

DOI: 10.24412/2077-8481-2026-1-23-32

УДК 621.791.754

А. О. КОРОТЕЕВ, канд. техн. наук, доц.

Е. А. ФЕТИСОВА

Белорусско-Российский университет (Могилев, Беларусь)

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДУГОВОЙ СВАРКИ С МОДИФИКАЦИЕЙ ЗАЩИТНОЙ ГАЗОВОЙ СМЕСИ $Ar + CO_2$ ГАЗООБРАЗНЫМ ГАЛОГЕНИДОМ SF_6

Аннотация

На основании экспериментальных исследований определены зависимости между значениями основных параметров режима дуговой сварки в среде трехкомпонентной защитной газовой смеси 82 % $Ar + 18\% CO_2 + SF_6$. Разработаны практические рекомендации по выбору значений параметров режима и особенностей выполнения сварки. Представлены результаты анализа экономической эффективности предлагаемой технологии для сварки метра стыкового и углового сварного шва.

Ключевые слова:

дуговая сварка, защитные газовые смеси, гексафторид серы, модификация защитной газовой среды, параметры режима сварки, сила тока, напряжение на дуге.

Для цитирования:

Коротеев, А. О. Выбор параметров режима и экономическая эффективность дуговой сварки с модификацией защитной газовой смеси $Ar + CO_2$ газообразным галогенидом SF_6 / А. О. Коротеев, Е. А. Фетисова // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2026. – № 1 (90). – С. 23–32.

Введение

Выбор значений параметров режима сварки является одним из ключевых элементов технологии. Зачастую несоответствие значений напряжения и силы сварочного тока может приводить к нестабильности горения дуги, нарушению характеристик переноса расплавленного электродного металла через дуговой промежуток, изменению геометрических параметров проплавления основного металла. Это может приводить к росту потерь электродного металла на разбрызгивание, нарушению условий для перехода легирующих элементов в металл сварного шва и возникновению ряда опасных дефектов. Такая картина наблюдается довольно часто в случае перехода на использование в качестве защитной газовой среды смесей на основе аргона вместо чистого углекислого газа. Сохранение значений параметров режима в таком случае практически гарантированно будет приводить к

нестабильности существования дугового промежутка в силу завышенных значений напряжения на дуге.

Одним из перспективных направлений совершенствования технологии дуговой сварки в среде защитных газов является модификация газовой смеси $Ar + CO_2$ газообразным галогенидом SF_6 . Это позволяет существенно снизить количество диффузионного водорода в наплавленном металле посредством связывания его в дуговом промежутке в нерастворимые в жидком металле соединения HF , что особенно актуально для сварки высокопрочных сталей. В ряде публикаций на основании проведенных исследований нами показана эффективность такого подхода с точки зрения управления технологическими характеристиками процесса [1–3] и изменения условий переноса электродного металла и перехода легирующих элементов через дуговой промежуток [4, 5], особенностей проплавления основного металла [6, 7] и др.

В статье обобщены полученные результаты и предлагаются конкретные технологические рекомендации по выбору параметров режима и применению данной технологии для сварки металлоконструкций.

Основная часть

Значения параметров режима сварки оказывают прямое воздействие на технологические характеристики процесса. Основными параметрами являются: сила сварочного тока $I_{св}$, напряжение на дуге $U_{д}$, скорость подачи электродной сварочной проволоки $V_{п.пр}$, скорости сварки $V_{св}$. Также важное значение имеет вылет электродной проволоки $L_э$ и удельный расход защитного газа $G_г$. Сварка осуществляется на постоянном токе обратной полярности (катодом является изделие).

Предлагаемые рекомендации по выбору параметров режима относятся к сварочной проволоке диаметром 1,2 мм, что обусловлено ее наибольшим распространением на практике.

Основными критериями для выбора значений параметров режима являются тип сварного соединения, определяемый геометрическими характеристиками (толщиной) и взаимным расположением свариваемых деталей, требуемая глубина проплавления, условия выполнения сварки, особенности свариваемого материала и его чувствительность к термическому циклу сварки. Как правило, в большинстве случаев выполняется разделка кромок, и для обеспечения необходимых условий протекания физико-химических реакций взаимодействия наплавленного металла шва и основного металла сварного соединения (как неотъемлемой части образования сварного соединения) достаточной является глубина проплавления 3...4 мм. Необходимость полного проплавления деталей, например, в случае сварки без разделки кромок, возникает крайне

редко, что обусловлено требованием ограничения величины погонной энергии.

