgical Production named after V. I. Muravyev, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); tel. 8(914)160-76-54. E-mail: mim@knastu.ru.

Аннотация. В работе представлены методика и результаты практического использования расчёта параметров для осуществления тактических приёмов аргонодуговой сварки. Показаны образцы, полученные путём расчёта угла наклона горелки с изменением диаметра сопла и увеличением силы сварочного тока. Технологическая особенность данного приёма показывает упрощение в выборе нужных параметров при сварке, т. к. в современном исполнении отсутствует точное описание выполнения швов аргонодуговой сварки с использованием расчётных параметров получения нужного пространственного положения горелки при сварке, таких как дуговой зазор, вылет электрода, угол наклона горелки, диаметр сопла, сила сварочного тока и напряжение на дуге.

Summary. The paper presents the results of the practical use of parameter calculations for the implementation of tactical techniques for argon arc welding. The obtained samples are shown by calculating the angle of inclination of the torch with changing the diameter of the nozzle, and increasing the strength of the welding current. The technological feature of this technique shows simplification in the selection of the necessary parameters when welding, since in the modern version there is no precise description of the execution of argon arc welding seams, using calculated parameters for obtaining the desired spatial position of the torch during welding, such as arc gap, electrode stickout, torch inclination angle, nozzle diameter, welding current and arc voltage.

Ключевые слова: аргонодуговая сварка, сварные соединения, режимы сварки, расчётная схема, калькулятор тактических параметров.

Key words: argon arc welding, welded joints, welding modes, design diagram, tactical parameters calculator.

Научно-исследовательские работы выполнены за счёт средств ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» (НИР № ВН001/2023 «Разработка алгоритма и исследование процесса программируемого управления формированием сварочного/наплавочного валика (в том числе и в применении аддитивных технологий) на установке автоматической сварки в защитных газах»).

УДК 621.791

Введение. Аргонодуговая TIG сварка в современном исполнении является одним из основных видов сварки труб из цветных сплавов и нержавеющей сталей. Основным преимуществом изготовления сварных конструкций аргонодуговой сваркой становится возможность получить каче-

ственное сварное соединение с использованием современных присадочных материалов. В практике получения сварных соединений различных сталей и сплавов ручной аргонодуговой сваркой неплавящимся вольфрамовым электродом всё чаще применима технология обкатки (опирания) керамическим соплом горелки свариваемой поверхности, получившая название «бабочка» или «американка» (см. рис. 1).

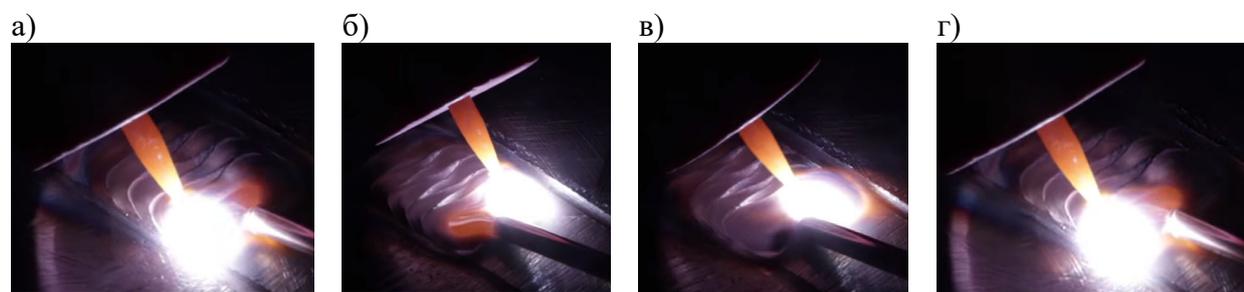


Рис. 1. Движения керамического сопла и дуги по технике «бабочка»:
а – крайнее правое положение; б – крайнее левое положение; в – возврат в крайнее правое положение; г – повторное крайнее правое положение

Эта техника проста за счёт упора горелки на деталь, позволяет поддерживать стабильные значения дугового зазора, тем самым облегчает монотонную работу сварщика, при этом сварщик манипулирует горелкой, делая движения, напоминающие восьмёрку (см. рис. 2), а движение горелки с постоянной амплитудой гарантирует равномерность геометрических параметров сварного шва (см. рис. 3). Тем не менее ни в справочной, ни в какой-то другой нормативно-технической литературе не задаются такие параметры, как вылет электрода, дуговой зазор, а, как видно из расчётной схемы (см. рис. 4), они взаимозависимые. Например, выбор меньшего радиуса керамического сопла потребует меньшего вылета электрода при сохранении угла наклона горелки.

