

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(институт)

Сварка и обработка материалов давлением и родственные процессы

(кафедра)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

СОМДиРП

В.В. Ельцов

(И.О.Фамилия)

(подпись)

« ___ » _____ 2016г

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Абрамова Марина Алексеевна

(Фамилия, Имя, Отчество студента)

22.04.01. Материаловедение и технологии материалов

(код и наименование направления подготовки)

Сварка и пайка новых металлических и неметаллических неорганических
материалов

(наименование магистерской программы)

Форма обучения Очная Группа МТМм-1401

Научный руководитель В.П. Сидоров

Консультанты _____

Тема магистерской

диссертации Влияние полярности при сварке в среде CO₂
на проплавляющую способность дуги

Руководитель магистерской программы

А.И. Ковтунов

(И.О. Фамилия)

(подпись)

« ___ » _____ 2016г.

Тольятти 2016

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	3
I. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАСПЛАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДОВ И ИЗДЕЛИЯ ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ	4
1.1. Сущность способа и основные параметры сварки в защитных газах	4
II. ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ СВАРКЕ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ	21
2.1. Анализ различия проплавления изделия в зависимости от полярности дуги. 21	
2.2. Выбор математической модели распространения тепла при сварке.....	24
2.3. Результаты теоретических исследований тандемной сварки.....	27
2.4. Применение метода тандемных источников для расчета провара при сварке в CO ₂	33
2.5. Выводы.....	36
III. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЯ В ВЫЛЕТЕ ЭЛЕКТРОДА	38
3.1. Методика анализа энерговыделения в вылете электрода	38
3.2. Новая методика исследования энерговыделения в вылете	45
3.3. Использование зависимостей коэффициентов расплавления от диаметра электрода для совершенствования двухдуговой сварки	55
3.4. Выводы.....	65
IV. РАСЧЕТ ПРОВАРА ПРИ СВАРКЕ В CO ₂	67
4.1. Оценка параметров сварочных источников тепла при сварке плавящимся электродом	67
4.2. Термические циклы при сварке плавящимся электродом.....	72
4.3. Алгоритм автоматизированного проектирования режимов сварки в CO ₂ 75	
4.4. Расчет производительности расплавления электродной проволоки при сварке дугой с разнополярными импульсами тока.....	77
4.5. Определение параметров теплового потока двух источников тепла	79
4.6. Установки для сварки разнополярными импульсами тока	80
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ	86
Библиографический список	88
Приложение	91
Приложение	92
Приложение	93
Приложение	95

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы обусловлена значительным объемом сварочных работ, выполняемых плавящимся электродом дугой в защитных газах и необходимостью расширения технологических возможностей этого способа сварки. В последнее время технологические возможности сварочной дуги с неплавящимся и плавящимся электродом под флюсом значительно расширены за счет использования дуги, питаемой от источника тока с разнополярными импульсами (РИТ) с частотой до 150 Гц.

Этот способ сварки является вариантом использования дуги преимущественно прямой полярности, препятствием внедрения которой является низкая стабильность плавления электрода. Использование такой частоты позволяет, по-видимому, устранить основные недостатки дуги прямой полярности, сохранив ее преимущества. Однако для сварки в CO_2 таких источников питания пока нет. Для обоснования их применения при сварке необходимо изучить ряд вопросов по плавлению электрода и изделия при сварке в защитных газах на прямой полярности. В частности, возникает вопрос по определению глубины проплавления при сварке разнополярными импульсами, производительности расплавления электрода, требованиям к характеристикам источников питания.

В литературе очень мало исследований, посвященных дуге прямой полярности в защитных газах с плавящимся электродом. Поэтому во многом необходимо опираться на аналогичные исследования, проведенные для сварки под флюсом. Однако и для данного вида дуги не решалась проблема объяснения и описания причин различия в глубине проплавления изделия на разных полярностях дуги.

Целью данной работы является: Создание предпосылок для использования дуги с разнополярными импульсами тока на основе исследования энергетических процессов при сварке плавящимся электродом в CO_2 .

I. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАСПЛАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДОВ И ИЗДЕЛИЯ ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ

Сущность способа и основные параметры сварки в защитных газах

В производстве сварных конструкций из низкоуглеродистых и низколегированных сталей широкое применение находит полуавтоматическая (механизированная), меньше – автоматическая сварка в углекислом газе.

Сущность сварки в среде CO_2 в том, что дуга горит в среде защитного газа, оттесняющего воздух от зоны сварки и защищающего расплавленный металл от кислорода и азота воздуха.

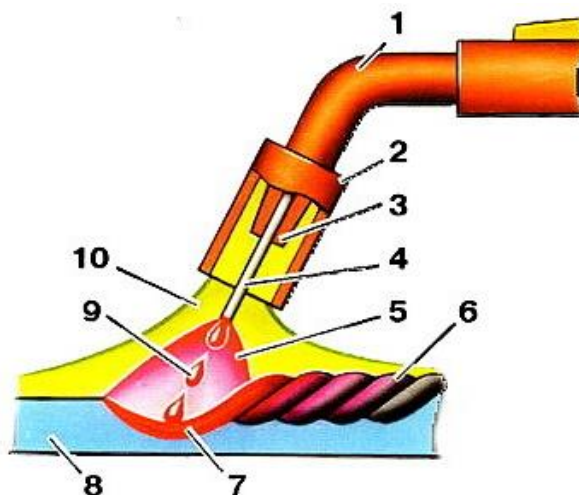


Рис.1 – Схема процесса полуавтоматической сварки в среде углекислого газа (1-горелка, 2- сопло, 3 – токоподводящий наконечник, 4 – электродная проволока, 5 – сварочная дуга, 6 – сварной шов, 7 – сварочная ванна, 8 – основной металл, 9 – капли электродного металла, 10 – газовая защита)

Полуавтоматическую сварку в углекислом газе применяют в единичном, мелкосерийном и реже в серийном производстве для выполнения непротяженных швов изделий небольшой толщины.

Преимущества сварки в среде CO_2 :

- Повышение производительности по сравнению с ручной сваркой в 1,2-1,5 раза;

- Возможность сварки в любом пространственном положении и стыковых швов «на весу»;
 - Высокая маневренность и мобильность (по сравнению с автоматической сваркой);
 - Возможность визуального контроля за направлением дуги по стыку.
- Недостатки сварки в среде CO_2 :
- Сильное разбрызгивание металла при сварке на токах 200-400 А и необходимость удаления брызг с поверхности изделия;
 - Затруднено использование на открытом воздухе (на ветру) из-за сдувания защитного газа;
 - Внешний (товарный) вид шва хуже, чем при сварке под флюсом.

Анализ процессов, протекающих в газовой фазе реакционной зоны, дает основание утверждать, что углекислый газ является сильным окислителем и при сварке в CO_2 формируется окислительная атмосфера, которая взаимодействует с металлом и легирующими элементами, окисляя их.

Растворяющийся в сплаве кислород может реагировать с примесями металла с образованием шлаков и газов.

В хвостовой части сварочной ванны шлак всплывает на поверхность металла, а образующиеся газообразные продукты могут служить причиной появления пор в металле шва.

Для связывания кислорода, растворенного в металле, необходимо применять электродные проволоки, содержащие раскислители, которые предохраняют от окисления легирующие добавки и подавляют процесс выгорания углерода свариваемого металла.

Металл, наплавленный при сварке в углекислом газе, чище по шлаковым включениям, и поэтому его пластические свойства несколько выше, чем при сварке под слоем флюса.

Сварку в углекислом газе не рекомендуют использовать для ответственных конструкций, работающих при низких температурах в условиях переменных и ударных нагрузок.

Свои особенности имеет и перенос электродного металла при сварке в CO_2 , что связано со специфическими свойствами углекислого газа – высокой теплопроводностью в области температур сварочной дуги и большими затратами теплоты на диссоциацию многоатомного газа CO_2 . Это приводит к интенсивному отбору теплоты с поверхности дуги и ее сжатию. Сварка в CO_2 характеризуется крупнокапельным переносом и повышенным разбрызгиванием.

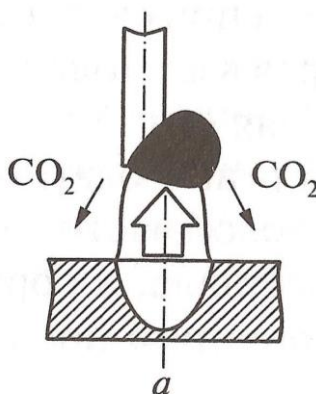


Рис.2 – Формирование капли электродного металла при сварке в CO_2

Кроме того, существуют и другие причины разбрызгивания, например, образование брызг при разрыве перемычек жидкого металла, соединяющего каплю со сварочной проволокой; выдувание капли потоками газов и паров, поднимающихся от сварочной ванны.

На рис.3 приведена зависимость потерь на разбрызгивание от силы сварочного тока для разных диаметров сварочной проволоки. Для каждого диаметра проволоки существует область токов, при которых разбрызгивание максимально. Разбрызгивание ниже при малых и больших токах.

С повышением плотности тока происходит более мелкокапельный перенос электродного металла и при больших токах дуга погружается в основной металл, в этом случае капли удерживаются внутри глубокой плоскости.

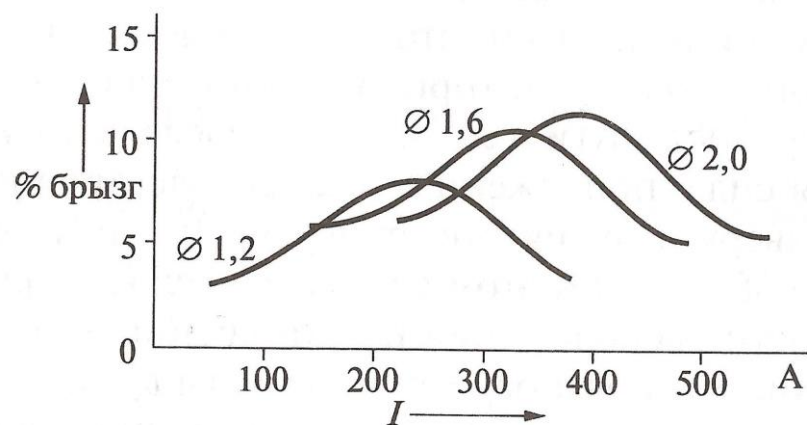


Рис.3. Зависимости потерь на разбрызгивание от силы сварочного тока (обратная полярность) при различных диаметрах проволоки Св-08Г2С)

К основным параметрам режима сварки относятся: полярность тока, как правило, обратная, диаметр сварочной проволоки, сила тока, напряжение дуги, скорость сварки, вылет электрода, примерно равный расстоянию от торца горелки до свариваемого металла, и расход защитного газа.

Переменный и постоянный прямой полярности токи не применяются из-за недостаточной устойчивости процесса и неудовлетворительного качества и формы шва. При токе прямой полярности процесс сварки сопровождается большим разбрызгиванием и крупнокапельным переносом электродного металла.

При сварке в углекислом газе особо характерным является применение электродной сварочной проволоки малых диаметров 0,8-2,0 мм, высокой плотности тока и, соответственно, большой скорости плавления электрода.

При сварке на форсированных режимах тонкой проволокой, наиболее целесообразной является плотность тока в электроде 250-450 А/мм².

Увеличение диаметра электродной сварочной проволоки, при всех прочих равных условиях, сопровождается существенным уменьшением коэффициента наплавки, некоторым увеличением ширины шва и уменьшением глубины проплавления основного металла.

Диаметр сварочной проволоки d , выбирается в зависимости от толщины свариваемых заготовок δ (табл.1):

Зависимости диаметров сварочной проволоки от толщины свариваемых
заготовок

δ , мм	0,5-1,0	1,0-2,0	2,0-4,0	5,0-8,0	8,0-1,2	12-18
d_3 , мм	0,5-0,8	0,8-1,0	1,0-1,2	1,6-2,0	2,0	2,0-2,5

Параметром, оказывающим большое влияние на процесс сварки, является сварочный ток.

Повышение силы тока вызывает увеличение глубины проплавления, при этом количество наплавленного металла возрастает медленнее, чем проплавление и доля электродного металла в металле шва существенно уменьшается. Последнее значительно увеличивает возможность появления горячих трещин в металле швов, выполненных на сталях с повышенным содержанием углерода. Ширина шва с повышением силы тока сначала увеличивается, а затем несколько уменьшается. Оптимальные режимы сварки соответствуют максимальной ширине шва.

Силу сварочного тока устанавливают в зависимости от диаметра проволоки и требуемой глубины проплавления. Регулировку силы тока осуществляют путем изменения скорости подачи проволоки и напряжения на дуге (рис. 4). Интенсивность нарастания скорости расплавления с увеличением тока увеличивается. Существенное влияние на скорость плавления оказывает вылет электрода, с увеличением которого скорость плавления увеличивается.

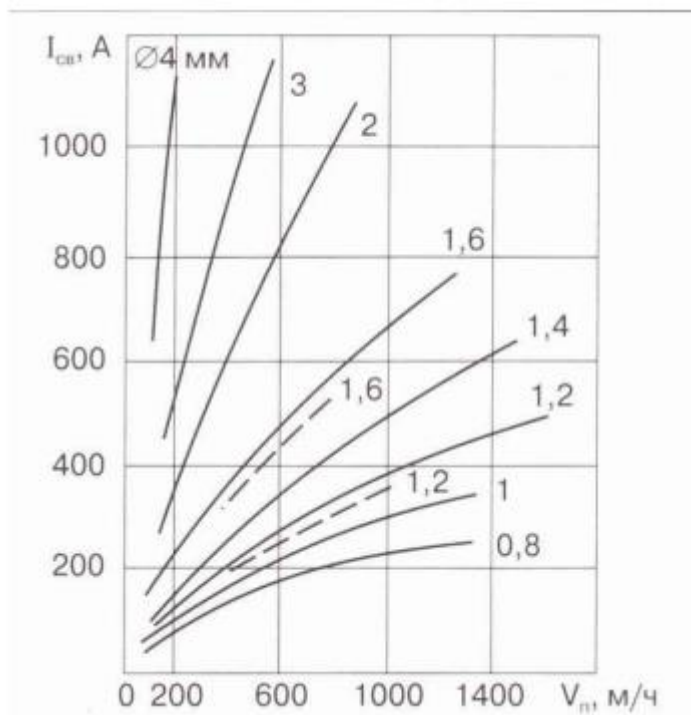


Рис.4. Зависимость силы сварочного тока от скорости подачи электродной проволоки

С увеличением напряжения дуги глубина проплавления основного металла уменьшается, а ширина шва и количество наплавленного и проплавленного металла слегка увеличиваются. Повышение напряжения дуги сопровождается усилением разбрызгивания жидкого металла и ухудшением газовой защиты зоны сварки, приводящим к порам и повышению содержания газов в металле швов.

