

МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.791.763.1

В. М. Белоконь, А. О. Коротеев

О СВАРКЕ В ДВУХ СТРУЯХ ЗАЩИТНОГО ГАЗА

UDC 621.791.763.1

V. M. Belokon, A. O. Koroteyev

ON WELDING IN TWO SHIELDING GAS FLOWS

Аннотация

Сварка без коротких замыканий с двойной газовой защитой зоны сварки имеет преимущество перед сваркой в среде углекислого газа. Дуга защищается аргонем, а сварочная ванна углекислым газом, подаваемыми с помощью двух концентрично расположенных сопел. Проведён расчёт радиуса сварочной дуги в её наибольшем сечении. На основании этого расчёта предлагается выбирать диаметр внутреннего сопла для подачи аргона. Для наиболее распространенных режимов сварки рекомендуется применять внутреннее сопло диаметром 9 мм. Расчёт длины сварочной ванны позволяет определить диаметр сопла для подачи углекислого газа. Применение повышенных режимов сварки требует повышения диаметра сопел, рассчитать которые можно по аналогичной методике.

Ключевые слова:

зона сварки, дуга, сопло, сварочная ванна, защитные газы, активные газы, инертные газы, смеси газов.

Abstract

The paper shows the advantages of arc welding without short circuits with a dual gas shield to protect the welding zone. The electric arc is protected by argon, and the weld pool is protected by carbon dioxide, fed through two concentrically arranged nozzles. The radius of the arc in its largest section was calculated. It is suggested to select the diameter of the inner nozzle for argon feeding based on this calculation. The inner nozzle diameter of 9 mm is recommended for the most common welding conditions. The calculation of the weld pool length allows determining the diameter of the nozzle for feeding carbon dioxide. Higher currents require increased nozzle diameters, which can be calculated by using this technique.

Key words:

welding zone, arc, nozzle, weld pool, shielding gases, active gases, inert gases, mixture of gases.

Производство сварных конструкций в большинстве случаев связано с применением сварки плавящимся электродом в защитных газах. В качестве защитных газов применяются активные газы (углекислый газ, кислород, водород, азот), инертные газы (аргон, гелий), двойные смеси ($\text{Ar} + \text{CO}_2$, $\text{Ar} + \text{O}_2$, $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ и др.) и тройные смеси.

В настоящее время наиболее рас-

пространенным способом с точки зрения защиты сварочной дуги при механизированной сварке является сварка в среде углекислого газа. Однако при таком способе защиты сварочной ванны и зоны горения дуги имеется ряд недостатков. Наиболее существенными из них являются потери электродного металла на разбрызгивание и испарение (в среднем около 10 % от расплавленного

электродного металла). Возникает необходимость зачистки околошовной зоны от налипших брызг (трудозатраты могут составлять до 9 мин на 1 м шва). Сварные швы часто имеют неудовлетворительный внешний вид и чешуйчатую форму поверхности.

Частично устранить недостатки позволяет введение в углекислый газ кислорода в оптимальном количестве (до 20 %). При этом улучшается внешний вид шва, уменьшается разбрызгивание электродного металла и, как следствие, снижаются трудозатраты на зачистку от брызг околошовной зоны. Это происходит главным образом из-за влияния кислорода на поверхностное натяжение жидкого металла и окисления поверхности капель. В целом, потери электродного металла существенно не изменяются, а на угар – увеличиваются.

Сварка в среде гелия позволяет получить высококачественные сварные соединения. Однако вследствие его малой плотности повышение расхода защитного газа с целью обеспечения надёжной защиты зоны горения дуги и сварочной ванны при сварке, а также высокая стоимость гелия приводят к значительным затратам. В отличие от сварки в среде гелия, сварка в среде аргона более экономична. По сравнению с гелием аргона расходуется на 30...40 % меньше. При таком способе защиты потери электродного металла при сварке без коротких замыканий связаны главным образом с испарением и составляют 1...3 %.

Однако аргон, как и гелий, является весьма дорогостоящим газом. Частично снизить затраты на защитный газ в этом случае возможно путём применения двойных и тройных газовых смесей. Это снижает затраты на защитный газ, но увеличивает потери на разбрызгивание до 3...5 %.