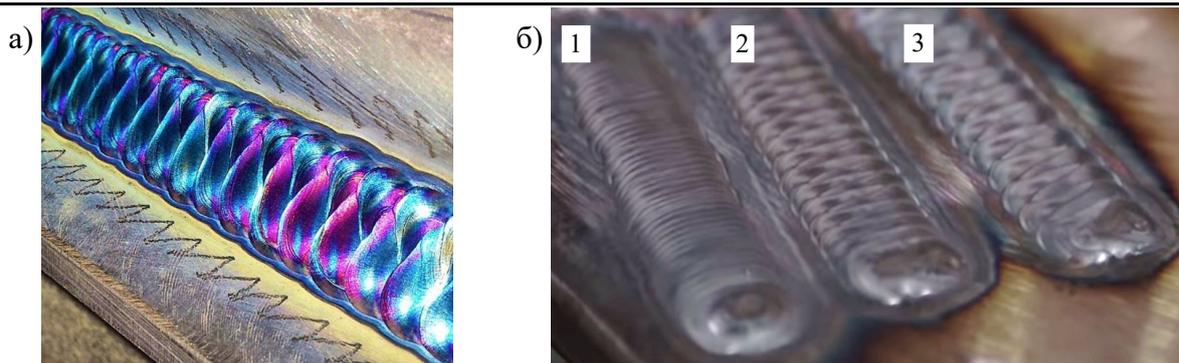


Рис. 2. Манипуляция положением горелки: а – крайнее левое; б – среднее; в – крайнее правое

На рис. 3, а видны характерные следы, расположенные в зоне термического влияния, рядом со швом, оставляемые керамическим соплом. Размер чешуйки зависит от скорости манипулирования горелкой: при медленной скорости чашуйки крупнее, при весьма быстром перемещении – мельче (см. рис. 3, б).

Методология экспериментального исследования. Ручная аргонодуговая сварка неплавящимся электродом без присадочного материала производилась сварочным аппаратом Kemppi MLS 320, радиус сопла (номер) 8 и 10 мм, диапазон сварочного тока 100 и 120 А, газовая линза, вольфрамовый электрод диаметром 2,4 мм. Расход газа – 5 л/мин. Основной металл: конструкционная низколегированная сталь обыкновенного качества Ст3пс.

Визуально-измерительный контроль производился набором ВИК по ГОСТ Р ИСО 17637-2014 с использованием измерительной лупы 10-кратного увеличения ЛИ-10.

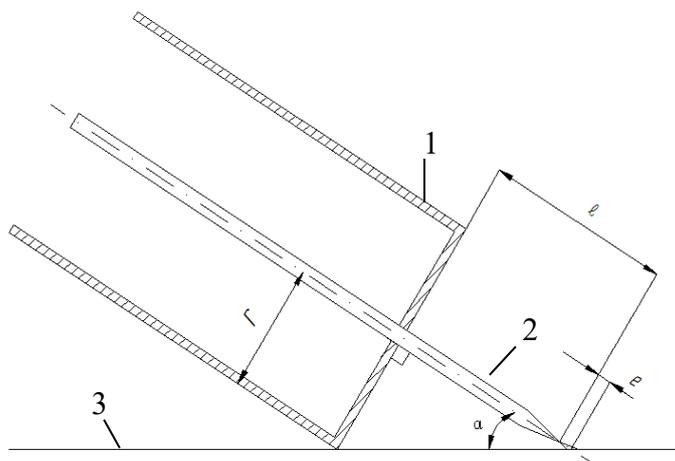


1 – большая скорость; 2 – средняя скорость; 3 – низкая скорость

Рис. 3. Сварной шов, полученный методом «бабочка» (а)
на различных скоростях манипулирования (б)