Для удобства применения на практике рекомендуемые значения силы тока в зависимости от необходимой глубины проплавления основного металла сведены в табл. 1. Данные в табл. 1 представлены для варианта технологии с введением SF_6 в состав защитной газовой смеси 82 % Ar + 18 % CO_2 + SF_6 в количестве от 0,25 % до 1 % (объемная доля). При этом необходимо учитывать, что повышение содержания SF_6 в пределах данного диапазона будет сдвигать значение глубины проплавления в сторону больших значений.

Между силой сварочного тока и напряжением на дуге имеется характерная зависимость, определяющая наиболее стабильное существование дугового промежутка и высокую частоту коротких замыканий (отрыва каплей расплавленного электродного металла). Наиболее эффективные соотношения между значениями этих параметров представлены в табл. 2.

Следует отметить, что наиболее стабильным с точки зрения переноса электродного металла является процесс с короткими замыканиями дугового промежутка. Это соответствует диапазону скорости подачи присадочной проволоки 2,3...3,7 м/мин и силы тока 98...155 А. Несмотря на то что значения силы тока невысоки, на практике этого достаточно для обеспечения необходимой глубины проплавления при сварке соединений с разделкой кромок.

Дальнейшее повышение силы сварочного тока (195...254 А) будет приводить к отрыву капли расплавленного металла до ее контакта с поверхностью сварочной ванны. При этом возникает так называемый капельный перенос металла. На сегодняшний день такой тип переноса является нежелательным, т. к. он трудно поддается управлению со стороны источника питания.

Табл. 1. Значения силы сварочного тока в зависимости от глубины проплавления основного металла при сварке в защитной газовой смеси 82 % Ar + 18 % CO₂ + SF₆

Глубина проплавления, мм	2,0...2,5	2,5...3,0	3,0...3,5	3,5...4,0	4,0...4,5	4,5...5,0
Сила сварочного тока, А	100...130	130...170	180...210	220...260	290...300	300...315

Табл. 2. Значения параметров режима сварки в защитной газовой смеси 82 % Ar + 18 % CO₂ + SF₆

Диаметр проволоки, мм	Скорость подачи присадочной проволоки V _{п.пр.} , м/мин	Количество вводимого SF ₆ , %	Значение силы тока I _{св.} , А	Значение напряжения на дуге U _{д.} , В	Характер переноса электродного металла	
1,2	2,3	0,25	98...103	19	Короткими замыканиями дугового промежутка	
		0,5		20,0		
		1		22,0		
		2		22,0		
	3,7	0,25	147...155	19		
		0,5		20,0		
		1		21,8		
		2		22,0		
	5,3	0,25	195...202	21		Короткими замыканиями – капельный (нестабильный режим)
		0,5		22,0		
		1		23,0		
		2		24,0		
	7,7	0,25	246...254	19		Струйно-капельный (переходный к струйному) (нестабильный режим)
		0,5		20,0		
		1		23,0		
		2		23,0		
	9,2	0,25	293...306	30		Струйный
		0,5		31,0		
		1		31,5		
		2		33,0		

Основной проблемой при этом является сложность фиксации момента начала отрыва капли от проволоки, что может приводить к повышенным показателям разбрызгивания электродного металла. Кроме того, капли на торце проволоки могут вырастать до крупных размеров и в процессе отрыва отклоняться от вертикальной оси.

Использование силы тока свыше 290 А характеризуется струйным ха-

рактером переноса электродного металла. Это необходимо учитывать при выборе типа сварного соединения, т. к. глубина проплавления резко увеличивается по оси шва, в то время как его периферийные участки достаточно широкие.

Таким образом, наиболее предпочтительными являются режимы с использованием силы тока до 190 А.

Вылет электродной проволоки во всех случаях выбирается в диапазоне

10...15 мм. Следует отметить, что увеличение вылета проволоки приводит к снижению силы тока при заданной скорости ее подачи. Это необходимо учитывать при сварке в труднодоступных местах.