Перспективной является сварка, при которой столб дуги защищается аргоном, а сварочная ванна – углекислым газом, подающимися раздельно по двум концен-

трично расположенным соплам. При этом необходимо решить ряд вопросов, связанных с определением оптимального соотношения аргона и углекислого газа, а также разработать методику расчёта диаметров сопел сварочной горелки.

При сварке плавящимся электродом в качестве источника энергии используется электрическая дуга, состоящая из трёх основных областей: катодной, анодной и столба дуги. Катодная и анодная области имеют очень малые размеры как по протяжённости, так и по диаметру, в отличие от столба дуги (рис. 1). Его длина, как правило, определяется режимом сварки. Сложнее определить размеры поперечного сечения столба дуги. Точных расчётов поперечных сечений в источниках литературы не имеется.

При сварке в аргоне анодное пятно может занимать всю торцовую поверхность электрода и переходить на его боковую поверхность. При этом перенос электродного металла осуществляется в виде мелких капель или в виде 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 положительным эффектом горения дуги в аргоне, возможно при защите аргоном катодной и анодной областей, а также столба дуги.

При ряде разумных допущений, учитывая, что сварочная дуга горит в парах железа (при сварке сталей), разумной идеализацией дуги, 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 «каналовая» модель столба дуги [1, 2].

Согласно этой модели, средняя плотность тока в дуге распределяется по сечению с эффективным радиусом $r_{эф}$ (рис. 2).

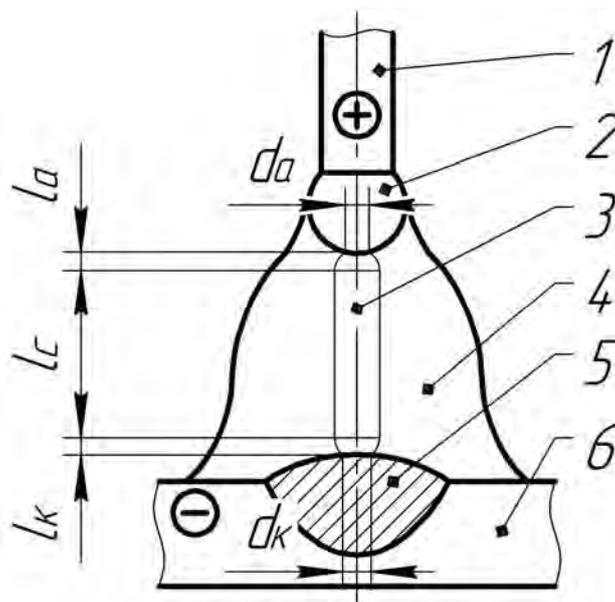


Рис. 1. Схема дуги при сварке: 1 – плавящийся электрод; 2 – капля жидкого металла; 3 – столб дуги; 4 – ореол; 5 – жидкая ванна; 6 – свариваемое изделие; L_c – длина столба дуги; L_k , L_a – длины катодной и анодной областей; d_k , d_a – диаметры катодного и анодного пятен

