

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА РАЗМЕРОВ СОПЕЛ ПРИ СВАРКЕ С ДВУМЯ РАЗДЕЛЬНЫМИ СТРУЯМИ ГАЗА

**В. М. БЕЛОКОНЬ**, канд. техн. наук, **А. О. КОРОТЕЕВ**, инж.  
(ГУВПО «Белорусско-Российский университет», г. Могилев, Республика Беларусь)

Показаны преимущества процесса сварки без коротких замыканий с двойной газовой защитой зоны горения дуги. Дуга защищается аргоном, а сварочная ванна углекислым газом, подаваемыми с помощью двух, концентрично расположенных сопел. Проведен расчет радиуса сварочной дуги в ее наибольшем сечении. Расчет длины сварочной ванны позволяет определить диаметр сопла для подачи углекислого газа. Применение повышенных режимов сварки требует увеличения диаметра сопел, рассчитать которые можно по аналогичной методике.

*Ключевые слова:* дуговая сварка, плавящийся электрод, защитные газы, отдельные струи, размер сопел, методика расчета

Сварка в защитных газах находит широкое применение при производстве разнообразных конструкций. При этом предпочтение часто отдается сварке в среде углекислого газа или его смеси с кислородом, аргоном и пр. Перспективным способом представляется сварка без коротких замыканий с двойной газовой защитой: сварочная дуга защищается аргоном, а металл шва — углекислым газом. Способ позволяет существенно снизить потери на разбрызгивание электродного металла, затраты труда на зачистку околошовной зоны от брызг, затраты на защитный газ [1–4].

Многими отечественными и зарубежными исследователями опытным путем определены основные параметры каждой из струй защитного газа и даны рекомендации по выбору размеров сопел сварочных горелок [5 и др].

Целью настоящей работы является разработка методики расчета и определения размеров сопел (для аргона и углекислого газа) при сварке в двух радиальных струях защитных газов на обратной полярности тока.

Сварка плавящимся электродом в качестве источника энергии использует электрическую дугу, состоящую из трех областей: анодной, катодной и столба. Анодная и катодная области имеют малые размеры. При сварке в аргоне анодное пятно может занимать всю торцевую поверхность электрода и переходить на его боковую поверхность. При этом перенос электродного металла осуществляется в виде мелких капель или струи, что благоприятно влияет на процесс переноса электродного металла, снижая разбрызгивание и набрызгивание.

При сварке в двух концентричных газовых потоках обеспечить процесс сварки, связанный с по-

ложительным эффектом горения дуги в аргоне, можно при защите аргоном катодной и анодной областей, а также столба дуги.

При ряде допущений, учитывая, что сварочная дуга горит в парах железа (при сварке сталей), разумной идеализацией, достаточно близкой к практике и не нарушающей основных физических представлений, является приведение столба дуги к однородному каналу, в пределах которого температура и ток распределены равномерно. Принятая схема известна как «канальная» модель столба дуги и приведена на рис. 1 [6, 7]. Согласно этой модели средняя плотность тока в дуге распределяется по сечению с эффективным радиусом  $r_{эф}$ .

Средняя плотность тока в соответствии с «канальной» моделью определяется по формуле