Для поверхностного травления использовался реактив Гейна, содержащий на 1000 мл воды 53 г хлористого аммония NH_4Cl и 85 г хлорной меди CuCl_2 . При погружении макрошлифа в реактив на 30...60 с происходит обменная реакция: железо вытесняет медь из водного раствора, и она оседает на поверхности шлифа на участках, недостаточно защищённых медью (поры, трещины, неметаллические включения), происходит травление. Затем макрошлиф вынимают, слой осевшей меди снимают тампоном под струёй воды и протирают макрошлиф досуха, чтобы предохранить его от быстрого окисления на воздухе. Этот реактив хорошо выявляет характер ликвации (особенно фосфора и углерода), волокнистую структуру деформированной низко- и среднеуглеродистой стали, а также сравнительно крупную пористость, например в сварных соединениях. Участки, обогащённые фосфором и углеродом, окрашиваются на макрошлифах в более тёмный цвет. Однако реактивы поверхностного травления не могут заменить реактива глубокого травления при выявлении флокенов, а также трещин и пор, не выходящих непосредственно на поверхность металла.

Результаты экспериментальных исследований и их обсуждение. Расчётная схема для определения величин тактических параметров аргонодуговой сварки неплавящимся электродом приведена на рис. 4. Учитывая, что керамическое сопло 1 постоянно опирается на поверхность свариваемой детали 3, а угол между вольфрамовым электродом 2 и выходной плоскостью сопла прямой, для расчёта тактических параметров следует принять схему прямоугольного треугольника за расчётную (см. рис. 4), где r – диаметр сопла, α – угол наклона горелки, ℓ – вылет вольфрамового электрода, e – дуговой зазор.



1 – керамическое сопло горелки; 2 – вольфрамовый электрод; 3 – поверхность детали

Рис. 4. Расчётная схема для определения величин тактических параметров
аргонодуговой сварки неплавящимся электродом

При расчёте вылета электрода значения угла наклона сварочной горелки α измеряются в радианах, полученные значения переведены в $\text{tg}(\alpha)$ с получением формулы

$$l = r/(\text{tg}(\alpha) - e).$$

Влияние вылета вольфрамового электрода изменяет угол наклона горелки, следовательно, ширину сварочной ванны, ширину колебательного движения, чешуйчатость шва, глубину проплавления, надёжность газовой защиты. Так, при уменьшении вылета электрода увеличивается угол наклона горелки, сварочная ванна приобретает концентрические очертания, минимизируется в диаметре, увеличивается глубина проплавления, улучшается газовая защита, что видно по соломенному цвету следов побежалости на поверхности сформированного валика. Увеличение вылета электрода уменьшает угол наклона, вытягивает сварочную ванну в направлении сварки, что минимизирует величину диапазона колебательного движения, снижает глубину проплавления, ухудшает газовую защиту (цвета побежалости от синего до фиолетового свидетельствуют о перегреве металла шва) [2].

Расчёт данных параметров для получения неразъёмных соединений позволит получить равномерную защиту сварочной ванны инертным газом, избежать наружных и внутренних дефектов, в том числе вольфрамовых включений, возникающих при касании электродом сварочной ванны [3].

Для упрощения вычислений разработан калькулятор расчёта тактических параметров при сварке, учитывающий угол наклона горелки, вылет электрода, размер газового сопла, а также дуговой зазор при сварке (см. рис. 5).

Для получения расчёта принято постоянное положение горелки 45° , дуговой зазор 2 мм, радиус рабочего сопла для корневого, заполняющего и облицовочного прохода. В ходе вычисления получаем размер вылета электрода при сварке (см. рис. 5) [2].