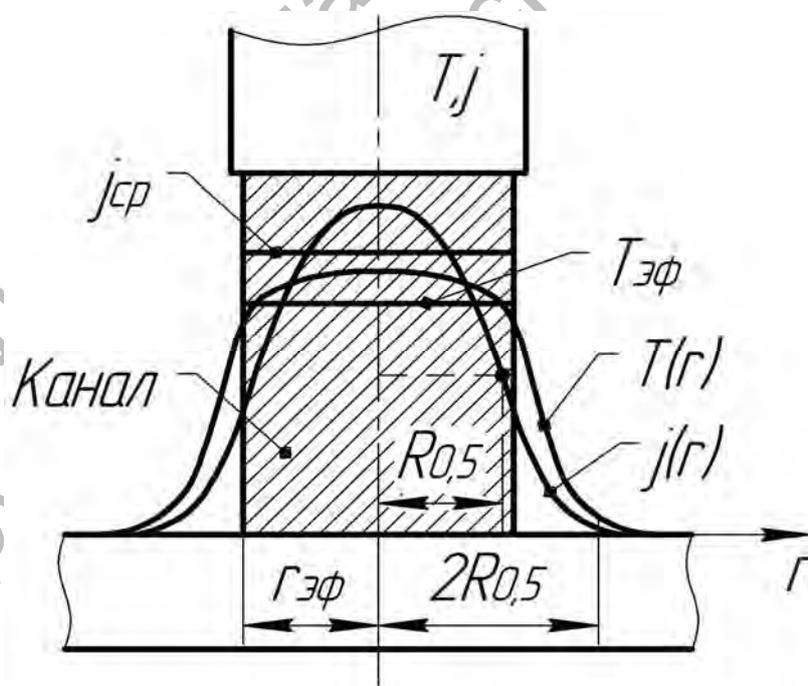


Рис. 2. Каналовая модель столба дуги: $r_{эф}$ – эффективный радиус дуги; j_{cp} – средняя плотность тока дуги; $T_{эф}$ – средняя эффективная температура дуги; $R_{0,5}$ – условный радиус столба дуги

Средняя плотность тока, согласно «канальной» модели, определяется по формуле

$$j_{cp} = 5,5 \cdot 10^{-8} \frac{U_i^{12} \cdot a^{\frac{2}{3}}}{g_e^{\frac{2}{3}} \cdot I_{\partial}^{\frac{1}{3}}}, \quad (1)$$

где U_i – потенциал ионизации паров металла, $U_i = 7,83$ В; a – отношение статических весов ионов и атомов паров железа, $a = \sqrt{\frac{12}{5}}$; g_e – сечение столкновения атомов с электронами, при сварке

в аргоне $g_e = 35 \cdot 10^{-20}$ м²; I_{∂} – ток сварочной дуги, А.

Эффективный радиус столба дуги

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

Результаты расчёта эффективного радиуса столба дуги в зависимости от силы сварочного тока приведены в табл. 1.

Табл. 1. Эффективный радиус столба дуги

Сварочный ток, А	200	250	300	350	400	450
Эффективный радиус столба дуги, мм	1,92	2,23	2,51	2,78	3,05	3,29

Весь ток дуги, согласно «канальной» модели, протекает по сечению радиусом R , определяемому по формуле

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

где $R_{0,5}$ – условный радиус дуги.

Условный радиус дуги $R_{0,5}$ связан с эффективным радиусом соотношением

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

Табл. 2. Действительный радиус столба дуги

Сварочный ток, А	200	250	300	350	400	450
Действительный радиус столба дуги, мм	2,72	3,15	3,56	3,95	4,32	4,67

Результаты расчёта показали, что для того чтобы полностью защитить сварочную дугу аргонотом от окружающей среды на нормальных режимах сварки (до 450 А), достаточно иметь внутреннее сопло, подающее струю аргона диаметром около 9 мм. Для режи-

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

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

Результаты расчёта действительного радиуса дуги в зависимости от силы сварочного тока приведены в табл. 2.

мов сварки ≥ 450 А необходимо увеличить диаметр сопла.

Очевидно, что защиты только сварочной дуги для получения качественного сварного шва недостаточно. Необходимо обеспечить защиту поверхности расплавленного металла сварочной ван-

ны от взаимодействия с атмосферой. Сварочная ванна состоит из характер-

ных зон (рис. 3).