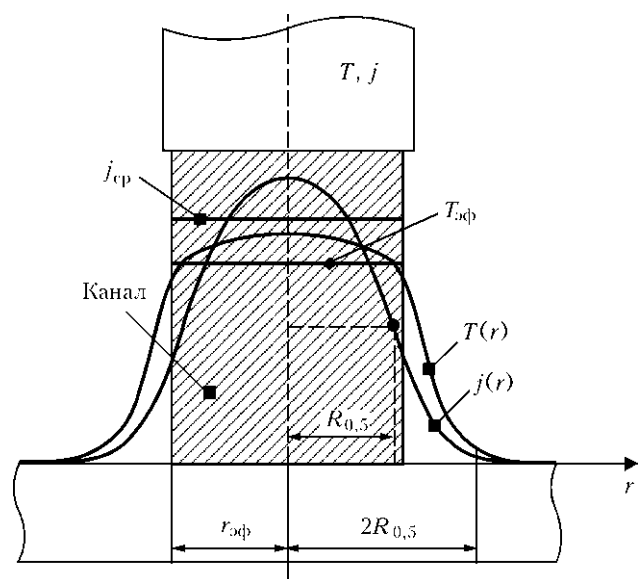


Рис. 1. Схема «канальной» модели столба дуги:  $r_{эф}$  — эффективный радиус дуги;  $j_{ср}$  — средняя плотность тока дуги;  $T$  — средняя эффективная температура дуги;  $R_{0,5}$  — условный радиус столба дуги

$$j_{\text{ср}} = 5,5 \cdot 10^{-8} \frac{U_i^{38/12} a^{2/3}}{g_e^{2/3} I_d^{1/3}}, \quad (1)$$

где  $U_i$  — потенциал ионизации паров металла, равный 7,87 В;  $a$  — отношение статических весов ионов и атомов паров железа ( $a^2 = 12/5$ );  $g_e$  — сечение столкновения атомов с электронами при сварке в аргоне, равное  $35 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2$ ;  $I_d$  — ток сварочной дуги, А.

Эффективный радиус столба дуги

$$r_{\text{эф}} = \frac{\sqrt{I_d}}{\pi j_{\text{ср}}} = \frac{2,4 \cdot 10^3 I_d^{2/3} g_e^{1/3}}{U^{19/12} a^{1/3}}. \quad (2)$$

Весь ток дуги согласно «каналовой» модели протекает по сечению с радиусом  $R$ , определяемым по формуле

$$R = 2R_{0,5}, \quad (3)$$

где  $R_{0,5}$  — условный радиус дуги, который связан с эффективным радиусом соотношением

$$r_{\text{эф}} = 1,4R_{0,5}. \quad (4)$$

Решая совместно выражения (2)...(4), получаем

$$R = \frac{3,4 \cdot 10^3 I_d^{2/3} g_e^{1/3}}{U^{19/12} a^{1/3}}. \quad (5)$$

Результаты расчета эффективного и действительного радиуса столба дуги в зависимости от силы сварочного тока, представленные на рис. 2, показывают, что для полной защиты сварочной дуги аргоном от окружающей среды на нормальных режимах сварки (до 450 А) достаточно иметь внутреннее сопло, подающее струю аргона диаметром около 9 мм ( $R = 4,5$  мм). Для режимов сварки ( $\geq 450$  А) необходимо увеличить диаметр сопла.

Очевидно, что защиты только сварочной дуги для получения качественного сварного шва не-

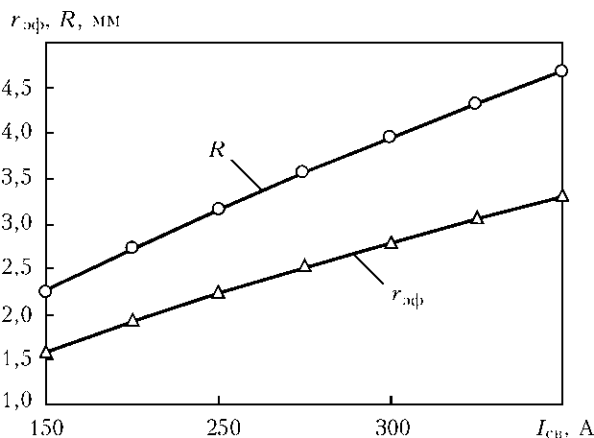


Рис. 2. Зависимость эффективного  $r_{\text{эф}}$  и действительного  $R$  радиусов столба дуги в зависимости от силы сварочного тока

достаточно. Необходимо обеспечить защиту поверхности расплавленного металла сварочной ванны от взаимодействия с атмосферой.

Сварочная ванна состоит из характерных зон. Центральная зона включает головную часть сварочной ванны и часть хвостовой. Поперечное сечение центральной активной зоны, по некоторым источникам, совпадает с шириной шва [8]. В действительности она несколько меньше.