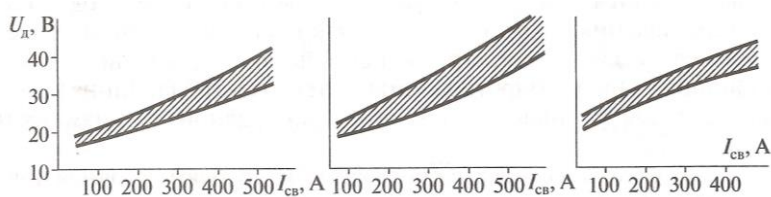


Рис.5. Диапазон оптимальных напряжений при сварке проволоками разных диаметров (а – 0,8-1,2мм, б – 1,4 мм, в – 1,6мм)

С увеличением скорости сварки уменьшаются размеры швов и количество наплавленного и проплавленного металлов.

С увеличением вылета электрода ухудшается устойчивость горения дуги и формирования шва, а также увеличивается разбрызгивания жидкого металла. При сварке с очень малым вылетом наблюдения за

процессом сварки, и часто подгорают газовое сопло и токоподводящий контактный наконечник. Кроме вылета электрода необходимо выдерживать определенное расстояние от сопла горелки к поверхности металла, поскольку с увеличением этого расстояния ухудшается газовая защита зоны сварки и возможно попадание кислорода и азота воздуха в расплавленный металл, что приводит к появлению газовых пор. Величину вылета электрода, а также расстояние от сопла горелки к поверхности металла устанавливают в зависимости от выбранного диаметра электродной проволоки.

На расход газа влияет также скорость сварки, конфигурация изделия и наличие движения воздуха, то есть сквозняков в цехе, ветра и т.д. В таких случаях для улучшения газовой защиты необходимо увеличивать расходы углекислого газа, уменьшать скорость сварки, приближать сопло к поверхности металла или использовать защитные щиты. Но увеличены расходы углекислого газа могут привести к значительному выгоранию кремния и марганца.

Рабочий пост для сварки плавящимся электродом в среде углекислого газа должен быть снабжен источником постоянного тока, полуавтоматом, баллоном с газом, редукторным осушителем, подогревателем газа, редуктором, ротаметром, амперметром и вольтметром (рис.6).

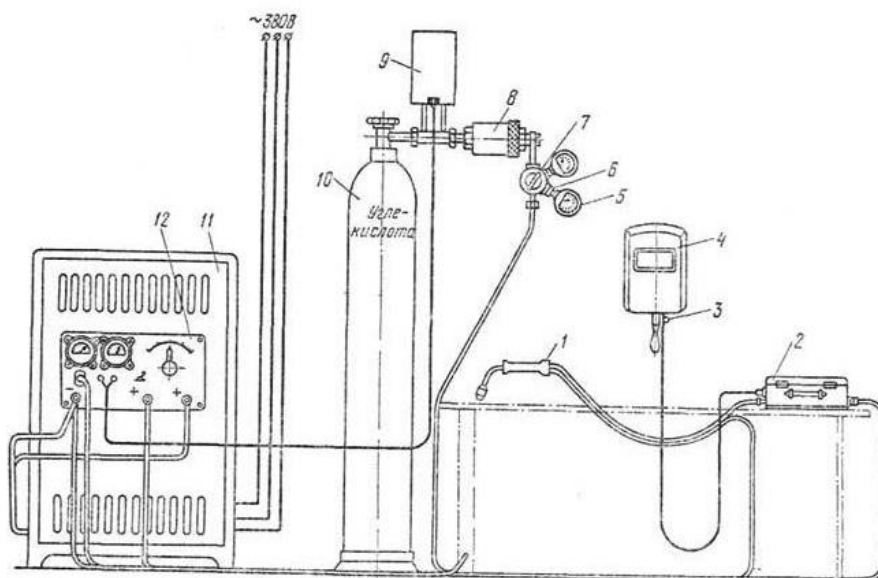


Рис. 6. Схема поста полуавтоматической сварки тонкой электродной проволокой в углекислом газе: 1 — держатель; 2 — подающий механизм; 3 — кнопка включения; 4 — защитный щиток; 5 — манометр на 0,6 МПа; 6 — переходной штуцер для установки манометра; 7 — кислородный редуктор с манометром высокого давления; 8 — осушитель газа; 9 — подогреватель газа; 10 — баллон с углекислым газом; 11 — сварочный выпрямитель (или генератор); 12 — пульт управления.

Для сварки наиболее удобна в применении жидкая углекислота.

Выпускается углекислота по ГОСТ 8050-85 с содержанием CO_2 не менее 99,5%. В стандартный баллон заливают 25 литров жидкой углекислоты, которая при испарении дает $12,5 \text{ м}^3$ газа.

Сварку в углекислом газе выполняют во всех пространственных положениях, вертикальные и потолочные швы выполняют на малых токах и проволокой небольшого диаметра.

Основными элементами полуавтоматов являются: держатель, гибкие шланги, механизм подачи сварочной проволоки, кассета со сварочной проволокой и шкаф управления. Конструктивные особенности, как самих полуавтоматов, так и их отдельных элементов зависят в основном от назначения и специализации полуавтоматов.

Наиболее важным элементом полуавтомата является механизм подачи проволоки. По способу подачи проволоки полуавтоматы делятся на толкающего и тянущего типа.

Наиболее распространены полуавтоматы толкающего типа, где сварочная проволока подается путем проталкивания ее через гибкий направляющий канал или шланг к держателю.

Устойчивая подача проволоки возможна только при достаточной ее жесткости, так как мягкая и тонкая проволока попросту сминается.

В полуавтоматах тянущего типа механизм размещен на держателе. В этом случае проволока протаскивается через гибкий шланг. Тянущая система обеспечивает устойчивую подачу мягкой и тонкой проволоки. Встречаются полуавтоматы с двумя синхронно работающими механизмами подачи. Один из них толкает, а другой протаскивает сварочную проволоку. Для сварки выпускают полуавтоматы, рассчитанные на номинальные токи 150-600 А для проволок диаметром 0,8-3,5 мм со скоростями подачи 1,0-0,17 м/мин. Полуавтоматы снабжаются источниками питания (выпрямителями) с жесткой характеристикой.

При сварке часть CO_2 из-за высокой температуры в столбе дуги диссоциирует с образованием окиси углерода и свободного кислорода. Атмосфера над сварочной ванной состоит из CO_2 , CO и O_2 . Газы вступают в реакцию с расплавленным металлом, окисляя его отдельные компоненты.

Между глубиной проплавления и током дуги рекомендуют использовать прямо пропорциональную зависимость [1]. Коэффициент пропорциональности выше, чем для сварки под флюсом. Это можно объяснить более высоким давлением дуги и, соответственно, большим погружением дуги в сварочную ванну. По-видимому, прямо пропорциональную зависимость можно использовать только для сварки с двух сторон, когда почти не сказывается влияние обратной плоскости пластины. При одинаковых токах глубина проплавления больше для электродов меньшего диаметра, что объясняется повышенной сосредоточенностью давления дуги. Наибольший провар наблюдается при короткой дуге.

Скорость сварки по сравнению с током и напряжением дуги оказывает меньшее влияние на глубину проплавления.

Количество теплоты, выделяющейся в вылете электрода под действием сварочного тока, пропорционально сопротивлению вылета электрода, квадрату силы тока и времени прохождения тока через вылет. При сварке на форсированных режимах тонкими проволоками наиболее целесообразной считается плотность тока в электроде 250-450 А/мм². Длины вылетов электродов разного диаметра рекомендуется устанавливать из условия постоянства отношения L/D^2 . Излишнее увеличение вылета тонкой проволоки, хотя и повышает производительность ее расплавления, может привести к ее деформации. Малый вылет не позволяет повысить производительность расплавления.

При сварке сталей по узкому зазору с целью стабилизации процесса сварки и уменьшения расхода дорогого и дефицитного аргона применяют двойные смеси (75% Ar + 25% CO₂) и тройные (аргона, углекислого газа и кислорода). Газовые защитные смеси имеют весьма значительные перспективы, но широкое их применение требует организации централизованного снабжения сварочного производства смесями нужного состава. Только в этом случае применение смесей может дать значительный экономический эффект.

Сварка в CO₂ плавящимся электродом преимущественно ведется дугой обратной полярности. Проплавляющая способность такой дуги значительно выше, чем при сварке неплавящимся вольфрамовым электродом в среде аргона. В последнем случае согласно ГОСТ -14771 сварка с двух сторон предусмотрена для толщин до 6 мм. При сварке плавящимся электродом такая толщина ограничена 12 мм (рис. 7).

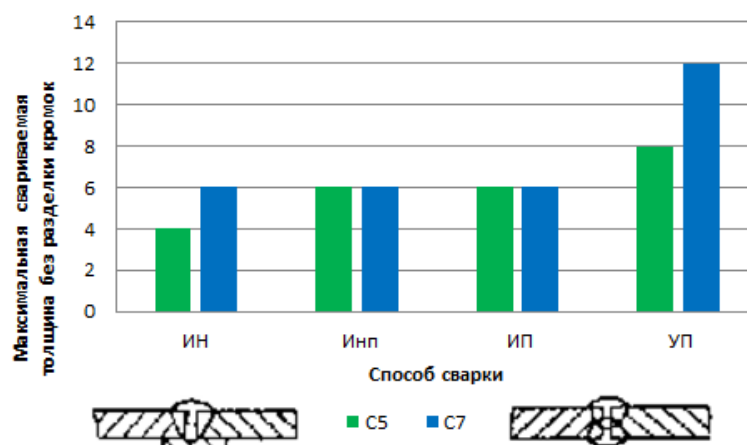


Рис. 7. Максимальные провары по ГОСТ, предусмотренные для различных способов сварки

Рассмотрим данные о плавлении электрода и изделия при сварке плавящимся электродом в защитных газах. Обобщение ряда исследований приводится в монографии [11]. Считая, что вся тепловая мощность анода идет на плавление электрода Д.М. Рабкин вычислил анодное падение напряжения и получил значение $U_a = 2,5 \pm 1$ В. Исследования, выполненные Д.М. Рабкиным, показали относительное постоянство анодного падения напряжения, а также его малое значение для мощных сварочных дуг. По мнению авторов работы, [11], такое определение анодного падения напряжения является его нижней оценкой, так как при этом не учитываются потери энергии на испарение, излучение и конвективный теплообмен. Прямые измерения анодного падения напряжения зондированием дают несколько другие результаты. Так, для дуги в аргоне электродной проволокой Св-08Г2С диаметром 1,6 мм током обратной полярности 200 и 320А анодное падение напряжения, измеренное зондовым методом, составляет 7,02 и 4,73 В соответственно, а для дуги в CO_2 при токах 110 и 280 А 8,8 и 7,5 В. Таким образом, с ростом тока анодное падение напряжения в данном случае уменьшается. Как и при сварке под флюсом зависимость между коэффициентом расплавления и током нелинейная. Защитная среда оказывает на величину коэффициента расплавления в дуге обратной полярности в защитных газах незначительное влияние. Было высказано предположение, что это связано с постоянством анодного падения

напряжения. В работе [11] приводятся также результаты расчета эффективного анодного падения напряжения с учетом теплосодержания вылета электрода. Эффективное анодное падение (вольтов эквивалент) подразумевает всю поглощаемую электродом мощность. Для тока 300 А $U_{эа}=7,16$ Вт/А, а для тока 450 А - 7,5 Вт/А. Авторы объясняют это некоторым возрастанием анодного падения напряжения с увеличением тока. Они же обращают внимание на возникшее противоречие между результатами прямого измерения анодного падения напряжения зондовым методом и расчетами эффективного анодного падения напряжения.

Авторы работы [11] приводят результаты исследования скорости плавления электродов при одинаковом токе для катода и анода. Результаты приведены в табл. 2

Таблица 2

Результаты исследования скорости плавления электродов при одинаковом токе для катода и анода

Полярность тока	$V_{э}$, см/с	Ток дуги, А	α_p , г/(А·ч)	Теплосодержание капель, Дж/г
Обратная	5	340	13	2167
Прямая	8,5	340	22,1	2011
Прямая	5	215	20,6	1927

Примечание: Электродная проволока Св-08Г2С, $d=2$ мм, вылет $L=1,54$ см.

Расчетное сопротивление вылета для тока обратной полярности составило $R_v=22,46 \cdot 10^{-4}$ Ом, а мощность, выделенная в вылете $Q_v=283$ Вт.

Теплосодержание металла вылета, вызванное протекающим током авторы определяли по формуле

$$H_v = Q_v / M_p,$$

где M_p – расход проходящей через вылет проволоки, г/с, - Q_v мощность, выделяемая в вылете, Вт.

При этом авторы, по-видимому, допускают неточность, полагая, что вся мощность расходуется на нагрев вылета. Не учитывалось, что вылет теряет мощность в окружающую среду. В результате они получили значение эффективного анодного падения напряжения для электрода $U_{эа} = 6,95$ Вт/А. С учетом высказанного замечания о потерях энергии в вылете это значение представляется несколько завышенным.

Аналогично для электрода-катода были получены значения $R_{в} = 22,3 \cdot 10^{-4}$ Ом, $Q_{в} = 258$ Вт, $H_{в} = 123$ Дж/г, $U_{эк} = 11,52$ Вт/А. Несмотря на погрешности в расчете эффективных напряжений, вызванных неточностью определения теплосодержания вылета, можно считать установленной существенное превышение мощности, выделяемой на электроде-катоде по сравнению с электродом-анодом.