Так как разработанная технология наиболее близка к сварке плавящимся электродом в активном газе (газовой смеси), то выбор типа сварных соединений можно осуществлять, руководствуясь ГОСТ 14771–76, ГОСТ 16037–80, ГОСТ 23518–79, ГОСТ ISO 9692-1. Сварка традиционно выполняется на обратной полярности.

С целью минимизации внутренних напряжений и деформаций сварной конструкции сварку рекомендуется выполнять в несколько проходов, тщательно зачищая поверхность предыдущего наплавленного слоя. Предпочтительным является выполнение сварки с невысокими значениями силы тока, так называемыми «ниточными» швами. В этом

случае невысокая площадь поперечного сечения валика наплавленного металла не приводит к чрезмерному тепловложению в основной металл, что снижает уровень внутренних напряжений. Зачистку лучше выполнять абразивными материалами механизированным способом.

В случае использования высокопрочных сталей, а также сталей, чувствительных к диффузионному водороду, обязательными являются технические приемы по снижению содержания влаги в зоне сварки. Необходимо выполнять тщательный контроль качества подготовки кромок сварных соединений под сварку.

Для создания трехкомпонентной защитной газовой смеси с заданным содержанием SF_6 используется принципиальная схема, представленная на рис. 1 [8].

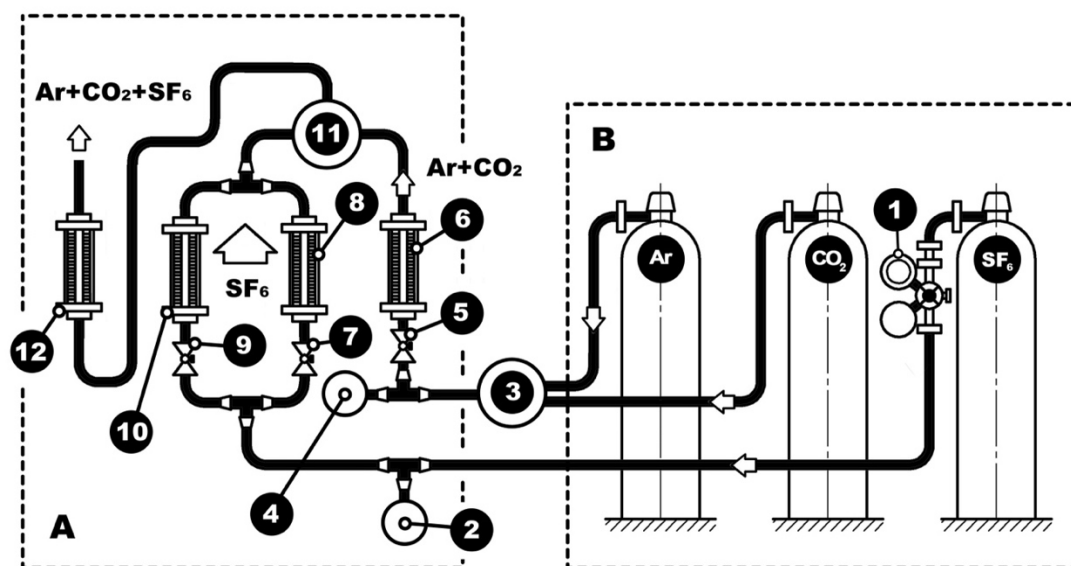


Рис. 1. Принципиальная схема установки для смешивания компонентов защитной газовой смеси: А – установка для смешивания; В – система питания газами (индивидуальная подача из баллонов); 1 – редуктор Fronius AR/CO₂ G3/4; 3-30L/MIN); 2 – манометр TM-321P.00(0-1MPa); 3 – смеситель газовый Witt VM-2 (Германия); 4 – манометр TM-321P.00(0-1MPa); 5 – вентиль ротаметра LZB-10; 6 – ротаметр поплавковый ZY1A серии LZB-10 (Китай); 7 – вентиль ротаметра LZB-3; 8 – ротаметр поплавковый ZY1A серии LZB-3 (Китай); 9 – вентиль (ротаметра LZB-3); 10 – ротаметр поплавковый ZY1A серии LZB-3; 11 – узел смешивания (получение 82 % Ar + 18 % CO₂ + SF₆); 12 – ротаметр поплавковый ZY1A серии LZB-10