Ширину шва можно определить по следующей формуле [9, 10]:

$$b = 2 \sqrt{\frac{2q}{\pi e \gamma v_{\text{св}} T}}, \quad (6)$$

где  $q$  — эффективная тепловая мощность дуги, равная  $\eta I_d U_d$ ;  $U_d$  — напряжение на дуге, В;  $\eta$  — КПД, равный 0,8;  $e \gamma$  — объемная теплоемкость, равная 4,8 Дж/(см<sup>3</sup>·К);  $v_{\text{св}}$  — скорость сварки, м/ч;  $T$  — температура плавления стали, К.

Формулу (6) также можно использовать для расчета поперечного размера активной зоны сварочной ванны. Для этого в этой формуле следует принять температуру, равную температуре испарения металла. Результаты расчетов показывают, что размер активной зоны практически совпадает с действительным размером сечения столба дуги, рассчитанным по формуле (5), через которое проходит весь ток дуги. Отклонение составляет не более 5...10 %. Результаты расчета ширины шва и поперечного размера активной зоны сварочной ванны представлены в табл. 1 и 2.

Длина сварочной ванны определяется по формуле [10]

Таблица 1. Ширина шва и активной зоны при сварке проволокой диаметром 1,2 мм

Сварочный ток, А	Напряжение на дуге, В	Ширина шва, мм	Ширина активной зоны, мм	Размер активной зоны $2R$ по формуле (5), мм
250	27	7,33	5,62	6,3
300	30	8,47	6,49	7,12
350	35	9,88	7,57	7,89
400	38	11,01	8,43	8,63

Таблица 2. Ширина шва и активной зоны при сварке проволокой диаметром 1,6 мм

Сварочный ток, А	Напряжение на дуге, В	Ширина шва, мм	Ширина активной зоны, мм	Размер активной зоны $2R$ по формуле (5), мм
250	28	7,46	5,72	6,3
300	31	8,6	6,59	7,12
350	33	9,6	7,35	7,89
400	35	10,55	8,1	8,63
450	37	11,51	8,83	9,33