В работе [15] отмечено, что связь между режимными параметрами дуги и энергетическими характеристиками процесса описывается выражением

$$\frac{V_{э} \cdot \rho}{j} = \frac{U_{э}}{H_{пл}} \quad (1)$$

где ρ – плотность электрода, г/см³, j – плотность тока, А/см²; $V_{э}$ – скорость плавления электрода, см/с; $U_{э}$ – общий вольт-амперный эквивалент выделяемой в электрод мощности, включая нагрев вылета, Вт/А; $H_{пл}$ – теплосодержание каплевыделения электродного металла, Дж/г.

Согласно выражению (1), если скорость плавления электрода увеличивается быстрее, чем растет ток, то увеличивается отношение в правой части. Оно может увеличиваться как за счет возрастания $U_{э}$, так и за счет уменьшения теплосодержания каплевыделения. По экспериментальным данным как показывают зависимости на рис. 4 имеет место опережающий рост скорости плавления. Но каким фактором он вызван, утверждать без специального анализа затруднительно.

В работе [15] на основе анализа данных о скоростях плавления электрода и теплосодержании каплевыделения значение эффективного анодного падения напряжения при сварке в защитных газах определено $U_{эа} = 5,1$ Вт/А.

Для алюминиевой проволоки при действии дуги в аргоне получено близкое значение приэлектродного эффективного падения напряжения. Показана тенденция, что с увеличением тока дуги может снижаться теплосодержание капель электродного металла.

В работе [15] также были определены скорости подачи электродов разных диаметров при постоянной плотности тока и получено, что с увеличением диаметра электрода с 1 до 2 мм скорость его расплавления увеличивается на 10%. Поскольку возрастание вольтова эквивалента в этом случае маловероятно, как за счет роста анодного падения напряжения, так и за счет роста падения напряжения в вылете, то можно предположить, что с ростом диаметра электрода происходит снижение теплосодержания капель.

В работе [16] приводится формула для расчета скорости расплавления кремнемарганцевой проволоки при сварке в CO_2 в зависимости от плотности тока и вылета электрода. Формула для коэффициента расплавления имеет вид

$$\alpha_p = \rho(0,23 + 8,0 \cdot 10^{-5} L \cdot J) \quad (2)$$

где ρ - плотность электрода, г/мм^3 , L - вылет, мм ; J - плотность тока, А/мм^2 .

Размерность α_p в данном случае $\text{г/(А} \cdot \text{с)}$. По формуле (2) коэффициент расплавления не зависит от диаметра электрода при одинаковой плотности тока. Формула (2) дает значение начального коэффициента расплавления $\alpha_{p0} = 6,46 \text{ г/А} \cdot \text{час}$). Обращает на себя внимание, что начальный коэффициент расплавления почти на 80 % меньше, чем при автоматической сварке под флюсом, значение которого $11,6 \text{ г/(А} \cdot \text{час)}$ [1]. Возможно, это также связано с тем, что при сварке в CO_2 используются проволоки малого диаметра по сравнению со сваркой под флюсом и теплосодержание капель поэтому выше.

Подтверждением того, что начальные коэффициенты расплавления при сварке в защитных газах и под флюсом могут сильно отличаться, является приведенные в работе [14] сведения о зависимости коэффициента

расплавления от длины вылета. Для проволоки Св-08А диаметром 1,6 мм при токе 350 А (сварка в аргоне +1% CO₂) $\alpha_{po} = 8 \text{ г}/(\text{А} \cdot \text{час})$.

В работе [17] предложено данные по скорости электродной проволоки аппроксимировать функцией вида $V_{\text{э}} = A \cdot I^n \cdot D^m$, и дана методика такой аппроксимации, где n , m - коэффициенты, определяемые из опыта. Использование таких формул удобно для конкретных условий сварки, но не учитывает влияние нагрева вылета только косвенно, если соблюдается соотношение между диаметром проволоки и длиной вылета, рекомендованное выше.

В работе [2] приведены данные при сварке под флюсом дугой от источника питания с формированием разнополярных импульсов тока. Длительность импульсов изменялась с шагом 25%: 0, 25, 50, 75 и 100%. В результате наглядно показано, что в диапазоне токов 500-650 А с увеличением доли тока прямой полярности увеличивается скорость плавления электрода и снижается провар основного металла. Авторы выдвинули предположение, что снижение провара с увеличением доли тока прямой полярности вызвано ростом толщины жидкой прослойки в сварочной ванне, которая препятствует передаче тепла в твердый металл. Они обосновывали увеличение толщины жидкой прослойки увеличением расплавления электродного металла.

В работе [3] выдвинуто и обосновано другое объяснение причин различия проваров на прямой и обратной полярности – различным влиянием мощности, переносимой жидким электродным металлом к изделию на проплавление основного металла по сравнению с мощностью, выделяемой приэлектродными областями дуги. Показано, что это различие достигает 2-4 раз. Этот вывод подтвержден результатами анализа определения площади поперечного сечения шва в зависимости от доли прямой полярности [7]. Независимо от доли прямой полярности площадь сечения шва остается постоянной. Это свидетельствует о том, что толщина жидкой прослойки в сварочной ванне не зависит от полярности.

Можно утверждать, что известные методики расчета тепловых процессов при сварке не учитывают различия в передачи энергии изделию в дугах различной полярности, которые имеют место по приведенному выше анализу. Известные методики расчета предполагают использование эффективной мощности дуги и эффективного КПД, которые, при близких характеристиках материала электрода, не зависят от полярности. Согласно теории сварочной дуги [11,18], эффективная мощность, выделяемая в дуге с плавящимся электродом, определяется суммой приэлектродных падений напряжения дуги, и не зависит от полярности дуги. К эффективной мощности приэлектродных областей добавляется мощность, выделяемая в вылете электрода. Эта мощность также мало зависит от полярности дуги.

Подводя итоги проведенного обзора можно заключить следующее. Сварка в CO_2 и других защитных газах плавящимся электродом являются высокопроизводительными и перспективными процессами. Однако их возможности могут быть существенно повышены за счет повышения гибкости процесса. Под гибкостью понимается расширение возможностей по регулированию химического состава и механических свойств шва за счет параметров сварки. Одним из таких важных параметров процесса является полярность сварочной дуги. Для сварки в CO_2 применяется дуга обратной полярности. Она обеспечивает максимальное проплавление металла и наивысшую стабильность дуги. Однако максимальное проплавление не всегда является оптимальным для процесса, поскольку приводит к повышенной доле участия основного металла в шве. При сварке с разделкой кромок перспективным было бы использование дуги прямой полярности, которая обеспечивает минимальное проплавление основного металла и максимальную скорость расплавления электродного металла. При сварке в CO_2 важную роль в плавлении электродного металла играет вылет электрода. Причины различной проплавляющей способности сварочных дуг в настоящее время нельзя считать окончательно выясненными. Существует несколько объяснений этого явления. Имеющиеся данные о проплавляющей

способности противоречивы. Препятствием использования дуги прямой полярности в защитных газах является низкая ее пространственная устойчивость и стабильность расплавления электрода. Аналогичную проблему при сварке под флюсом удастся решить путем использования дуги с разнополярными импульсами тока (РИП). При использовании дуги с РИП возможно очень большое количество вариантов, связанных с соотношением времени протекания дуг прямой и обратной полярности, поэтому необходима разработка САПР проектирования параметров сварки такой дугой. Для внедрения данного процесса необходимо более подробно изучить зависимости проплавления основного и плавления электродного металла при сварке в CO_2 и на этой основе предложить САПР режимов сварки дугой с разнополярными импульсами тока. Поэтому задачи данной работы можно сформулировать следующим образом.

1. Разработать методику расчета мощности, поглощаемой вылетом электродной проволоки в зависимости от полярности дуги.
2. Разработать подход к расчету проваров и температурных полей при сварке в защитных газах плавящимся электродом с учетом влияния полярности.
3. Оценить возможности регулирования доли участия основного металла в металле шва при использовании для сварки в защитных газах с плавящимися электродами дуги с разнополярными импульсами тока.
4. Разработать структуру САПР режимов сварки плавящимся электродом в CO_2 , учитывающую соотношение длительности полярностей дуги.

II. ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ СВАРКЕ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ

Анализ различия проплавления изделия в зависимости от полярности дуги.

В работе [1] приводятся данные о коэффициентах пропорциональности между током и проваром для дуги под флюсом. Из них следует, что глубина проплавления изделия больше на обратной полярности дуги. Однако эти коэффициенты не дают непосредственной оценки соотношения между проварами в зависимости от полярности. Поэтому в данной работе были проанализированы коэффициенты пропорциональности между токами и проварами на различных полярностях, приведенные в работе [1], путем расчета их отношений. Эти соотношения справедливы для способа двухсторонней сварки пластин. В этом случае провар ненамного превосходит половину толщины пластин. Результаты расчетов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Соотношение эмпирических коэффициентов пропорциональности
между током и проваром

Диаметр электрода, мм	K_o/K_{\sim}	$K_{п}/K_{\sim}$	$K_o/K_{п}$
	Флюс ОСЦ-45		
2	1,116	0,885	1,261
3	1,130	0,826	1,368
4	1,095	0,81	1,353
5	1,158	0,789	1,47
Среднее для ОСЦ-45	1,125	0,828	1,363
Флюс АН-348А			
2	1,12	0,92	1,217

3	1,136	0,864	1,316
4	1,1	0,9	1,22
5	1,105	0,895	1,235
Среднее для АН-348А	1,115	0,895	1,247
Среднее для 2-х флюсов	1,12	0,862	1,305

Примечание: K_o/K_{\sim} - соотношение проваров на обратной полярности и переменном токе; $K_{п}/K_{\sim}$ тоже для прямой полярности; $K_o/K_{п}$ – соотношение проваров на обратной и прямой полярности.

Таким образом, на обратной полярности обеспечивается провар в среднем на 30% больший, чем на прямой. Примерно такое соотношение должна обеспечивать методика расчета проваров для прямой и обратной полярностей дуги.

Одним из вариантов методики расчета является использование так называемых «приведенных» эффективных мощностей, учитывающих различное влияние на провар мощностей от приэлектродных областей дуги и мощности от электродного металла.

Под «приведенной» мощностью будем понимать такую эффективную мощность, которая обеспечивает при расчете наблюдаемое соотношение проваров для обратной и прямой полярности. Сумма каждой из «приведенных» мощностей должна быть равна эффективной мощности

$$q_{и} = q_{п} + q_{o}.$$

С другой стороны, соотношение между проварами получено выше и в связи с прямой пропорциональной зависимостью между эффективной мощностью и проваром можно записать

$$q_o/q_{п} = k = 1,3.$$

Выполнив преобразования получим

$$q_{п} = q_{и}/2,3 = 0,43q_{и}.$$

$$\text{Тогда } q_o = 0,57 q_{и}.$$

Таким образом, определив эффективную мощность каким-либо образом, с помощью этих формул можно определить «приведенные» значения и использовать их при расчете проваров. Значения коэффициентов k можно брать более точными из табл. 3 в зависимости от марки флюса и диаметра электрода.

Для оценки значений коэффициента на основе теории сварочной дуги был предложен следующий подход [8]. Известно, что вольтов эквивалент эффективной анодной мощности, определенный по коэффициенту плавления электрода при нулевом вылете близок к $U_{за} = 6$ Вт/А, и практически не зависит от тока. В то же время суммарный вольтов эквивалент приэлектродных областей дуги при сварке под флюсом составляет примерно 22 Вт/А и равен сумме приэлектродных падений напряжения [18]. Эта сумма сравнительно легко определяется, например, с помощью опыта короткого замыкания дуги. Следовательно, вольтов эквивалент катодной области может быть принят $U_{эк} = 16$ Вт/А. Далее было сделано допущение, что изделию для образования провара передается 100 % мощности его приэлектродной области. Доля мощности, вносимая остальными областями должна определяться расчетным путем на основе экспериментальных данных. В результате получили простые формулы для определения вольтова эквивалента приведенной эффективной мощности дуги под флюсом

На обратной полярности

$$U_o = U_{эк} + \varphi(U_{\partial} - U_{эк}).$$

На прямой полярности

$$U_n = U_{за} + \varphi(U_{\partial} - U_{за}).$$

Коэффициент φ оценивается на основе экспериментальных данных. Результаты расчетов эффективных мощностей и их соотношений при $\varphi = 0,4$ приведены в табл. 4.

Таблица 4

Расчетные соотношения приведенных эффективных мощностей прямой (ПП) и обратной (ОП) полярностей

d, мм	I _д , А	Полярность	q _и , Вт	k=q _о /q _п
2	300	ОП	6553	1,38
		ПП	4752	
3	500	ОП	8888	1,37
		ПП	6487	
4	700	ОП	17220	1,32
		ПП	13020	
5	900	ОП	23084	1,31
		ПП	17684	

Из табл. 4 следует, что данный подход вполне работоспособен, отношение приведенных эффективных мощностей соответствует соотношению проваров при двухсторонней сварке пластин. Для дальнейшего уточнения методики необходима математическая модель проплавления изделия при двухсторонней сварке. Выполненные анализ и расчеты подтверждают, что причиной различия в проварах в зависимости от полярности дуги является различие во влияние составляющих эффективной мощности: приэлектродной области и жидкого электродного металла.

Выбор математической модели распространения тепла при сварке

Поскольку в работе [3] показано, что вклад мощностей электродного металла и приэлектродной области в провар различен и подтвержден выше приведенным анализом, естественно предложить для описания температур схему двух источников тепла с различной сосредоточенностью. Аналогом этого процесса можно считать тандемную сварку, когда две или три дуги

перемещаются на некотором расстоянии друг от друга в направлении сварки. Тандемная сварка позволяет повысить производительность, достаточно широко используется, однако этот способ остается мало исследованным теоретически.

Для расчетов температур при сварке пластин без разделки кромок на кафедре «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы» Тольяттинского государственного университета эффективно используется схема движущегося на поверхности плоского слоя нормально-кругового источника тепла [9].