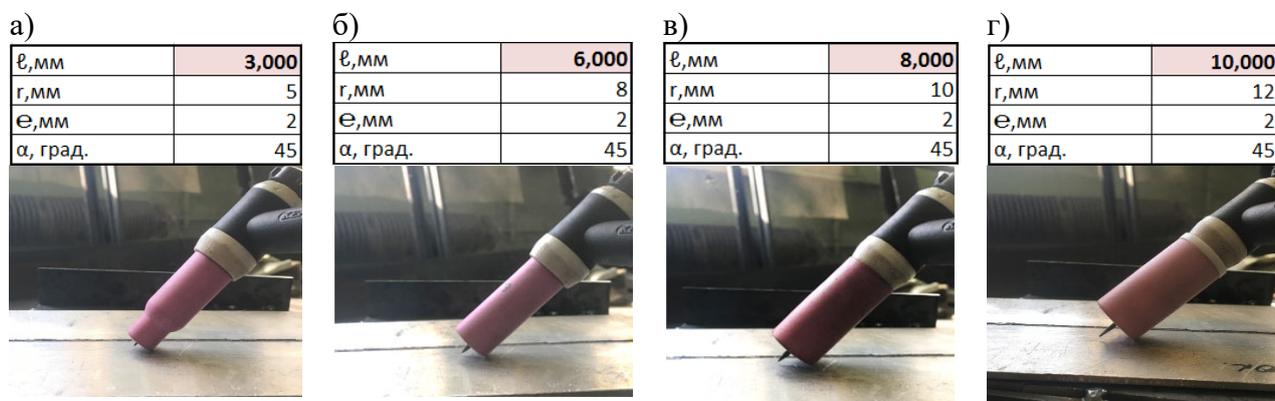


Рис. 5. Калькулятор расчёта тактических параметров и его практическое применение для многопроходного шва

На рис. 5 показана удовлетворительная сходимость параметров калькуляции с параметрами, полученными на практике: при сохранении угла наклона горелки и изменении радиуса сопла (требуется при многопроходной сварке) рассчитывается вылет электрода.

При выполнении сварных соединений ручной аргонодуговой TIG сваркой существуют рекомендованные параметры вылета электрода, что затрудняет получение правильного положения сварочной горелки при сварке по технике «бабочка». В ходе получения неразъёмных соединений (см. рис. 6) выполнено четыре сварных шва с использованием сопла диаметром 8 и 10 мм, сварочный ток устанавливался 100 и 120 А соответственно. При выполнении сварки всех образцов неизменным параметром принята ширина шва – 10 мм, с этой целью на образцах нанесены продольные риски для ориентировки сварщика при выполнении манипуляций горелкой.



Рис. 6. Образцы сварных соединений

В табл. 1 показаны образцы, полученные в ходе реализации эксперимента путём установления параметров исходя из калькуляции расчётов. При изменении параметров наблюдается увеличение глубины проплавления при выполнении тактического приёма. Скорость перемещения электрода вдоль сварного шва влияет на то, сколько времени есть у энергии дуги на то, чтобы проникнуть в основной материал в каждой отдельно взятой точке шва. По мере увеличения скорости сварки время нахождения дуги в отдельной точке шва снижается, из-за чего снижается глубина проплавления. По мере снижения скорости сварки время нахождения дуги в отдельной точке шва увеличивается, а глубина проплавления становится больше. Напряжение дуги, напротив, не оказывает практически никакого влияния на глубину проплавления. Хотя изменения напряжения могут вызвать минимальные изменения глубины проплавления, его влияние по сравнению с силой тока и другими переменными весьма ограничено. Напряжение дуги оказывает большее влияние на её длину.

Таблица 1

Влияние тактических параметров сварки на геометрические параметры сварных швов

Но- мер об- разца	Сварной образец	Тактические параметры сварки							Геометрические параметры шва	
		Наруж- ный ра- диус соп- ла (номер сопла), мм	Сва- роч- ный ток, А	Вы- лет элек- тро- да, мм	Угол накло- на элек- трода, град	Ду- говой зазор, мм	Ско- рость свар- ки, мм/ч	Напря- жение на ду- ге, В	Шири- на, мм	Глуби- на про- про- плав- ления, мм
1		8	100	10	45	2	11	19	10	1,9
2		8	120	10			10	20	10	2,0
3		10	100	12			11	19	10	2,3
4		10	120	12			10	20	10	2,9

При равных значениях ширины шва в процессе сварки, угла наклона горелки, дугового зазора с изменением параметров сварочного тока, радиуса сопла, вылета электрода было установлено изменение глубины проплавления на 52 % (см. рис. 7). С повышением значений сварочного тока скорость сварки увеличилась, соответственно, увеличилась амплитуда колебательного движения, при этом сопротивление на участке цепи уменьшилось, что привело к стабильности горения дуги на протяжении всего процесса.