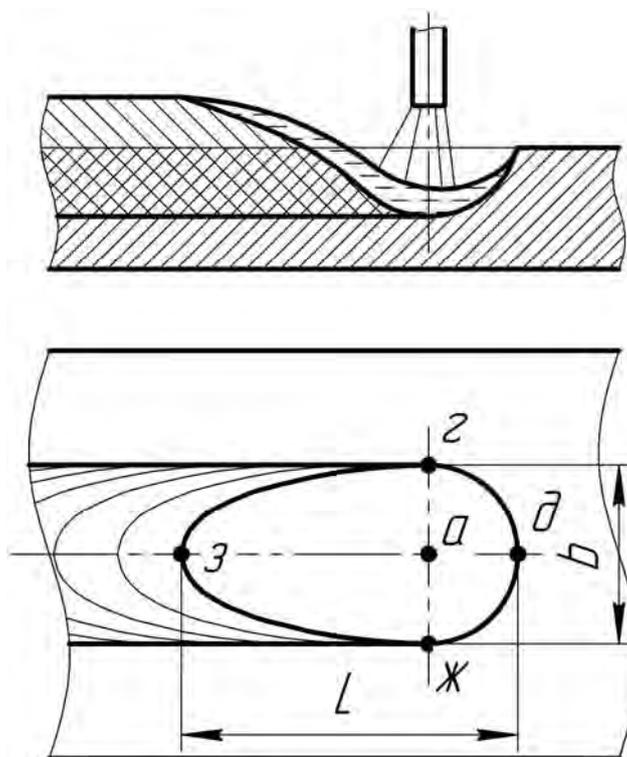


Рис. 3. Сварочная ванна: L – длина сварочной ванны; b – ширина сварочной ванны; $z, d, ж$ – головная часть ванны; $z, з, ж$ – хвостовая часть ванны; a – центр воздействия дуги

Центральная зона включает головную часть сварочной ванны и часть хвостовой. Поперечное сечение активной зоны совпадает с шириной шва [3]. В действительности она несколько меньше.

Ширину шва можно определить по следующей формуле:

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

где q – эффективная тепловая мощность дуги, $q = 0,24 I_{\delta} U_{\delta} \eta$; U_{δ} – напряжение на дуге, В; η – КПД, $\eta = 0,8$; c_{γ} – объёмная теплоёмкость, $c_{\gamma} = 4,8 \text{ Дж}/(\text{см}^3 \cdot \text{К})$; $v_{св}$ – скорость

сварки, м/ч; T – температура, $^{\circ}\text{C}$.

Формула (6) также может быть применена для расчёта поперечного размера активной зоны сварочной ванны. Для этого в формуле следует принять температуру, равную температуре испарения металла. Результаты таких расчётов 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 расчёта ширины шва и поперечного размера активной зоны сварочной ванны представлены в табл. 3 и 4.

Табл. 3. Ширина шва и активной зоны при сварке проволокой диаметром 1,2 мм

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

Табл. 4. Ширина шва и активной зоны при сварке проволокой диаметром 1,6 мм

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

Длина сварочной ванны определяется по формуле [5]

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

где λ – коэффициент теплопроводности стали, $\lambda = 47$ Вт/(м·К).

Радиус наружного сопла для подачи углекислого газа с учётом защиты

поверхности сварочной ванны от взаимодействия с атмосферой может быть рассчитан по формуле

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

Результаты расчётов сведены в табл. 5 и 6.

Табл. 5. Результаты расчётов длины сварочной ванны и радиуса наружного сопла при сварке проволокой диаметром 1,2 мм

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

Табл. 6. Результаты расчётов длины сварочной ванны и радиуса наружного сопла при сварке проволокой диаметром 1,6 мм

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

Схема защиты сварочной ванны представлена на рис. 4.

Расчёты 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.