Температурное поле от такого источника описывается формулой (3)

$$\theta := \frac{2 \cdot q}{c\gamma \cdot (4 \cdot \pi \cdot a)^{1.5}} \cdot \sum_{n=-N}^N \int_0^t \frac{1}{\sqrt{t \cdot (t_0 + t)}} \cdot e^{-\left[\frac{(z - 2 \cdot n \cdot \delta)^2}{4 \cdot a \cdot t} + \frac{[x - v \cdot (t_0 + t)]^2 + y^2}{4 \cdot a \cdot (t_0 + t)} \right]} dt$$

где x, y, z - координаты точки относительно подвижной системы

координат источника теплоты, см; t - время процесса сварки, с;

$c\gamma$ - Объемная теплоемкость, Дж/град·см³; q – эффективная мощность дуги, Вт;

δ - толщина металла, см; a – температуропроводность, см²/с; $t_0 = 1/4ak$ – постоянная времени, характеризующая сосредоточенность теплового потока от дуги к изделию, с; v – скорость движения источника тепла, см/с;

N – Количество фиктивных теплоисточников, учитывающее отражение тепла от поверхности пластины.

Распределение мощности нормально-кругового теплоисточника на поверхности металла описывается выражением

$$q(r) = q_0 \cdot e^{-kr^2}, \quad (4)$$

где q_0 – максимальная плотность теплового поток на оси источника тепла;

k - коэффициент сосредоточенности, характеризующий распределённость теплового потока в пятне нагрева.

Между эффективной мощностью $q_{и}$ и параметрами распределения в (4) существует известная взаимосвязь

$$q_{и} = q_0 \frac{\pi}{k} \quad . \quad (5)$$

В дальнейшем исследовались тепловые процессы при тандемной сварке путем математического моделирования процесса [19]. За основу математической модели применяли схему движущегося нормального кругового источника тепла на поверхности плоского слоя [9]. Применяли метод сложения температур от двух движущихся источников. Исследование проводили для низкоуглеродистой стали. Теплофизические свойства стали приведены в табл. 5. За начало координат принимали ось переднего источника тепла.

Таблица 5

Теплофизические свойства низкоуглеродистой стали

Объемная теплоемкость, Дж/(см ³ /°С)	ср=5,23
Температуропроводность, см ² /с	а=0,08
Температура плавления, °С	Тл=1500
Толщина пластины, см	0,6
Скорость сварки, см/с	Vс=0,135
Осовой тепловой поток, Вт/см ²	q=4200
Суммарная мощность источников тепла, Вт	2860

Провар пластины при координате x рассчитывали, используя метод дихотомии [10], то есть границу сварочной ванны определяли внутри отрезка между верхней плоскостью пластины и нижней, так строили продольный профиль провара по оси шва ($y=0$).

При дистанции между источниками R продольные координаты x заднего источника составили $(x+R)$. Положительные координаты x

располагались позади переднего источника тепла. При вольтовом эквиваленте эффективной мощности дуги $U_{\text{э}} = 8 \text{ В/А}$ суммарный ток сварочных дуг можно оценить в 360 А.

Результаты теоретических исследований тандемной сварки

На первом этапе дистанцию между источниками выбрали $R=4\text{см}$. Мощности переднего источника 953 Вт и заднего 1907 Вт. Для каждой толщины провара рассчитывались температуры, вкладываемые в температуру плавления каждым из источников. Результаты расчетов приведены на рис. 8 и 9.

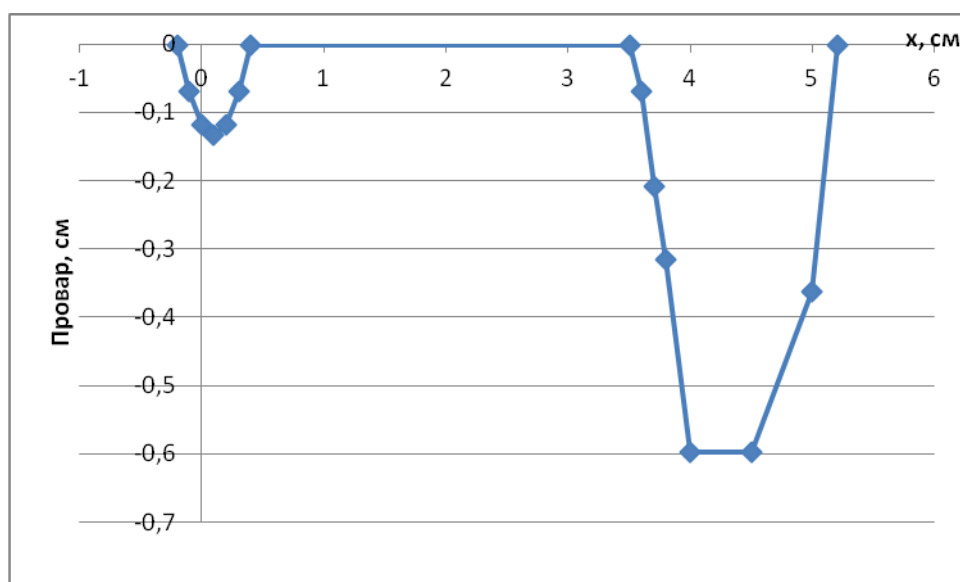


Рис. 8. Профиль провара при $q_1=953 \text{ Вт} < q_2=1907 \text{ Вт}$, $R=4\text{см}$

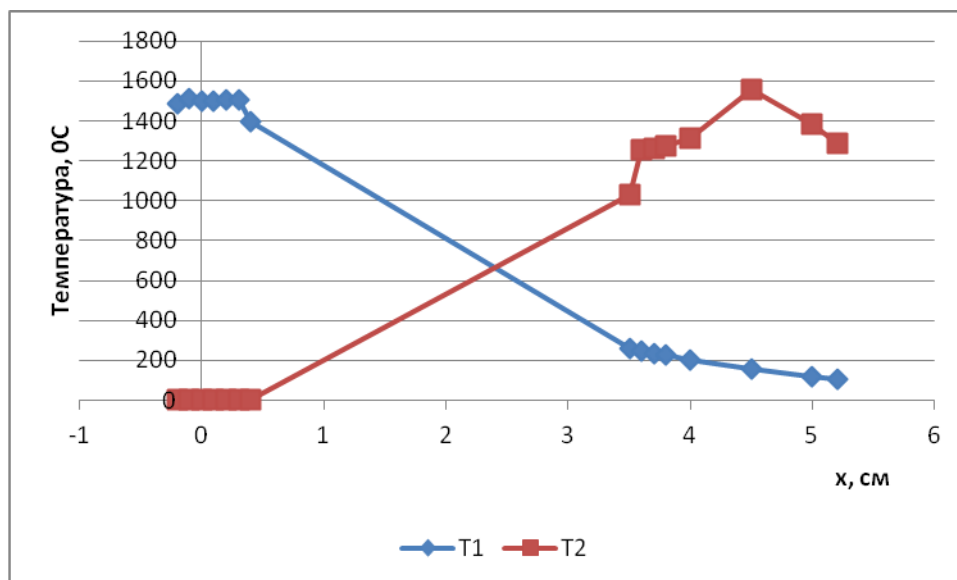


Рис.9. Вклад в температуру плавления источников тепла при переднем менее мощном источнике

Из графиков рис. 8 и рис. 9 видно, что в данной ситуации образуются отдельные сварочные ванны. Расстояние между ваннами 3 см несколько меньше, чем дистанция между источниками. Для задней сварочной ванны имеет место полный провар на длине 0,8 см. Т.о., провар от переднего источника тепла невелик, и он обеспечивает, в основном, подогревающее воздействие на область действия заднего.

Задний источник не оказывает на передний практически никакого влияния до координаты $x=0,5$ см. Подогревающее действие переднего источника в области второй сварочной ванны также незначительно. Это свидетельствует о том, что дистанция между источниками слишком велика.

В следующем опыте источники поменяли местами $q_1=1907$ Вт и $q_2=953$ Вт (рис. 10 и 11).

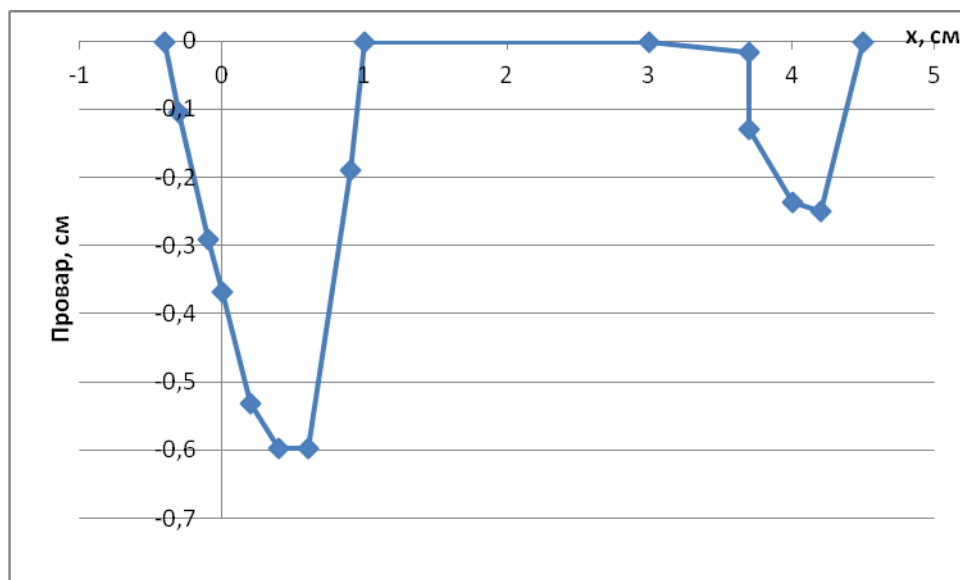


Рис. 10. Профиль проваров при $q_1=1907 > q_2=953$ Вт, $R=4$ см,

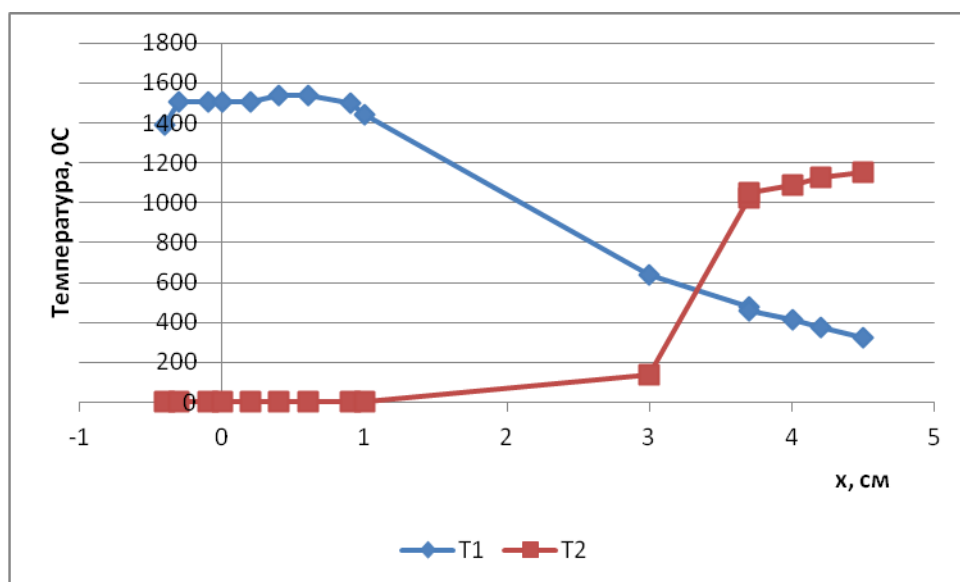


Рис. 11. Вклад в температуру плавления источников тепла при переднем более мощном источнике

Из графиков рис. 10 и 11 следует, что сварочные ванны от каждого источника также образуются отдельные. Расстояние между ваннами уменьшили на 1 см.

Задний источник не оказывает на передний практически никакого влияния.

Провар от источника малой мощности увеличился по сравнению с 1 опытом, но он составляет менее 0,45 толщины пластины. Использование тандемной сварки в данном случае нецелесообразно, т.к. для передней сварочной ванны имеет место полный провар на длине 0,5 см.

В следующем опыте уравнили мощности источников $q_1=q_2=1430$ Вт (рис.12,13).

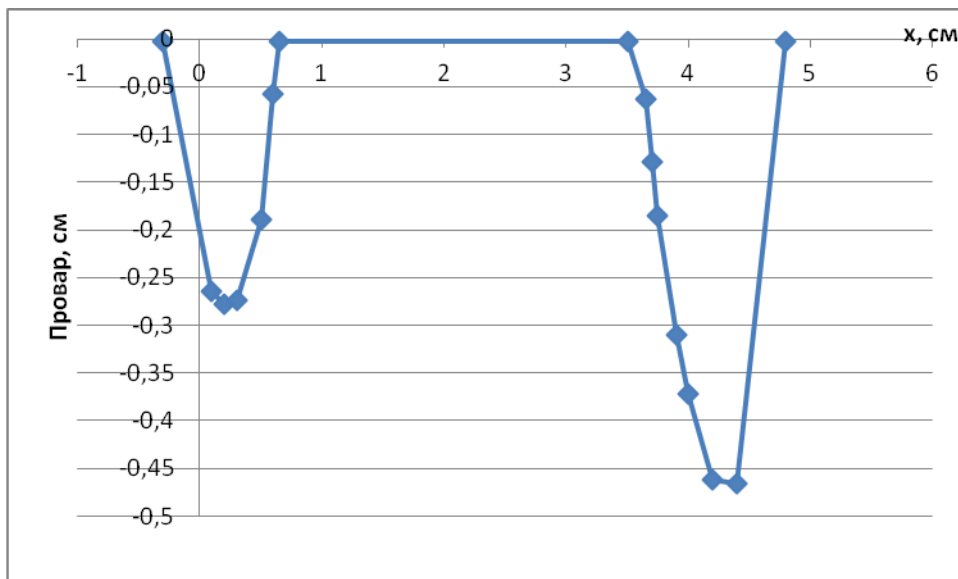


Рис. 12. Профиль провара при $q_1=q_2=1430$ Вт, $R=4$ см

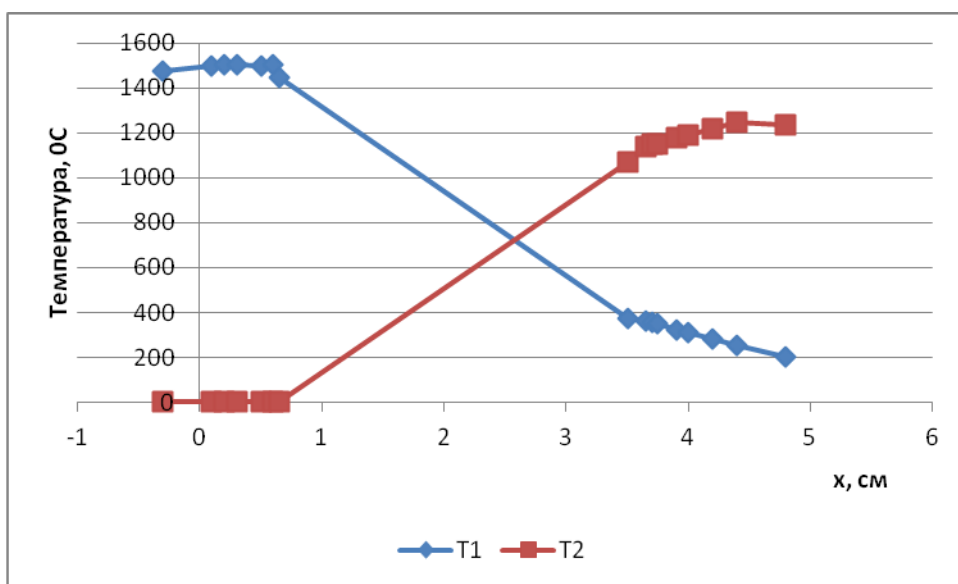


Рис. 13. Вклад в температуру плавления источников тепла при равной мощности источников

Из графиков рис. 12. и 13 видно, что сварочные ванны от каждого источника образуются раздельные.