В качестве защитных газов при сварке и наплавке используется аргон (Ar) повышенной чистоты по ГОСТ 10157–2016 [9], технический углекислый газ (CO₂) по ГОСТ 8050–85 [10], а также газообразный гексафторид серы (SF₆) по паспорту безопасности химической продукции [11]. Подтверждение соответствия состава газов требованиям нормативной документации по наличию примесей и влаги обеспечивается наличием сертификатов. Для минимизации количества влаги в защитных газах возможно применение осушителей и подогрева (в случае отбора углекислого газа из баллона с последующим смешиванием с аргоном на первой ступени образования трехкомпонентной смеси).

Используется двухступенчатый способ создания смеси. На первом этапе смешиваются Ar и CO₂ в необходимом соотношении (82 %/18 %). Это можно осуществить с применением двух баллонов (Ar и CO₂), используя смеситель (см. рис. 1, поз. 3), либо непосредственно использовать готовую смесь в баллоне (82 % Ar + 18 % CO₂). Однако во втором случае необходимо учитывать нарушение соотношения компонентов на выходе из баллона при его длительном нахождении в вертикальном положении без использования.

На втором этапе используется разработанная установка для смешивания компонентов (см. рис. 1, поз. А). В заранее полученную смесь 82 % Ar + 18 % CO₂ в необходимом количестве добавляется SF₆ из соответствующего баллона. Смешивание происходит в условиях выравнивания давления компонентов на входе в установку. Для контроля расходов используются поплавковые ротаметры.

Выбор значения расхода защитной газовой смеси осуществляется исходя из необходимости обеспечения надежной защиты зоны горения дуги от воздуха. Это, во-первых, гарантирует требуемые характеристики наплавленного металла,

а во-вторых, предотвращает появление пористости в случае попадания большого количества воздуха в область горения дуги и нахождения расплавленного металла. Также необходимо учитывать условия выполнения сварки, наличие или отсутствие движения воздушных масс, порывов ветра, скорости перемещения сварочной горелки вдоль свариваемых кромок изделия и др. Как правило, на практике, в случае использования стандартного сопла горелки диаметром 14...16 мм, рекомендуемый расход защитного газа находится в диапазоне 14...16,5 л/мин. Перед началом процесса сварки обязательной является продувка системы подачи газов для обеспечения необходимого процентного соотношения компонентов защитной среды. Это особенно актуально при использовании многокомпонентных смесей.

Наибольшее распространение для сварки низкоуглеродистых низколегированных конструкционных сталей находят сварочные проволоки, основными легирующими элементами которых являются кремний (массовая доля до 1,2 %) и марганец (массовая доля до 2,10 %). Такие проволоки обеспечивают минимальное разбрызгивание и налипание электродного металла на основной, формирование качественного шва и обладают высоким коэффициентом наплавки. Наиболее распространенными являются проволоки типа G3Si1 (G4Si1) по СТБ ЕН 440–2002 и Св-08Г2С (Св-08ГС) по ГОСТ 2246–70 (табл. 3 [12, 13]). Данный вид проволок обладает относительно невысокой стоимостью и позволяет выполнять сварку во всех пространственных положениях.

В случае повышенных требований к обеспечению равнопрочности основного металла и сварного шва при сварке высокопрочных сталей (низкоуглеродистых среднелегированных и среднеуглеродистых низколегированных) применяют проволоки с системой легирования Cr–Ni–Mo типа ESAB ОК Aristo-

rod 69 СТВ ISO 16834–2010: G Mn3Ni1CrMo (табл. 4 и 5) и др. Такие проволоки рекомендуются для автоматической, роботизированной и механи-

зированной сварки и широко используются в машиностроении, энергетике, нефтехимии для сварки конструкций, работающих в условиях повышенного нагружения и низких температур.