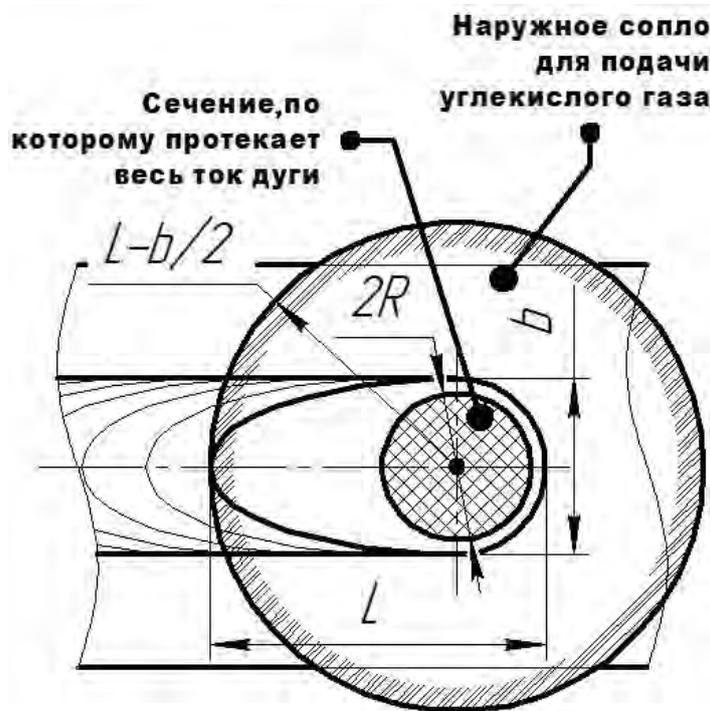


Рис. 4. Схема защиты сварочной ванны

В случае сварки на больших токах радиус сопла для наружной струи газа должен быть больше.

Зависимости радиусов наружного и внутреннего сопел от силы сварочного тока представлены на рис. 5.

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.

Анализ и расчёты показывают, что оптимальное соотношение защитных газов должно составлять 1:4, т. е. 20 % аргона и 80 % CO_2 от необходимого общего расхода.

Элементарные технико-экономические расчёты показывают, что сварка в двух отдельных струях газа может быть применена не только для специ-

альных материалов, но и для сварки низкоуглеродистых сталей. Только экономия электродного металла при этом составит 20...95 кг на 1 т проволоки.

Выводы

1. Для реализации преимуществ процесса сварки в аргоне без коротких замыканий в случае использования смесей аргона с углекислым газом необходимо применять отдельную подачу защитных газов в виде двух концентричных струй. Внутренняя струя аргона защищает зону горения дуги, а внешняя кольцевая струя углекислого газа – поверхность сварочной ванны.

2. Сварка в двух струях защитного газа имеет ряд преимуществ перед сваркой в CO_2 в части потерь электродного металла, вспомогательных работ после

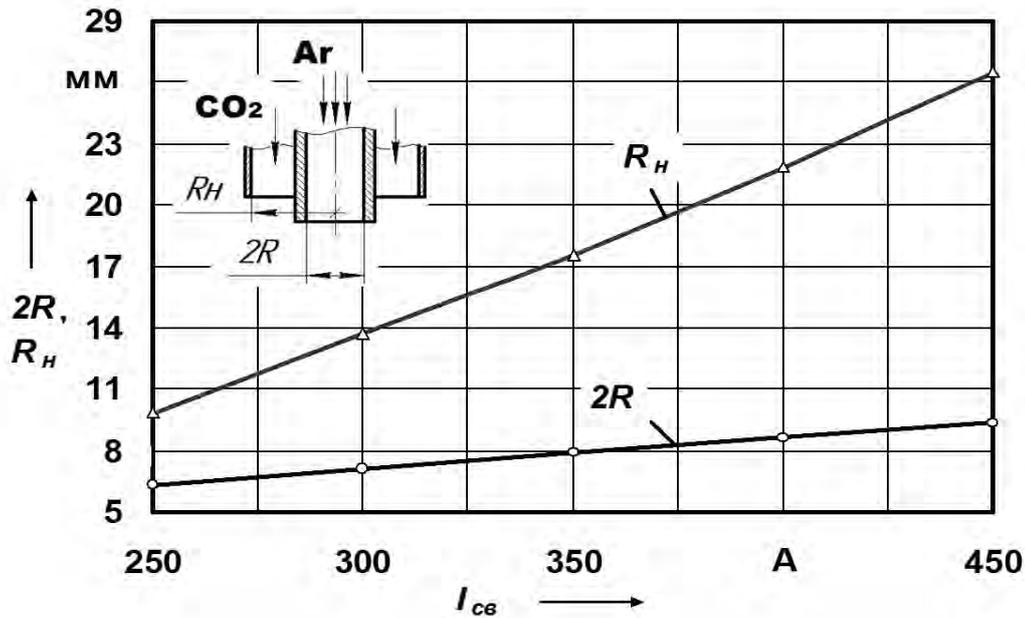
сварки, качества сварных швов. Экономия только электродного металла значительно превосходит дополнительные затраты на защитный газ.