Провар от переднего источника увеличили в 1,5 раза, что соответствует увеличению его мощности. В отличие от опыта 1 (рис. 8 и 9) второй источник, как и в предыдущем случае, не обеспечивает полного провара. Использование тандемной сварки в данном случае также не эффективно, т.к. отсутствует провар второй сварочной ванны. Это обусловлено выбором слишком большой дистанции между дугами.

В следующем опыте при равных мощностях $q_1=q_2=1430$ Вт уменьшили дистанцию до 2,5 см (рис.14,15).

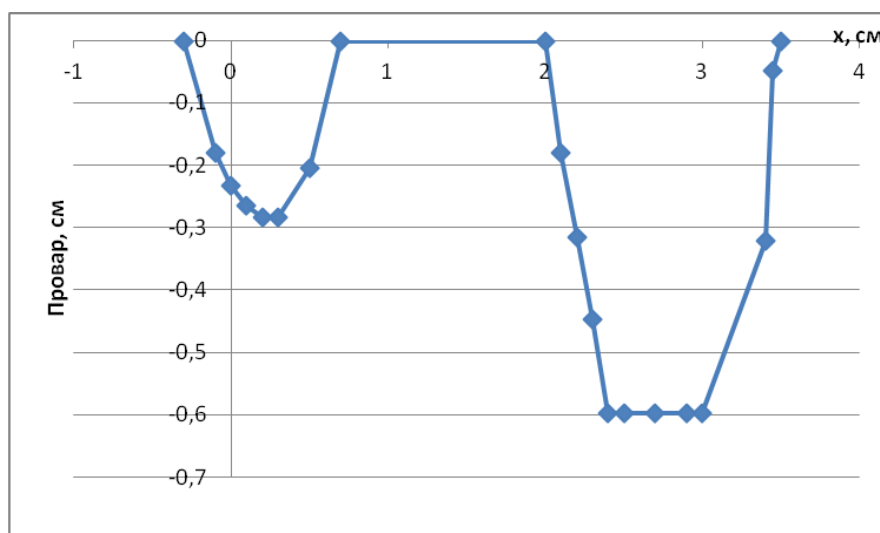


Рис. 14. Профиль провара при $q_1=q_2=1430$ Вт, $R=2,5$ см

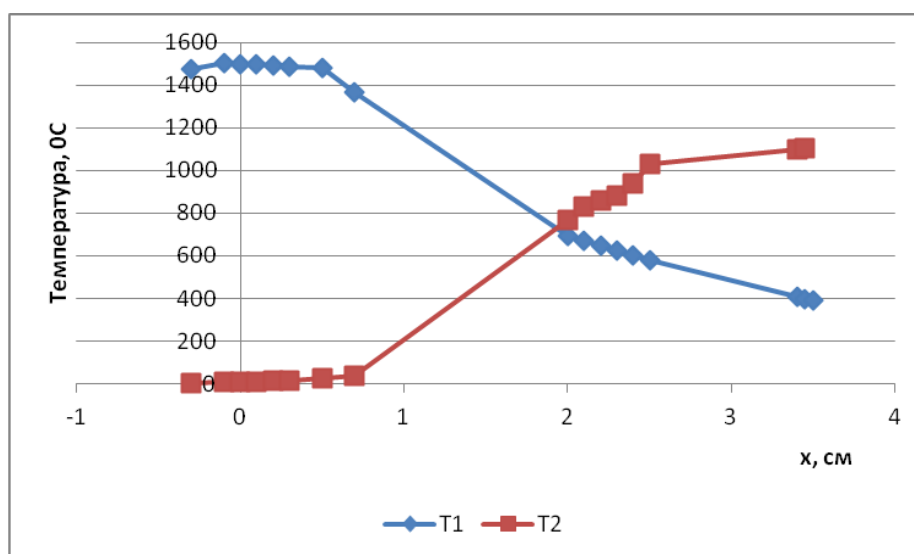


Рис. 15. Вклад в температуру плавления источников тепла при равной мощности источников

Из графиков рис. 14 и 15 видно, что сварочные ванны от каждого источника образуются отдельные. Расстояние между ваннами 1,7 см несколько меньше, чем дистанция между источниками. Для задней сварочной ванны имеет место полный провар на длине 2,8 см.

Задний источник не оказывает на передний источник практически никакого влияния, т.к. выбранное нами расстояние слишком большое.

В следующем опыте мощности переднего источника $q_1=953$ Вт и заднего $q_2=1907$ Вт с дистанцией между ними 2,5 см (рис. 16,17).

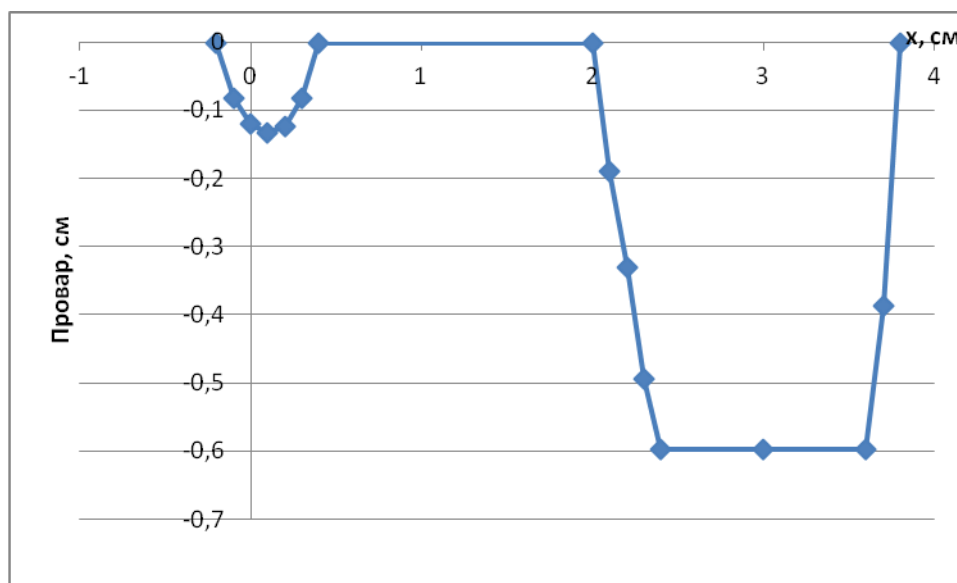


Рис. 16. Профиль провара при $q_1=953$ Вт $< q_2=1907$ Вт, $R=2,5$ см
1 – передний источник; 2 – задний источник.

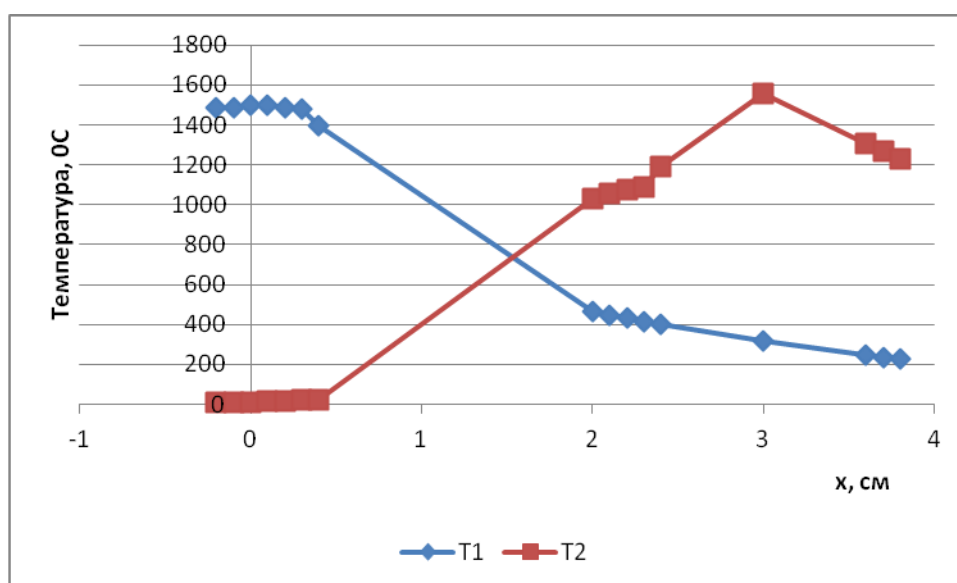


Рис. 17. Вклад в температуру плавления источников тепла при переднем маломощном источнике

Из графиков рис. 16 и 17 видно, что сварочные ванны от каждого источника образуются отдельные. Расстояние между ваннами 1,6 см несколько меньше, чем дистанция между источниками. Для задней сварочной ванны имеет место полный провар на длине 3 см.

В результате проведенных расчетов установлено, что при односторонней тандемной дуговой сварке передний источник должен выполнять прежде всего подогревающую роль для заднего источника. Поэтому рекомендуемое соотношение мощностей переднего и заднего источника 1:2. Оно может обеспечить полный провар пластин без слияния сварочных ванн. Важным параметром процесса односторонней тандемной сварки является дистанция между источниками, позволяющая дополнительно регулировать термические циклы зоны сварки, снижать мощность заднего источника, уменьшая давление сварочной дуги.

Применение метода тандемных источников для расчета провара при сварке в CO_2

Как уже было показано выше, применение для расчета температур классического подхода по эффективной мощности дуги, рассчитанной с помощью эффективного КПД проблематично. Иначе говоря, при расчете проплавления изделия при сварке плавящимся электродом необходимо опробовать расчетную схему двух источников тепла с различной плотностью тепловых потоков.

Впервые подобный подход был предложен В.И. Столбовым применительно к сварке неплавящимся электродом [5]. Им установлено, что плазменные потоки, создаваемые дугой, могут переносить до 40% общей эффективной мощности и оказывать влияние на провар и его форму. Однако подробных исследований по проверке гипотезы В.И. Столбова выполнено не было. Одним из затруднений в создании такого подхода является отсутствие методики определения мощности, создаваемой и переносимой плазменными

потоками свободной дуги. Для сварки плавящимся электродом составляющие эффективной мощности могут быть определены на основании данных о скоростях плавления электрода и приэлектродных падениях напряжения дуг [3,11,18].

Для оценки перспективности методики двух источников тепла были выполнены расчеты для двусторонней сварки плавящимся электродом в CO_2 пластин толщиной 6,5 мм по различным расчетным схемам. Режимы сварки дугой обратной полярности взяты из работы [6]. Диаметр электродной проволоки 1,6 мм, ток 280 -300 А, напряжение дуги 28-30 В, скорость сварки 30-35 м/час. Полная мощность дуги принималась

$$P_d = 29 \cdot 290 = 8410 \text{ Вт}$$

Было принято, что провар должен соответствовать 0,5 толщины +1 мм. Таким образом, для толщины 6,5 мм опытное ориентировочное значение провара 4,3 мм.

При расчете эффективной мощности принимали эффективный КПД дуги $\eta_{\text{д}}=0,8$. Тогда эффективная мощность дуги

$$Q = 8410 \cdot 0.8 = 6728 \text{ Вт}.$$

При расчетах использовали ранее описанную программу «ТАНДЕМ», опробованную для анализа тандемной сварки.

При этом погружение активного пятна дуги в металл не учитывается, так использовался минимальный ток дуги со сравнительно низким давлением. Теплофизические свойства принимались следующими: температуропроводность $a = 0,08 \text{ см}^2/\text{с}$, объемная теплоемкость, $C_v - 5,0 \text{ Дж}/(\text{см}^3 \text{ }^\circ\text{C})$. Вольтов эквивалент катодной области принимался по данным [11] для сварки в CO_2 11,5 Вт/А.

Следовательно, мощность, вводимая катодной областью на изделии

$$P_{\text{к}} = 11,5 \cdot 290 = 3335 \text{ Вт}.$$

Остальная часть эффективной мощности дуги вводится в изделие жидким электродным металлом и плазменными потоками. Ее можно оценить

$$P_{\text{ж}} = Q - P_{\text{к}} = 6728 - 3335 = 3393 \text{ Вт}.$$

Таким образом, в данном случае мощности двух источников тепла достаточно близки. Значения осевых тепловых потоков принимали ориентировочно на основе данных работы [9]. Результаты расчетов по различным схемам приведены в табл. 6.