Табл. 3. Химический состав рекомендуемых проволок

Марка проволоки	Содержание элемента, %								
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo	Cr	Ti и Zr
Св-08ГС (ГОСТ 2246–70)	≤0,10	0,60... 0,85	1,40... 1,70	≤0,03	≤0,03	≤0,25	–	≤0,20	–
Св-08Г2С (ГОСТ 2246–70)	≤0,11	0,70... 0,95	1,80... 2,10	≤0,03	≤0,03	≤0,25	–	≤0,20	–
G2Si1 (СТБ ЕН 440–2002)	0,06... 0,14	0,50... 0,80	0,90... 1,30	0,025	0,025	0,15	0,15	–	0,15
G3Si1 (СТБ ЕН 440–2002)	0,06... 0,14	0,70... 1,00	1,30... 1,60	0,025	0,025	0,15	0,15	–	0,15
G4Si1 (СТБ ЕН 440–2002)	0,06... 0,14	0,80... 1,20	1,60... 1,90	0,025	0,025	0,15	0,15	–	0,15

Табл. 4. Химический состав сварочной проволоки ESAB ОК Aristorod 69 (СТБ ISO 16834–2010: G 69 4 M21 Mn3Ni1CrMo)

Содержание элемента, %							
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
0,089	0,53	1,54	0,01	0,01	0,26	1,23	0,24

Табл. 5. Механические характеристики наплавленного металла с проволокой ESAB ОК Aristorod 69 (СТБ ISO 16834–2010: G 69 4 M21 Mn3Ni1CrMo)

Предел текучести, МПа	Временное сопротивление разрыву, МПа	Относительное удлинение, %	Энергия удара, Дж	
			20 °С	–40 °С
730	800	19	100	73

Выбор марки сварочной проволоки зависит от параметров режима сварки и окислительной способности защитной газовой атмосферы, которые оказывают воздействие на количество основных легирующих элементов (Si и Mn) при их переходе через дуговой промежуток в наплавленный металл.

В случае повышенной влажности и необходимости выполнения сварки с повышенным содержанием SF₆ в составе защитной газовой смеси рекомендуется применять проволоки с более высокой массовой долей кремния (Si) и марган-

ца (Mn), что будет способствовать частичному связыванию серы в соединения MnS [14].

Для оценки экономической эффективности применения разработанной технологии был произведен расчет стоимости 1 м стыкового (п. 1.5 табл. 1 ГОСТ ISO 9692-1) и углового (п. 3.1.1 табл. 3 ГОСТ ISO 9692-1) сварного шва, полученного при сварке в защитной газовой среде 82 % Ar + 18 % CO₂ и в трехкомпонентной смеси 82 % Ar + 18 % CO₂ + SF₆ (рис. 2 и 3).

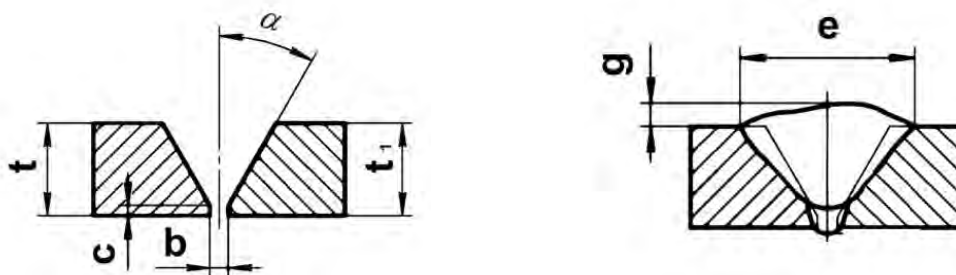


Рис. 2. Геометрические параметры стыкового сварного соединения: $t = t_1 = 18$ мм; $c = 2,5$ мм; $b = 2$ мм; $a = 30^\circ$; $e = 23$ мм; $g = 4$ мм