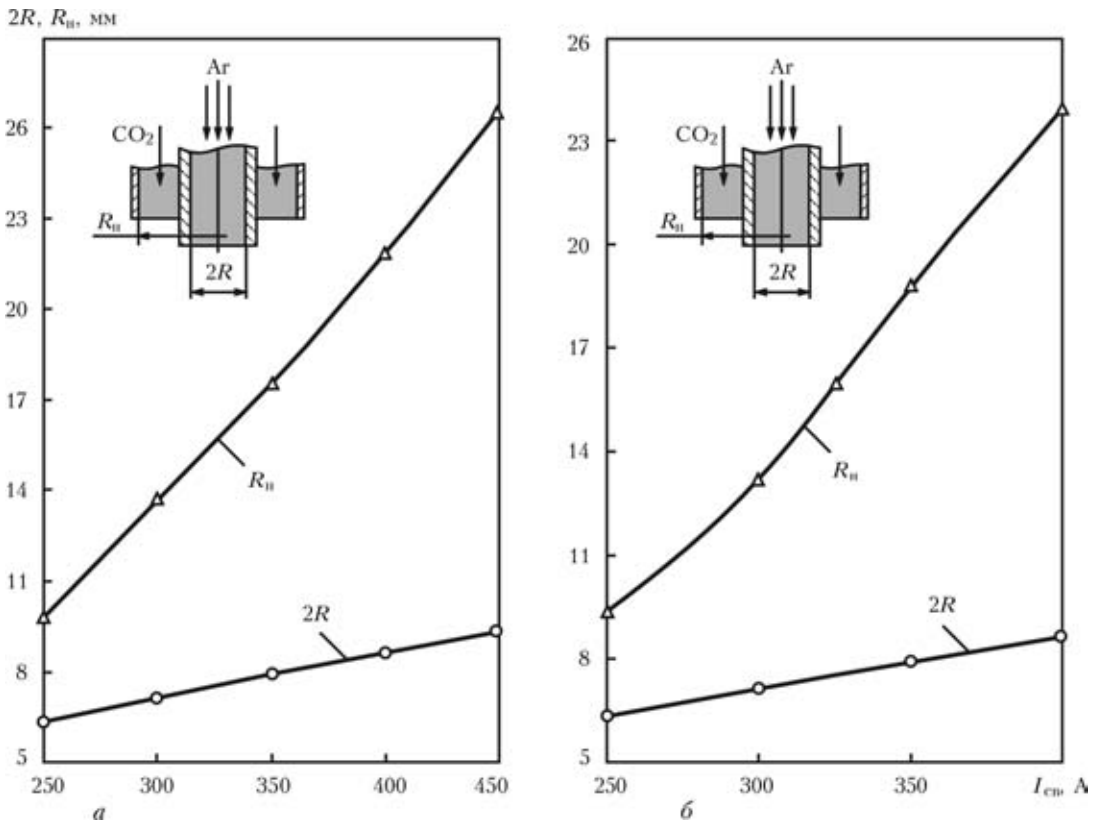


Рис. 3. Зависимость размеров сопел горелки от сварочного тока при сварке проволокой диаметром 1,2 (а) и 1,6 мм (б)

$$L = \frac{q}{2\pi\lambda T} \quad (7)$$

где  $\lambda$  — коэффициент теплопроводности стали, равный 47 Вт/(м·К).

Радиус наружного сопла для подачи углекислого газа с учетом защиты поверхности сварочной ванны от взаимодействия с атмосферой может быть рассчитан по следующей формуле:

$$R_n = L - b/2. \quad (8)$$

Результаты расчетов сведены в табл. 3 и 4.

Расчеты по формулам показывают, что для дуг со сварочным током до 350 А и проволоками диаметрами 1,2 и 1,6 мм достаточно применить сопло радиусом 20 мм. В случае сварки на больших токах радиус сопла для наружной струи газа должен быть больше. С целью экономии защитного газа при повышенных токах наружное сопло может быть выполнено в виде эллипса, поперечный размер которого равен ширине ванны, а продольный — длине.

Предложена следующая последовательность расчета сопел сварочных горелок: расчет средней плотности тока в столбе дуги; определение эффективного и действительного радиусов сварочной дуги и с использованием значений этих параметров определение диаметра сопла для подачи аргона (рис. 2) и размеров сварочной ванны, а с учетом размеров активной зоны определение ди-

Таблица 3. Результаты расчетов длины сварочной ванны и радиуса наружного сопла при сварке проволокой диаметром 1,2 мм

Сварочный ток, А	Напряжение на дуге, В	Длина сварочной ванны, мм	Радиус наружного сопла по формуле (8), мм
250	27	13,07	9,4
300	30	17,43	13,2
350	35	23,73	18,79
400	38	29,44	23,94

Таблица 4. Результаты расчетов длины сварочной ванны и радиуса наружного сопла при сварке проволокой диаметром 1,6 мм

Сварочный ток, А	Напряжение на дуге, В	Длина сварочной ванны, мм	Радиус наружного сопла по формуле (8), мм
250	28	13,56	9,82
300	31	18,01	13,71
350	33	22,37	17,58
400	35	27,12	21,84
450	37	32,25	26,5

аметра наружного сопла для подачи углекислого газа (рис. 3). Учитывая растекание потока защитного газа при сварке плоских соединений возможно уменьшение диаметра наружного сопла [11].



Графики, представленные на рис. 3, облегчают процесс практической реализации предложенной методики.

Проведенный анализ и расчеты позволили выявить возможность определения оптимального соотношения защитных газов, которое должно составлять 1:4, т. е. 20 % аргона и 80 % CO<sub>2</sub> от необходимого общего расхода.