Таблица 6

Параметры источников тепла и значения максимального провара

Характеристика расчетной схемы	$q_{и}, \text{Вт}$	$q_{о}, \text{Вт/см}^2$	$D_{н}, \text{см}$	$-x, \text{см}$	$H, \text{см}$
Точечный, полубесконечное тело	6728	-	-	0,57	0,46
Один НКИ	6728	4200	2,47	2,2	0,24
Один НКИ	6728	8400	1,75	1,8	0,36
Два соосных НКИ	3728	4200	1,83	1,9	0,28
	3000	2000	2,39		
Два соосных НКИ	3728	4200	1,83	1,8	0,34
	3000	3000	1,95		
Два соосных НКИ	3364	4200	1,74	1,8	0,36
	3364	4200	1,74		
Два соосных НКИ со смещением 1 см	3364	4200	1,74	2,4	0,32
	3364	4200	1,74		
НКИ с высокой сосредоточенностью	6728	42000	0,75	1,2	0,47
НКИ на полубесконечном теле	6728	4200	2,47	1,8	0,20
Два НКИ на полубесконечном теле	3364	4200	1,74	-	0,32

Примечание: $D_{н}$ - диаметр пятна нагрева, x – координата максимального провара, H – провар.

Обращает на себя внимание большая разница в расчете провара при использовании схемы точечного источника на полубесконечном теле, которая часто безосновательно используется в литературе для оценки

температурного поля. Эта схема, по-видимому, дает сильно завышенные результаты. Близкий результат дает и использование схемы плоского слоя с высококонцентрированным источником тепла. Наоборот НКИ на массивном теле дает заниженные результаты.

Повышение осевого теплового потока в 2 раза привело к повышению провара в 1,5 раза. Дальнейшее повышение осевого теплового потока дает уже незначительный эффект.

Интересным представляется то, что два распределенных источника с одинаковой суммарной мощностью дают больший провар, чем один источник. Разница увеличивается с повышением осевого теплового потока.

Значения расчетных проваров для двух источников тепла находятся близко к половине толщины пластины. Это свидетельствует о качественно правильном выборе основных параметров расчета. В дальнейшем методика должна уточняться.

Выводы

1. Провар изделия при сварке под флюсом дугой обратной полярности в среднем на 30-35% выше, чем на прямой полярности. Относительно производительности расплавления электрода зависимость меняет знак.

2. На основе метода суперпозиций разработана компьютерная программа расчета температур при сварке двумя нормально-круговыми источниками тепла со смещением в направлении скорости сварки и теоретически исследованы основные особенности тандемной сварки.

3. Исследовано влияние на провар изделия 6 вариантов расчетных схем с различными параметрами. Наиболее адекватной схемой расчета при сварке в CO_2 является схема двух, концентрично расположенных, нормально-круговых источников тепла.

4. Два концентрично расположенных источника тепла с нормально-круговым распределением теплового потока теоретически обеспечивают больший провар при сварке, чем один источник удвоенной мощности.

5. Расчетная схема с двумя источниками тепла с различной сосредоточенностью теплового потока, описывающими введение в изделие мощности приэлектродной области дуги и жидкого электродного металла, перспективна для расчета провара и температур при сварке.

III. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЯ В ВЫЛЕТЕ ЭЛЕКТРОДА

Методика анализа энерговыделения в вылете электрода

В мощности, переносимой жидким электродным металлом к изделию определенную долю занимает мощность, выделенная в вылете электрода. Однако вклад этой мощности в производительность расплавления электрода изучен недостаточно.

В данной работе анализировались параметры сварки в CO_2 , приведенные в работе [6]. Это одна из немногих работ, в которых наряду с параметрами процесса приводятся данные о вылете электрода. Представляется наиболее вероятным, что в работе [6] изменения напряжения сварки U_c обусловлены изменением диапазона вылета электрода, а не представляют оценочный диапазон от всех возможных воздействий. В работе [6] сведения о производительности расплавления электродной проволоки приведены в виде скорости ее расплавления. Более удобно представлять производительность расплавления через коэффициент расплавления. Исходные данные для анализа приведены в табл.7.

Таблица 7

Данные параметров сварки в CO_2 и коэффициенты расплавления

Диаметр электрода 1мм					
Ид, А	J, А/мм ²	Вылет, мм	U_c , В	α_{\min} , г/(А·ч)	α_{\max} , г/(А·ч)
1	2	3	4	5	6
250	318	7-15	28-34	12,0	20,8
300	382	10-15	32-36	16,9	23,1
350	446	10-15	34-40	18,4	25,4

Диаметр электрода 1,2мм					
300	265	10-22	31-36	13,2	23,2
350	310	10-22	33-40	14,9	25,2
400	354	14-22	36-42	19,8	26,5
450	398	14-22	39-45	21,0	28,4
500	442	14-22	40-49	21,9	30,0
Диаметр электрода 1,4мм					
400	260	14-30	35-42	15,3	27,0
450	292	14-30	37-45	16,3	28,0
500	325	14-30	38-49	17,3	29,8
550	357	20-30	43-51	22,9	31,2
600	390	20-30	45-54	24,0	32,6
Диаметр электрода 1,6мм					
500	249	18-38	38-49	17,2	30,7
550	274	18-38	42-51	18,2	31,3
600	299	18-38	43-54	19,1	32,7
800	398	18-25	52-58	22,5	28,1

Естественно предположить, что для каждого значения тока в табл. 7 причиной изменения напряжения дуги и производительности расплавления является изменение вылета электрода. Рассчитывали среднее сопротивление миллиметра вылета, приходящееся на 1А по формуле

$$R_1 = (U_{\max} - U_{\min}) / (\Delta L_B \cdot I_d),$$

где U_{\max} и U_{\min} - соответственно максимальное и минимальное значения напряжения дуги, В; ΔL_B – приращение вылета в мм; I_d – ток дуги, А.

Полное падение напряжения в вылете

$$U_B = R_1 \cdot L_B.$$

Падение напряжения в дуге U_d

$$U_{д} = U_{с} - U_{в},$$

где $U_{с}$ – полное напряжение сварки, включая напряжение в вылете, В.

Результаты расчета R_1 и $U_{д}$ – приведены в табл.8.

Таблица 8

Значения удельного сопротивления вылета и напряжения дуги

$I_{д}, A$	$U_{в}, B$	$R_1 \cdot 10^4, Ом/мм$	$U_{д}, B$
1	2	3	4
Диаметр электрода 1 мм			
250	5, 2-11,2	30	22,8
300	8,0-12,0	27	24
350	12,0-18,0	34	22
Диаметр электрода 1,2 мм			
300	3,2-8,2	15	27,8
350	5,8-12,8	17	27,2
400	10,5-16,5	19	25,5
450	11,5-17,5	17	28,5
500	15,7-24,7	23	24,3
Диаметр электрода 1,4 мм			
400	6,1-13,1	11	28,9
450	7-15	11	30
500	9,6-20,6	14	28,4
550	16-24	15	27
600	18-27	15	27
Диаметр электрода 1,6 мм			
500	9,9-20,9	11	28,1
550	8,1-17,1	8	33,9
600	9,9-20,9	9	33,1
800	15,4-21,4	11	36,6

Из данных табл. 8 видно, что разброс значений сопротивления и напряжения дуги для каждого диаметра электрода носит случайный характер, поэтому рассчитывались средние значения, использованные на рис.18, 19.

Зависимость средних значений сопротивления от диаметра электрода аппроксимировалась степенной функцией вида

$$R_1 = A \cdot D^n \quad (6)$$

Коэффициенты A , n формулы (6) определялись с помощью компьютерной программы, приведенной в работе [10]. В результате получили (с точностью до второго знака) $A = 29,32$; $n = -2,34$. Сравнение аппроксимированных данных с опытными приведено на рис 18.

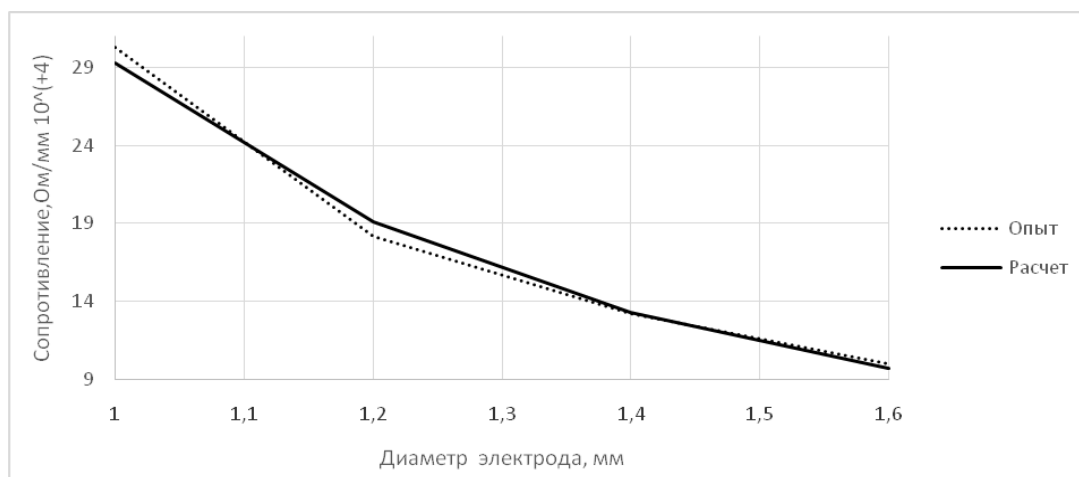


Рис. 18. Сравнение данных сопротивления вылета по формуле (6) с опытными. Наибольшее отклонение для диаметра 1,2 мм не превышает 5%.

Аналогичным образом выполнялась аппроксимация средних значений напряжения на дуге, но для линейной функции вида

$$U_d = B_0 + B_1 \cdot D_э \quad (7)$$

Получили значения коэффициентов $B_0 = 7,16$ В, $B_1 = 15,8$ В/мм.

Сравнение аппроксимированных и опытных данных приведено на рис. 19.

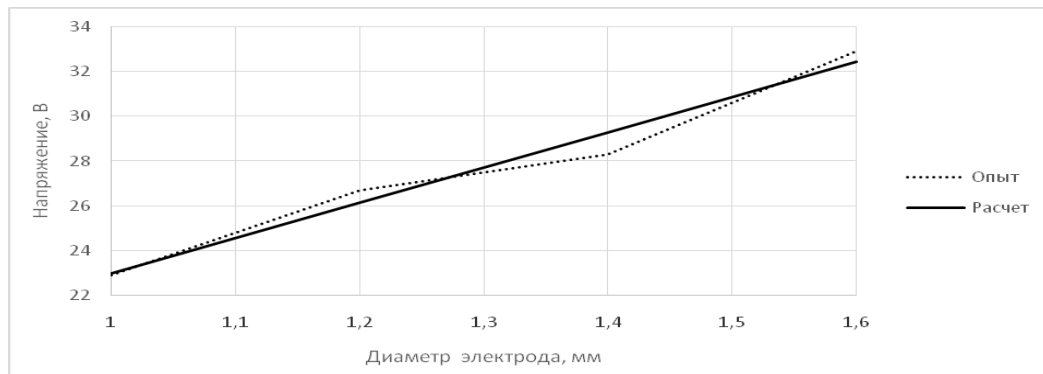


Рис. 19. Сравнение напряжения дуги по формуле (7) с опытными

Падение напряжения в вылете с помощью формулы (7) сравнивали с опытными данными из работы [11], в которой исходные данные были следующими: $D_{\text{э}} = 2\text{ мм}$, $L_{\text{в}} = 15,4\text{ мм}$, $I_{\text{д}} = 340\text{ А}$.

В результате получили расчетом $R_1 = 5,8 \cdot 10^{-4}\text{ Ом/мм}$, $U_{\text{в}} = 3,02\text{ В}$. По данным [11] $U_{\text{в}} = 0,8\text{ В}$.

Падение напряжения в вылете в работе [11] производилось по видоизмененной формуле, предложенной Б.Е. Патеном, которая приводится в первоначальном виде в работе [14]. Соответственно в работе [11] для дуги обратной полярности получено значение приэлектродного вольтова эквивалента анодной области дуги, которое для тока дуги 340 А составило $U_{\text{э}} = 6,95\text{ Вт/А}$. Это значение также на 2 В больше оценки, полученной для дуги обратной полярности в работе [15]. Поэтому более правильным следует считать для анодной области оценку $U_{\text{э}} = 5\text{ Вт/А}$.

После этого оценивалась эффективность использования мощности, выделяемой в вылете на производительность расплавления и коэффициент расплавления при нулевом вылете. Для этого по данным [11] принимали энтальпию капле электродного металла $H_{\text{к}} = 2167\text{ Дж/г}$. Вольтов эквивалент мощности нагрева электрода в вылете определяли по формуле

$$U_{\text{ЭВ}} = H_{\text{к}} (\alpha_{\text{max}} - \alpha_{\text{min}}) / 3600 \quad (8)$$

Эффективный КПД нагрева электрода в вылете оценивали по формуле

$$\eta_{\text{В}} = U_{\text{ЭВ}} / (U_{\text{max}} - U_{\text{min}}) \quad (9)$$

Начальный коэффициент расплавления рассчитывался по формуле

$$\alpha_0 = \alpha_{\min} - \Delta\alpha L_{B\min} / \Delta I_B) \quad (10)$$

где $\Delta\alpha$ – приращение коэффициента расплавления при изменении вылета ΔL_B от минимального до максимальных значений; $L_{B\min}$ – минимальная длина вылета, мм.