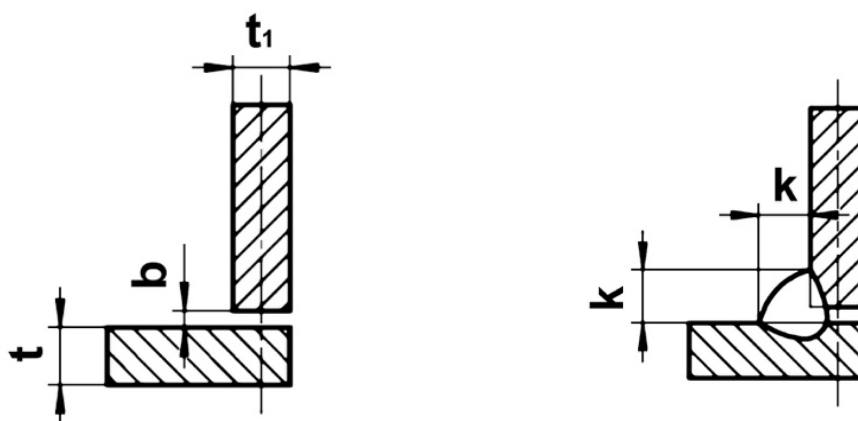


Рис. 3. Геометрические параметры углового сварного соединения: $t = t_1 = 18$ мм; $b = 1,5$ мм; $a = 90^\circ$; $k = 13$ мм

Расчеты произведены с использованием двух вариантов присадочной сварочной проволоки, упомянутых выше: Св-08Г2С (ГОСТ 2246) и ESAB ОК Aristorod 69 (СТБ ISO 16834-2010: G Mn3Ni1CrMo). В расчетах толщина свариваемых пластин принималась равной 18 мм, значение катета углового сварного шва $k = 13$ мм. В стыковом соединении зазор принимался равным 2 мм, притупление кромок 2,5 мм.

Расчет производился по стандартной методике [15]. При расчетах объемная доля вводимого гексафторида серы в

состав смеси $Ar + CO_2$ принималась равной 0,25 %. Для традиционной газовой смеси коэффициент наплавки принимали равным 13,1 г/(А·ч). Для трехкомпонентной газовой защиты был произведен его расчет как отношение массы наплавленного металла к значению силы сварочного тока и времени наплавки. Для этого был проведен ряд экспериментов, заключавшийся в наплавке одиночных валиков на металлические пластины. При этом пластины взвешивались до наплавки и после нее с фиксированием времени процесса. После расчетов было

получено значение $a_n = 13,8 \text{ г}/(\text{А} \cdot \text{ч})$. Для расчета основного времени на сварку 1 м шва принимали $I_{\text{св}} = 150 \text{ А}$.

Полученные расчетные данные по

расходу сварочных материалов и полных затрат на сварку 1 м сварного шва с учетом всех экономических показателей сведены в табл. 6–9.

Табл. 6. Расход сварочных материалов на выполнение 1 м сварного шва

Защитная газовая среда	Масса проволоки, г	Необходимый объем защитного газа, л	
Стыковой шов			
Газовая смесь 82 % Ar + 18 % CO ₂	1974,0	870,0	
Газовая смесь 82 % Ar + 18 % CO ₂ + SF ₆ (0,25 %)	1949,0	Ar + CO ₂	SF ₆
		763,0	2,0
Угловой шов			
Газовая смесь 82 % Ar + 18 % CO ₂	1265,0	375,0	
Газовая смесь 82 % Ar + 18 % CO ₂ + SF ₆ (0,25 %)	1240,0	Ar + CO ₂	SF ₆
		360,0	0,9

Табл. 7. Стоимость сварочных материалов

Сварочный материал	Стоимость 1 г (1 л), бел. р. (по состоянию на 01.04.2025)
Проволока сварочная Св-08Г2С (производство ООО «Оливер»)	0,007
Проволока сварочная ESAB ОК Aristorod 69 (производство фирмы ESAB (Швеция))	0,04
Газовая смесь 82 % Ar + 18 % CO ₂ (ОАО «Крион»)	0,003
Газообразный SF ₆	0,58

Табл. 8. Затраты на сварочные материалы на 1 м стыкового сварного шва

Технология сварки	Затраты на сварочную проволоку, бел. р.	Затраты на защитный газ, бел. р.	Итого, бел. р.
Сварка в газовой смеси 82 % Ar + 18 % CO ₂ (проволока Св-08Г2С)	13,82	2,61	16,43
Сварка в газовой смеси 82 % Ar + 18 % CO ₂ + SF ₆ (0,25 %) (проволока Св-08Г2С)	13,61	3,5	17,11
Сварка в газовой смеси 82 % Ar + 18 % CO ₂ (проволока ESAB ОК Aristorod 69)	78,96	2,61	81,57
Сварка в газовой смеси 82 % Ar + 18 % CO ₂ + SF ₆ (0,25 %) (проволока ESAB ОК Aristorod 69)	77,96	3,5	81,41