3. Определены наибольший диаметр столба дуги и диаметр сопла для подачи аргона при комбинированной

защите.

4. Рассчитана длина сварочной ванны для наиболее распространенных режимов сварки и на этой основе определены размеры внутреннего и внешнего сопел для подачи защитных газов.

а)



б)

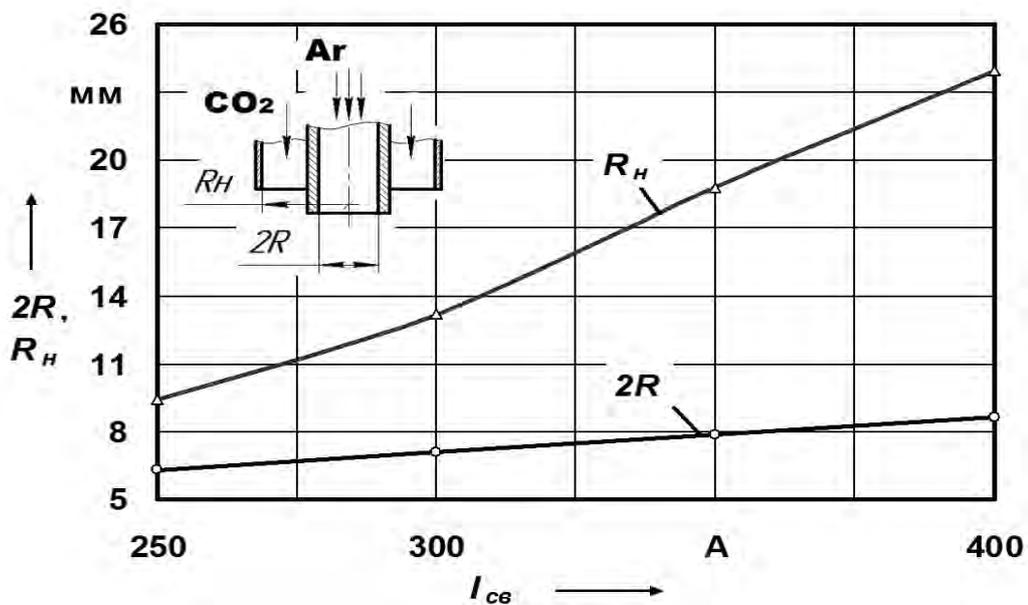


Рис. 5. Зависимость размеров сопел горелки от сварочного тока: а – сварка проволокой 1,2 мм; б – сварка проволокой 1,6 мм

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Лесков, Г. И.** Электрическая сварочная дуга / Г. И. Лесков. – М. : Машиностроение, 1971. – 335 с. : ил.
2. **Павлюк, С. К.** Об устойчивости процесса зажигания дуги при сварке плавящимся электродом / С. К. Павлюк, В. М. Белоконь // Сварочное производство. – 1974. – № 4.– С. 51–53.
3. **Ерохин, А. А.** Основы сварки плавлением / А. А. Ерохин. – М. : Машиностроение, 1973. – 448 с.: ил.
4. **Акулов, А. И.** Технология и оборудование сварки плавлением / А. И. Акулов, Г. А. Бельчук, В. П. Демянцевич. – М. : Машиностроение, 1977. – 432 с. : ил.
5. **Петров, Г. А.** Теория сварочных процессов / Г. А. Петров, А. С. Тумарев. – М. : Высш. шк., 1967. – 508 с. : ил.

Статья сдана в редакцию 23 июля 2012 года

Владимир Михайлович Белоконь, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет. Тел.: +375-297-40-80-24.

Артур Олегович Коротеев, инженер, Белорусско-Российский университет. Тел.: +375-298-46-49-70.

Vladimir Mikhailovich Belokon, PhD (Engineering), Associate Prof., Belarusian-Russian University. Tel.: +375-297-40-80-24.

Artur Olegovich Koroteyev, engineer, Belarusian-Russian University. Tel.: +375-298-46-49-70.