Также, по аналогии с сопротивлением R_1 , рассчитывалось удельное приращение коэффициента расплавления на 1 Ампер тока дуги

$$\alpha_1 = \Delta\alpha / (\Delta L_B \cdot I_D) \quad (11)$$

Результаты расчетов приведены в табл. 9

Таблица 9

Эффективность использования мощности в вылете и начальный коэффициент расплавления

Диаметр электрода 1мм					
I_D , А	$U_{ЭВ}$, ВТ/А	ΔU_B , ВТ/А	η_B , %	α_0 , Г/(А·ч)	α_1 , Г/(А ² ч·мм)
1	2	3	4	5	6
250	5,3	6	88	4,3	$4,4 \cdot 10^{-3}$
300	3,7	4	93	4,5	$4,1 \cdot 10^{-3}$
350	4,2	6	70	4,4	$4,0 \cdot 10^{-3}$
Диаметр электрода 1,2 мм					
300	6	5	120	4,9	$2,8 \cdot 10^{-3}$
350	4,4	7	63	6,3	$2,45 \cdot 10^{-3}$
400	4	6	67	8,0	$2 \cdot 10^{-3}$
450	4,5	6	74	8,0	$2 \cdot 10^{-3}$
500	4,9	9	54	7,7	$2 \cdot 10^{-3}$
Диаметр электрода 1,4 мм					
400	7	7	100	5,1	$1,8 \cdot 10^{-3}$
450	7	8	88	6,1	$1,6 \cdot 10^{-3}$
500	7,5	11	68	6,4	$1,6 \cdot 10^{-3}$
550	5	8	62	6,3	$1,5 \cdot 10^{-3}$

600	5,2	9	58	6,8	$1,4 \cdot 10^{-3}$
Диаметр электрода 1,6 мм					
500	7,7	11	71	5,1	$1,4 \cdot 10^{-3}$
550	7,9	9	88	6,4	$1,2 \cdot 10^{-3}$
600	8,2	11	74	6,9	$1,1 \cdot 10^{-3}$
800	3,4	6	56	8,1	$1,0 \cdot 10^{-3}$

Если отбросить явно выпадающие точки, при которых η_v превышает 100%, то среднюю эффективность использования мощности в вылете можно оценить в 70% при погрешности от этой величины в 15%.

Коэффициент расплавления при нулевом вылете имеет тенденцию к увеличению с ростом тока для всех диаметров электродной проволоки. Важно, что этот коэффициент существенно меньше аналогичного для автоматической сварки под слоем флюса, который на обратной полярности не зависит от тока и равен $\alpha_0 = 11,6 \pm 0,4$ г/(А·ч) [1]. Близкое значение начального коэффициента расплавления $\alpha_0 = 8$ г/(А·ч) приведено в работе [14] для диаметра электрода $D_{\text{э}} = 1,6$ мм при токе 350 А для дуги в смеси Ar+1% O₂.

Удельное приращение коэффициента расплавления, приведенное к единичной длине вылета (столбец б) снижается в 4 раза для диаметра электрода 1,6 мм по сравнению с диаметром 1,0 мм.

В работе [16] приводится формула для скорости расплавления кремниевом –марганцевой электродной проволоки. Для коэффициента расплавления она принимает вид

$$\alpha_p = \rho(0,23 + 8,0 \cdot 10^{-5} L \cdot J) \quad (12)$$

где ρ - плотность электрода, г/мм³, L- вылет, мм; J – плотность тока, А/мм².

Размерность α_p в данном случае г/(А·с). По формуле (12) коэффициент расплавления не зависит от диаметра электрода при одинаковой плотности тока. В работе [15] получено, что с изменением диаметра от 1 до 2 мм

происходит увеличение примерно на 10%. Формула (12) дает значение $\alpha_{po} = 6,46$ г/А·час), что близко к средним значениям в табл.9. Поэтому формула (12) вполне пригодна для инженерных расчетов.

Таким образом, разработана методика анализа данных по скорости расплавления электродной проволоки при сварке в защитных газах, позволяющая определить среднее сопротивление вылета, напряжение дуги и коэффициент расплавления при нулевом вылете. Падение напряжения в вылете составляет весьма значительную долю в полном напряжении сварки, оказывая определяющее влияние на производительность расплавления электрода. Согласно экспериментальным данным по скоростям расплавления электродов различных диаметров при сварке в CO_2 среднее сопротивление единичной длины вылета слабо зависит от плотности тока, но существенно зависит от диаметра электрода. Полученные аппроксимирующие зависимости хорошо описывают опытные данные по влиянию диаметра электрода на сопротивление вылета и напряжение дуги. Начальный коэффициент расплавления электрода при сварке в CO_2 существенно ниже, чем при сварке под слоем флюса.

Новая методика исследования энерговыделения в вылете

На основе проведенного анализа экспериментальных данных было установлено, что не учитываются потери мощности от вылета в окружающую среду. По приведенным выше данным в табл. 9 оказалось, что они достаточно существенны. Известные методики определения энерговыделения в вылете непосредственно при сварке сложны и не обеспечивают высокой точности измерений. В данной работе разработана методика определения параметров энерговыделения, предусматривающая получение необходимых характеристик при неподвижной электродной проволоке.

Известна методика определения сопротивления вылета сварочного электрода при механизированной дуговой сварке, по которому определяют диаметр электрода, ток дуги, скорость расплавления электрода и среднюю величину сопротивления в зависимости от длины вылета определяют по формуле, показывающей выделенную в электроде мощность [14].

Недостатком данной методики является низкая точность определения сопротивления, вследствие неопределенности нескольких входящих в формулу коэффициентов: начального удельного электросопротивления, температурного коэффициента изменения сопротивления с увеличением температуры стержня, теплоемкости и температуропроводности стержня.

Известна также методика определения сопротивления вылета, при котором производят измерение диаметра электрода, тока и напряжения дуги и длины вылета электрода. По изменению напряжения дуги можно определить изменение падения напряжения в вылете и определить приращение сопротивления вылета [6]. Недостатком данной методики является ее низкая точность, обусловленная нестабильностью значений напряжения дуги вследствие периодического отрыва капель жидкого металла электрода. При данном способе затруднительно получить зависимость распределения сопротивления по длине вылета, так как определяется приращение среднего сопротивления вылета.

Техническим результатом предлагаемой методики является повышение точности определения сопротивления вылета при одновременном получении распределений сопротивления и температуры по длине вылета.

В предлагаемой методике определения сопротивления вылета электрода для дуговой сварки заданного диаметра измеряют длину вылета электрода, ток и падение напряжение на электроде, скорость расплавления электрода при сварке.

В отличие от известной методики, сварочный электрод располагают в токоподводах неподвижно, замеряют длину электродного стержня между токоподводами, значения тока и падение напряжения на стержне измеряют

во времени и сопротивление вылета электрода при сварке определяют по формуле

$$R_B(t) = (1/L_t I) \int_0^{(t\dot{a})} U(t) dt, \quad (13)$$

где L_{π} - длина электродного стержня между токоподводами при проведении замеров, см; I - ток, проходящий через стержень, А; t_B - время расплавления вылета при сварке, секунд, где $t_B = \frac{L_B}{V_э}$; L_B - длина вылета электрода в процессе сварки, см; $V_э$ - скорость расплавления электрода, см/с.

Сущность предлагаемой методики заключается в том, что измерение падения напряжения во времени при неподвижном электроде, установленном в токоподводах, позволяет определить полное сопротивление вылета, его распределение по длине вылета и распределение температуры по длине вылета.

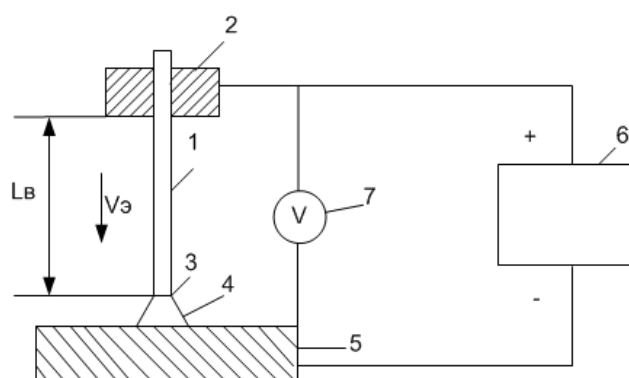


Рис. 20. Схема нагрева вылета в движущемся плавящемся электроде при механизированной дуговой сварке

На рис. 20 электродная проволока 1 движется в процессе сварки через токоподвод 2 со скоростью плавления электрода $V_э$. Длина вылета L_B - расстояние от конца токоподвода до торца электрода 1, на котором расположено активное пятно 3 сварочной дуги 4, горящей на изделии 5. Изделие 5 и токоподвод 2 подключены к сварочному источнику питания 6. Электродная проволока 1 выходит из токоподвода 2, имея начальную температуру T_0 . По мере движения конкретного сечения электродной

проволоки 1 она нагревается проходящим по ней током. Максимальная температура проволоки от нагрева в вылете достигается в зоне действия активного пятна 3. Скорость плавления электрода 1 зависит от мощности, вносимой в нее в активном пятне 3 дуги 4 и мощности, поглощенной электродной проволокой 1, которая определяется температурой подогрева проволоки в вылете к моменту ее попадания в дугу. Напряжение сварки измеряется подключением вольтметра 7 между токоподводом 2 и изделием 5, включает в себя напряжение дуги и падение напряжения в вылете электрода.

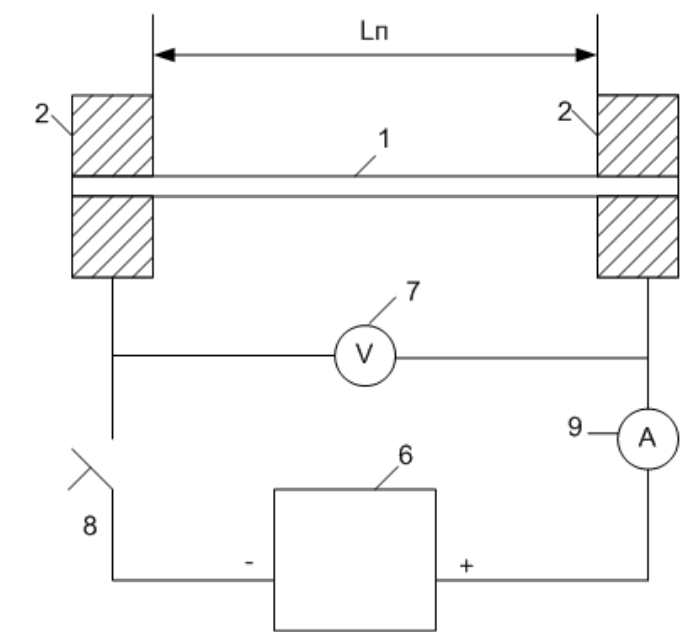


Рис. 21. Схема проведения эксперимента по предлагаемой методике

На рис. 21 сварочная проволока 1 длиной L_p помещается неподвижно между двумя токоподводами 2, которые подключены к сварочному источнику питания 6 через выключатель 8. При измерении сопротивления в проволоке через нее пропускается ток от сварочного источника питания 6, который измеряется датчиком тока 9. Напряжение между токоподводами 2 измеряется с помощью вольтметра 7. Значение тока I и напряжения U записываются во времени с помощью регистратора. После достижения установленного времени сварочная проволока 1 отключается от источника питания 6.

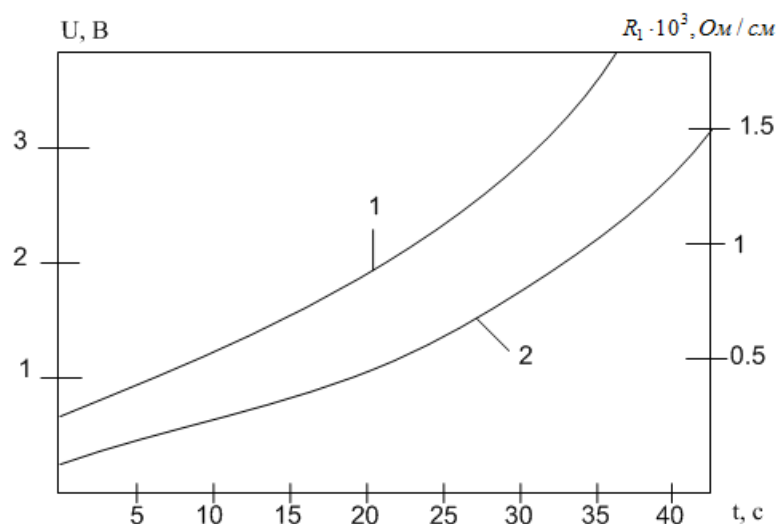


Рис. 22. Экспериментальные зависимости падения напряжения в вылете и единичного сопротивления от времени протекания тока

На рис. 22 представлена зависимость 1 напряжения на сварочной проволоке от времени t протекания тока и зависимость сопротивления единичной длины проволоки 2 от времени t . Диаметр покрытого стержня от электрода LB-52 U 2,6 мм, ток 90 А. Длина стержня 300 мм. В начальный момент падение напряжения на проволоке минимально. Оно обусловлено начальным сопротивлением проволоки, зависящим от его начальной температуры. Затем, вследствие нагрева проволоки, оно увеличивается. Это увеличение до определенного времени происходит с нарастанием. Аналогичный вид имеет зависимость 2 для сопротивления R_1 единичной длины проволоки во времени, полученной путем деления напряжений на зависимости 1 на коэффициент $L_p \cdot I$.

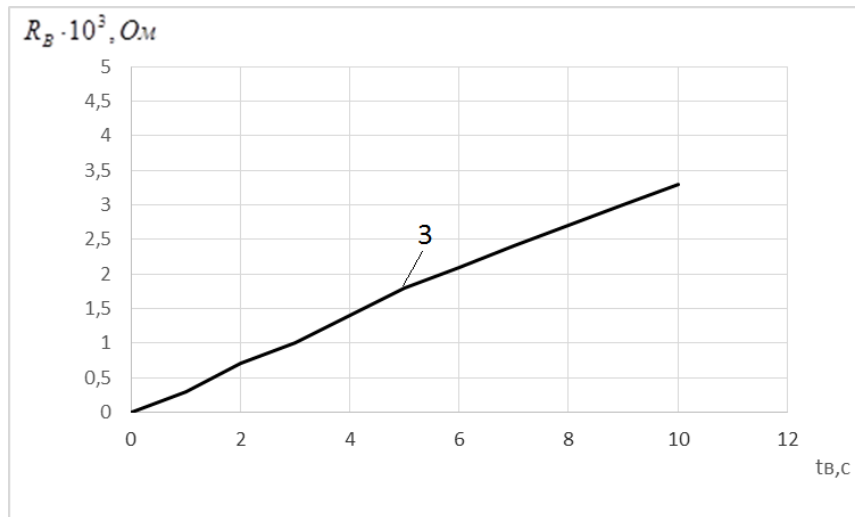


Рис.23. Зависимость полного сопротивления проволоки от времени

На рис. 23 представлена зависимость 3 сопротивления вылета во времени в реальных условиях сварки, полученная на основании зависимости 1 на рис.22. Для получения зависимости 3 необходимо вычисление интеграла по времени от кривой 2 единичного сопротивления, приведенной на рис.22.

$$R_B(t) = (1/L_{\pi} I) \int_0^{(t\dot{a})} U(t) dt \quad (14)$$

где L_{π} - длина электродной проволоки при проведении замеров, см; I - ток сварки, А; t_B – время расплавления вылета при сварке, секунд; $t_B = \frac{L_B}{V_{\dot{a}}}$ L_B – длина вылета в процессе сварки, см; $V_{\dot{a}}$ – скорость расплавления электрода, см/с.