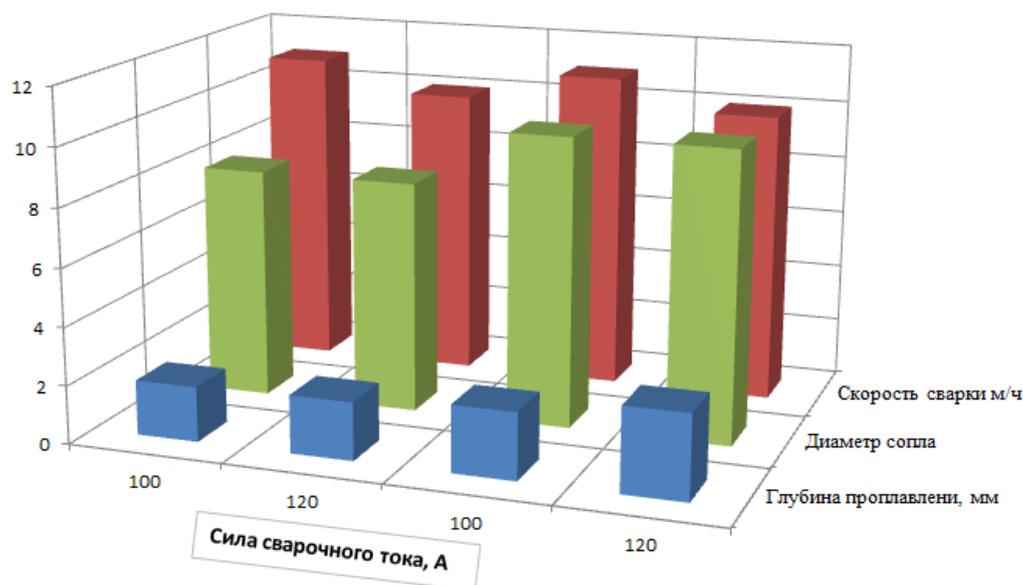


Рис. 7. Зависимость расчётных параметров и данных, полученных экспериментальным способом

Выводы. В ходе экспериментального выполнения образцов согласно расчётной схеме определения величин тактических параметров аргонодуговой сварки неплавящимся электродом получены значения, которые показывают, что изменение параметров силы сварочного тока, напряжения, радиуса сопла, вылета электрода, скорости сварки и принятых параметров положения угла наклона электрода, дугового зазора положительно сказывается на увеличении глубины проплавления. Показано, что с увеличением глубины проплавления повышаются прочностные характеристики сварного соединения, которые приведут к качественному сплавлению свариваемых кромок нужных параметров согласно требованиям нормативно-технической документации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шияев, А. В. Тактические приёмы выполнения швов аргонодуговой сварки / А. В. Шияев, П. В. Бахматов // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению: материалы II Международной научно-практической конференции молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 14-18 ноября 2022 года / редкол.: А. В. Космынин (отв. ред.) [и др.]. Ч. 2. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2022. – С. 188-192.
2. Бахматов, П. В. Исследование влияния техники манипулирования рабочим торцом электрода при TIG сварке на качество формирования шва / П. В. Бахматов, А. В. Фролов, А. С. Кравченко // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2021. – № III (51). – С. 90-94.
3. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / под ред. Б. Е. Патона. – М.: Машиностроение, 1974. – 768 с.
4. Технология и оборудование сварки плавлением / под ред. Г. Д. Никифорова. – М.: Машиностроение, 1986. – 320 с.
5. Mikami, H. Rapports sur le comportement des electrodes de tungstene en soudage. TIG / H. Mikami, M. Suzuki, R. Ishii // Soudage et techn. Connexes. – 1966. – № 7-8. – P. 333-336.
6. Goodman, I. S. New gas tungsten – arc welding electrodes / I. S. Goodman, H. J. Ehringer, R. L. Hackman // Welding Journal. – 1963. – № 7. – P. 567-569.
7. Справочник по сварке. В 2 т. Т. 2 / под ред. Е. В. Соколова. – М.: Машгиз, 1961. – 664 с.