Элементарные технико-экономические расчеты показывают, что сварка в двух отдельных струях газа может быть применена не только для специальных материалов, но и для низколегированных, а также малоуглеродистых сталей. Только экономия электродного металла при этом составит 20...95 кг на 1 т проволоки, что характерно для сварки в чистом аргоне без коротких замыканий, перекрывает незначительное увеличение затрат на защитный газ по сравнению со сваркой в углекислом газе, двойных и тройных смесях. Расход аргона по сравнению со сваркой в чистом аргоне сокращается в пять раз.

#### Выводы

1. Предложена последовательность и методика расчета размеров сопел сварочных горелок при сварке в двух отдельных струях защитного газа. Оптимальное соотношение аргона и углекислоты в общем расходе защитного газа составляет 1:4, т. е. 20 % аргона и 80 % CO<sub>2</sub>.

2. Проведен расчет размеров сопел для подачи аргона на основе «канальной» модели дуги, а

расчет размеров сопел для подачи углекислого газа осуществлен с учетом размеров сварочной ванны. Установлено, что для сварки на нормальных режимах (до 450 А) достаточно иметь внутреннее сопло, подающее струю аргона диаметром около 9 мм.

1. *Сварка малоуглеродистых сталей плавящимся электродом при комбинированной защите* / В. С. Лаевский, Н. Г. Дюргеров, В. А. Ленивкин и др. // Свароч. пр-во. — 1969. — № 10. — С. 21–22.
2. *Потаповский А. Г.* Сварка в защитных газах плавящимся электродом. — М.: Машиностроение, 1973. — 240 с.
3. *Патон Б. Е.* Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. Б. Е. Патона. — М.: Машиностроение, 1974. — 768 с.
4. *Сварка и резка в промышленном строительстве: В 2-х т. Т. I* / Б. Д. Малышев, А. И. Акулов, Е. К. Алексеев и др. / Под ред. Б. Д. Малышева. — М.: Стройиздат, 1989. — 590 с.
5. *Применение двухструйных сопловых устройств для сварки в среде защитных газов* / В. Т. Федько, С. С. Киянов, В. С. Шматченко, С. Б. Сапожков // Автоматизация и современные технологии. — 2003. — № 3. — С. 12–18.
6. *Лесков Г. И.* Электрическая сварочная дуга. — М.: Машиностроение, 1971. — 335 с.
7. *Павлюк С. К., Белоконов В. М.* Об устойчивости процесса зажигания дуги при сварке плавящимся электродом // Свароч. пр-во. — 1974. — № 4. — С. 51–53.
8. *Ерохин А. А.* Основы сварки плавлением. — М.: Машиностроение, 1973. — 448 с.
9. *Акулов А. И., Бельчук Г. А., Демянцева В. П.* Технология и оборудование сварки плавлением. — М.: Машиностроение, 1977. — 432 с.
10. *Петров Г. А., Тумарев А. С.* Теория сварочных процессов. — М.: Высш. шк., 1967. — 508 с.
11. *Поправка Д. Л., Хворостов Н. Е., Проскурин В. Н.* Некоторые закономерности истечения струи защитного газа // Свароч. пр-во. — 1973. — № 6. — С. 33–36.

Advantages of the process of welding without short-circuiting with double gas shielding of the arcing zone are shown. The arc is shielded by argon, and the weld pool — by carbon dioxide gas, fed through two concentrically located nozzles. Calculation of weld pool radius in its largest cross-section was performed. Calculation of weld pool length allows determination of the diameter of nozzle for carbon dioxide gas feed. Application of higher welding parameters requires increasing the diameter of nozzles, which can be calculated by a similar procedure.

Поступила в редакцию 06.08.2012

## Специализированные выставки

19–23 марта 2013

г. УФА

ПРОМЭКСПО – 2013

СТАНКИ И ИНСТРУМЕНТ

НАСОСЫ И КОМПРЕССОРЫ

Инновационно-промышленный салон: [www.bvkexpo.ru](http://www.bvkexpo.ru)

Башкирская выставочная компания: тел./факс: (347) 253 11 01, 253 38 00,  
253 09 88, E-mail: [promexpo@bvkexpo.ru](mailto:promexpo@bvkexpo.ru)