Табл. 9. Затраты на сварочные материалы на 1 м углового сварного соединения

Технология сварки	Затраты на сварочную проволоку, бел. р.	Затраты на защитный газ, бел. р.	Итого, бел. р.
Сварка в газовой смеси 82 % Ar + 18 % CO ₂ (проволока Св-08Г2С)	8,86	1,13	9,99
Сварка в газовой смеси 82 % Ar + 18 % CO ₂ + SF ₆ (0,25 %) (проволока Св-08Г2С)	8,68	1,60	10,28
Сварка в газовой смеси 82 % Ar + 18 % CO ₂ (проволока ESAB ОК Aristorod 69)	50,60	1,13	51,73
Сварка в газовой смеси 82 % Ar + 18 % CO ₂ + SF ₆ (0,25 %) (проволока ESAB ОК Aristorod 69)	49,60	1,60	51,20

Результаты экономического расчета показали, что затраты на сварочные материалы для изготовления 1 м стыкового и таврового сварного соединения по разрабатываемой технологии и по традиционной технологии практически соизмеримы, несмотря на достаточно высокую стоимость газообразного гексафторида серы в составе защитной среды.

Предлагаемая технология позволяет снизить затраты на сварочные материалы в случае использования более дорогостоящих проволок, например, высокопрочных.

Также необходимо отметить, что в целом применение предлагаемой трехкомпонентной защитной газовой смеси и технологии сварки позволит повысить эксплуатационный ресурс металлоконструкций, снизит вероятность образования дефектов в виде холодных трещин в сварных соединениях, выход которых из строя влечет за собой повышенные затраты на восстановительные работы.

Выводы

1. Дуговая сварка с модификацией защитной газовой смеси $Ar + CO_2$ галогенидом SF_6 чувствительна к выбору

параметров режима. Рекомендуется использовать диапазон силы сварочного тока, соответствующий переносу электродного металла короткими замыканиями дугового промежутка. Это позволит обеспечить максимальную стабильность процесса. В случае выполнения сварочных работ в условиях повышенной влажности и при высоких требованиях к минимизации диффузионного водорода в наплавленном металле рекомендуется повысить содержание SF_6 в составе защитной смеси с 0,25 % до 0,5 %...1 %. В этом случае целесообразно использовать проволоки с более высоким содержанием марганца и кремния.

2. Несмотря на наличие SF_6 в составе защитной газовой среды, технология является экономически эффективной. Итоговые затраты на изготовление сварных соединений по традиционной и разрабатываемой технологии остаются практически соизмеримы. Увеличение затрат на защитную газую смесь за счет введения в нее SF_6 компенсируется снижением затрат на сварочные присадочные материалы, что связано с уменьшением значений коэффициента потерь электродного металла.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Фетисова, Е. А.** Особенности металлургических процессов при дуговой сварке с модификацией защитной газовой атмосферы галоидными соединениями / Е. А. Фетисова, А. О. Коротеев, А. А. Коротеева // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2022. – № 1 (74). – С. 87–96.
2. О потерях электродного металла при дуговой сварке с модификацией защитной атмосферы газообразными галогенидными соединениями / Е. А. Фетисова, А. О. Коротеев, А. А. Коротеева [и др.] // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2023. – № 2 (79). – С. 97–106.
3. Технологические особенности выбора значений параметров режима дуговой сварки в защитной газовой смеси $Ar + CO_2$ / А. О. Коротеев, Н. М. Шукан, Е. А. Фетисова, А. А. Коротеева // Наука и техника. – 2023. – № 22 (4). – С. 269–277.
4. Особенности переноса электродного металла при дуговой сварке и наплавке с модификацией защитной газовой атмосферы галогенидным соединением SF_6 ($Ar + CO_2 + SF_6$) / А. О. Коротеев, Е. А. Фетисова, А. А. Коротеева [и др.] // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2024. – № 1 (82). – С. 25–34.
5. **Коротеев, А. О.** Особенности перехода легирующих элементов через дуговой промежуток в условиях модификации защитной газовой среды $Ar + CO_2$ галогенидом SF_6 / А. О. Коротеев, Е. А. Фетисова // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2024. – № 3 (84). – С. 14–25.

6. Особенности проплавления основного металла при дуговой наплавке и сварке с модификацией защитной газовой среды галогенидом SF₆ (Ar + CO₂ + SF₆) / Е. А. Фетисова, А. О. Коротеев, В. В. Пятакова [и др.] // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2024. – № 2 (83). – С. 77–87.

7. Технологические особенности плавления присадочной проволоки при дуговой сварке и наплавке с введением SF₆ / А. О. Коротеев, Е. А. Фетисова, С. Г. Паршин, А. А. Коротеева // Наука и техника. – 2024. – № 23 (4). – С. 380–389.

8. Установка для смешивания трехкомпонентной защитной газовой среды при сварке / Е. А. Фетисова, Н. А. Шукан, А. А. Коротеева, А. О. Коротеев // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2022. – С. 88.

9. Аргон газообразный и жидкий. Технические условия : ГОСТ 10157–2016. – Взамен ГОСТ 10157–79 ; введ. 01.08.2018. – Мн. : Госстандарт ; Бел. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2018. – 30 с.

10. Двуокись углерода газообразная и жидкая. Технические условия : ГОСТ 8050–85. – Взамен ГОСТ 8050–76 ; введ. 01.01.87. – Мн. : Госстандарт ; Бел. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2010. – 30 с.

11. Паспорт безопасности химической продукции: РПБ № 13693708.20.55038. – Введ. 14.01.2019. – Пермь : Координац.-информ. центр государств-участников СНГ по сближению регуляторных практик, 2023. – 16 с.

12. Проволока стальная электродная для сварки в защитном газе нелегированных и мелкозернистых сталей и металл шва. Общие технические условия : СТБ ЕН 440–2002. – Введ. 01.09.2002. – Мн. : Госстандарт ; Бел. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2002. – 12 с.

13. Проволока стальная сварочная. Технические условия: ГОСТ 2246–70. – Взамен ГОСТ 2246–60 ; введ. 01.01.1973. – Мн. : Госстандарт ; Бел. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1992. – 20 с.

14. Фетисова, Е. А. Пути снижения содержания серы в наплавленном металле при дуговой сварке в среде защитных газов / Е. А. Фетисова, В. Д. Долгая, А. В. Клименкова // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2025. – С. 191.

15. Куликов, В. П. Технология сварки плавлением и термической резки : учебник / В. П. Куликов. – Мн. : Новое знание; М. : ИНФРА-М, 2016. – 463 с.: ил.

Статья сдана в редакцию 26 января 2026 года

Контакты:

karatseyeu.artur@gmail.com (Коротеев Артур Олегович);

fetisova9891@gmail.com (Фетисова Екатерина Анатольевна).

A. O. KARATSEYEU, E. A. FIATSIŠAVA

SELECTION OF MODE PARAMETERS AND ECONOMIC EFFICIENCY OF ARC WELDING WITH AN AR + CO₂ SHIELDING GAS MIXTURE MODIFIED WITH SF₆ GASEOUS HALIDE

Abstract

Based on experimental studies, relationships between the key arc welding parameters in a three-component shielding gas mixture of 82 % Ar + 18 % CO₂ + SF₆ have been determined. Practical recommendations for selecting these parameters and welding performance characteristics have been developed. The results of an analysis of the economic efficiency of the proposed technology for butt and fillet welding per meter of weld are presented."

Keywords:

arc welding, protective gas mixtures, sulfur hexafluoride, modification of protective gas environment, welding mode parameters, current strength, arc voltage.

For citation:

Karatseyeu, A. O. Selection of mode parameters and economic efficiency of arc welding with an AR + CO₂ shielding gas mixture modified with SF₆ gaseous halide / A. O. Karatseyeu, E. A. Fiatsisava // Belarusian-Russian University Bulletin. – 2026. – № 1 (90). – P. 23–32.