Интеграл (14) по времени представляет суммарное сопротивление вылета для заданного времени его движения t_B . На рис. 23 максимальное время расплавления вылета взято 10 секунд. Коэффициент $1/L_{\pi} I$ перед интегралом (14) представляет сопротивление единицы длины проволоки при данном токе и падении напряжения на проволоке 1 Вольт. Таким образом, полученная на основе опыта зависимость 3 на рис. 23 может использоваться для данного диаметра и тока сварки для различных скоростей расплавления электрода и длин вылета.

Зависимость сопротивления от длины вылета можно представить и в другом виде

$$R_B(x) = (1/L_t I) \int_0^{(x)} U(x) dx \quad (15)$$

где x – координата сечения вылета на проволоке, отсчитываемая от сечения подведения тока.

Переход от системы координат t_B к линейной координате x производится по формуле

$$x = V_{\text{э}} \cdot t_B.$$

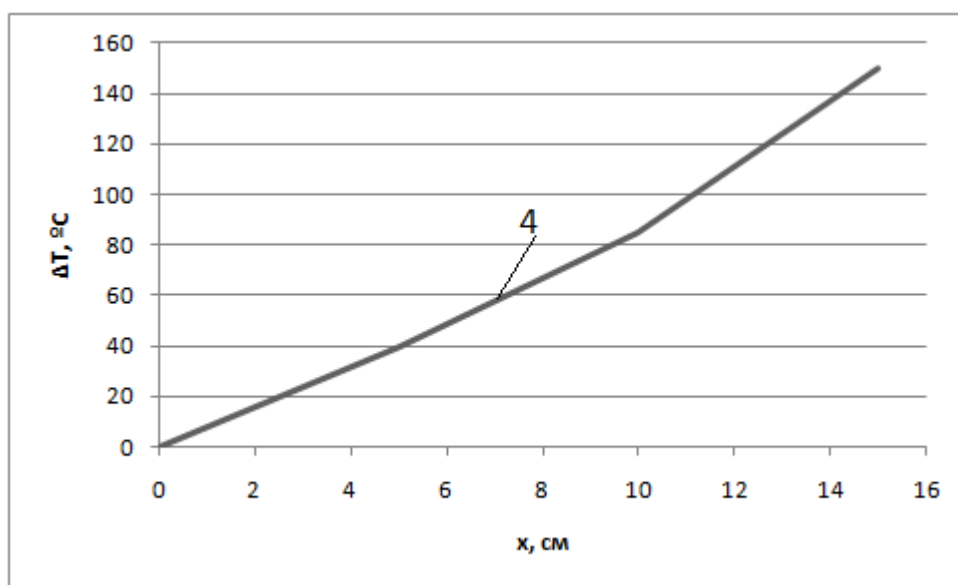


Рис. 24. Распределение температуры по длине вылета из опыта

На рис. 24 кривая 4 представляет расчетную зависимость приращения температуры покрытого электрода LB-52U от координаты x вылета за счет нагрева протекающим током. Диаметр стержня 2,6 мм, ток дуги 90 А. Координата x – это длина расплавленного участка электрода. Температура растет нелинейно, с увеличением координаты приращение температуры увеличивается.

Зависимость удельного электрического сопротивления ρ материала сварочной проволоки от температуры ΔT имеет вид

$$\rho(\Delta T) = \rho_0(1 + \alpha \Delta T) \quad (16)$$

где ρ_0 – значение удельного электрического сопротивления при начальной температуре T_0 при выходе ее из токоподвода; α – коэффициент пропорциональности, зависящий от рода материала проволоки; ΔT – разность между значением температуры T в рассматриваемом сечении вылета и T_0 . С другой стороны, значение удельного электросопротивления можно выразить

$$\rho(x) = R_1(x) / S, \quad (17)$$

где S – поперечное сечение электродной проволоки, см^2 .

Приравняв выражения (16) и (17) получаем уравнение для определения зависимости температуры T по длине вылета.

$$\Delta T(x) = \frac{R_1(x)}{\rho_0 \cdot S \alpha} - \frac{1}{\alpha}. \quad (18)$$

Так как $R_1(0) = \rho_0 \cdot S$, то при $x=0$ формула (18) дает $\Delta T(x) = 0$.

Таким образом, если известно значение температурного коэффициента α , то можно по распределению сопротивления по длине вылета определить распределение температуры по его длине. Наоборот, если известно распределение температуры по длине вылета, то можно рассчитать значение коэффициента α для данной электродной проволоки.

По температурной зависимости $\Delta T(x)$ можно определить приращение теплосодержания ΔH_{Π} всего вылета и мощность, передаваемую током проволоке за вычетом мощности, теряемой на теплоотдачу в окружающую среду.

$$\Delta H_{\Pi} = \int_0^{\delta a} \Delta T(x) C(x) dx, \quad (19)$$

где $C(x)$ – объемная теплоемкость материала проволоки с учетом ее зависимости от температуры, которая приводится в справочной литературе. ΔH_{Π} измеряется в Дж/см^3 .

Мощность, поглощаемая проволокой непосредственно в вылете

$$Q = \Delta H_{\Pi} \cdot V_{\text{э}} \cdot S.$$

Здесь скорость расплавления электрода берется в см/с , площадь сечения проволоки в см^2 .

Тогда потери вылета в окружающую среду в процессе движения проволоки

$$Q_{\text{п}} = I^2 \cdot R_{\text{в}} - Q.$$

По предлагаемой методике выполняли определение сопротивления в вылете. Использовали стержень электрода марки LB-52 U диаметром 2,6 мм, с которого убрали покрытие. Длина стержня составляла 350 мм. Длина участка, между токоподводами, по которому пропускался ток 90 А, составляла 300 мм. В середине стержня закрепляли с помощью фольги термопару «хромель-копель» из проволоки диаметром 0,5 мм. После включения тока с помощью регистратора записывали изменение во времени падения напряжения между токоподводами, ток и температуру.

Ток в процессе опыта оставался практически неизменным. Получили зависимость роста напряжения, приведенную в табл. 10. В ней также приведены значения изменения сопротивления единичной длины проволоки R_1 и температуры проволоки.

Таблица 10

Результаты исследования

t, секунд	0	10	20	30	40	50
U, В	0,8	1,2	1,6	2,5	3,6	4,8
$R_1 \cdot 10^4$, Ом/см	2,96	4,44	5,93	9,26	13,3	17,8
ΔT , °С	0	30	100	195	300	425

При скорости расплавления электрода $V_3=0,5$ см/с и времени расплавления $t_{\text{в}}=20$ сек длина вылета составит 10 см. Интегрирование дает сопротивление такого вылета $R_{\text{в}}= 44,5 \cdot 10^{-4}$ Ом. При токе 90А в таком вылете будет выделяться мощность 36 Вт. При приращении температуры стержня на 100 °С и теплоемкости стали 5,0 Дж/(см³°С) теплосодержание стержня $Q= 265$ Дж. Общее энерговыделение в вылете за 20 секунд $P_{\text{в}} = 36 \cdot 20 = 720$ Дж. Следовательно, $Q_{\text{п}}= 720-265 = 455$ Дж уходит на потери в окружающую

среду. Реальные значения скорости расплавления проволоки должны браться из опыта при горении дуги.

Также выполняли определение сопротивления в вылете по предлагаемой методике для стержня электрода марки LB-52 диаметром 2,6 мм с покрытием. Со второй стороны покрытия электрода также снимали покрытие на длине 30 мм для обеспечения контакта с токоподводом. Длина стержня, по которому проходил ток, составляла 290 мм. Через стержень с покрытием пропусклся ток 90 А. В середине стержня закрепляли с помощью фольги термопару «хромель-копель» из проволоки диаметром 0,5 мм. После включения тока с помощью регистратора записывали изменение во времени падения напряжения между токоподводами, ток и температуру.

Ток в процессе опыта оставался практически неизменным. Получили зависимость роста напряжения, приведенную в табл. 11. В ней также приведены значения изменения сопротивления единичной длины проволоки R_1 и приращение температуры проволоки.

Таблица 11

Результаты исследования

t, секунд	0	10	20	30	40	50
U, В	0,8	1,0	1,2	1,5	1,8	2,1
$R_1 \cdot 10^4$, Ом/см	2,96	3,83	4,6	5,75	6,9	8,05
ΔT , °C	0	25	75	115	150	185

Единичное сопротивление R_1 в примере 2 значительно меньше, чем в примере 1. Это объясняется наличием покрытия на электроде. Покрытие отводит выделяемую в стержне мощность, снижает температуру стержня, что приводит к снижению сопротивления.

Реальная начальная скорость расплавления покрытого электрода марки LB-52 U составляет при токе 90 А $V_3 = 0,5$ см/с.

При скорости расплавления электрода $V_3=0,5$ см/с и времени расплавления $t_b=20$ сек длина расплавленного электрода составит 10 см. Эта длина и является в данном случае вылетом, так как электрод подогревался проходящим током 20 сек. Интегрирование по табл. 11 дает сопротивление такого вылета $R_b=38 \cdot 10^{-4}$ Ом.

При токе 90А в таком вылете выделяется мощность $P_b = 34,2$ Вт. При приращении температуры стержня на 75 °С и теплоемкости стали 5,0 Дж/(см³°С) теплосодержание стержня $Q=200$ Дж. Общее энерговыделение в вылете за 20 секунд $P_b = 34,2 \cdot 20 = 684$ Дж., следовательно, потери $Q_{п}=684-200 = 484$ Дж представляют расход энергии на нагрев покрытия и теплоотдачу в окружающую среду.

Таким образом, предлагаемый способ позволяет, выполнив один эксперимент с неподвижной сварочной проволокой данного диаметра или с покрытым электродом получить все необходимые данные по электродной проволоке: распределение сопротивления по длине вылета, полное сопротивление вылета, падение напряжения на вылете, распределение температуры по длине вылета, потери мощности от вылета в окружающую среду. Эти данные пригодны для различных скоростей плавления электрода и длин вылетов.

Методика может быть реализована с помощью известных приборов и оборудования: датчиков тока и напряжения, регистратора параметров, сварочного источника питания, стандартных электродных проволок, сварочных электродов.

Использование зависимостей коэффициентов расплавления от диаметра электрода для совершенствования двухдуговой сварки

На основе изучения особенностей расплавления электродного металла можно повысить эффективность некоторых процессов сварки. Результата можно добиться, например, учитывая особенности двухдуговой двухсторонней сварки [9]. Двухсторонняя сварка тавровых соединений

позволяет повысить производительность труда, но при ее реализации имеются ряд трудностей. В данной работе был предложен новый способ двухсторонней сварки тавровых соединений.

Известный способ автоматической двухсторонней дуговой сварки тавровых соединений, при котором два электрода располагают в одной плоскости под углом друг к другу с разных сторон от стенки тавра и перемещают их вдоль линии шва, отличающийся тем, что с целью повышения качества сварки за счет предотвращения образования подрезов, электроды колеблют в одном направлении в плоскости, перпендикулярной оси шва [20]. Этот способ не предусматривает смещения электродов относительно друг друга в направлении сварки, что зачастую приводит к взаимному воздействию магнитных полей дуг друг на друга и ухудшению стабильности формирования швов.

Наиболее близким к предлагаемому решению является способ дуговой автоматической сварки, по которому получают двустороннее одновременное проплавление противоположных сторон таврового соединения, у которого полку при сварке располагают в горизонтальной плоскости, а стенку в вертикальной плоскости, плавящиеся электроды одинакового диаметра размещают по разным сторонам стенки и перемещают с одинаковой скоростью в направлении сварки, а торцы электродов устанавливают либо без смещения относительно направления скорости сварки, либо со смещением 6-12 дюймов (150-300 мм) вдоль стыка и пропускают через них ток специальной формы, причем мощность сварочных дуг регулируют отдельно [21].

В этом способе дистанция между дугами либо отсутствует, либо составляет 6-12 дюймов (150-300 мм), то есть выбирается достаточно большой из условия минимального взаимного магнитного воздействия дуг.

Недостатком данного способа является получение различного провара угловых швов при смещении плавящихся электродов одинакового диаметра. Различие в глубине провара и площади провара основного металла возникает

из-за подогрева основного металла в зоне действия задней дуги от тепловой мощности, выделяемой передней дугой. В то же время количество наплавленного металла остается одинаковым для двух швов, так как катеты швов задаются равными. Таким образом, происходит увеличение количества расплавленного основного металла, который наиболее сильно влияет на продольную усадку, что приводит к неравномерности сварочных деформаций и возникновению дополнительных деформаций изгиба тавра в сторону шва, накладываемого вторым.

Технический эффект от предлагаемого способа заключается в обеспечении одинакового провара при смещении электродов сварочных дуг в направлении скорости сварки и недопущении дополнительных деформаций [22].

Это достигается тем, что в известном способе дуговой автоматической сварки, по которому получают двустороннее одновременное проплавление противоположных сторон таврового соединения, когда полка таврового соединения при сварке располагается в горизонтальной плоскости, а стенка в вертикальной плоскости, плавящиеся электроды располагают с разных сторон стенки таврового соединения и перемещают с одинаковой скоростью в направлении сварки, а их торцы устанавливают со смещением 150-300 мм вдоль стыка, причем мощность сварочных дуг регулируют отдельно.

В отличие от известного способа [21] диаметр плавящегося электрода передней сварочной дуги выбирают большим, чем диаметр плавящегося электрода задней сварочной дуги, мощности и скорость сварки передней и задней сварочных дуг выбирают обеспечивающими заданный катет швов, а дистанцию между электродами выбирают из условия обеспечения одинакового провара угловых швов.

Предложенное решение иллюстрируется рис. 25-29.

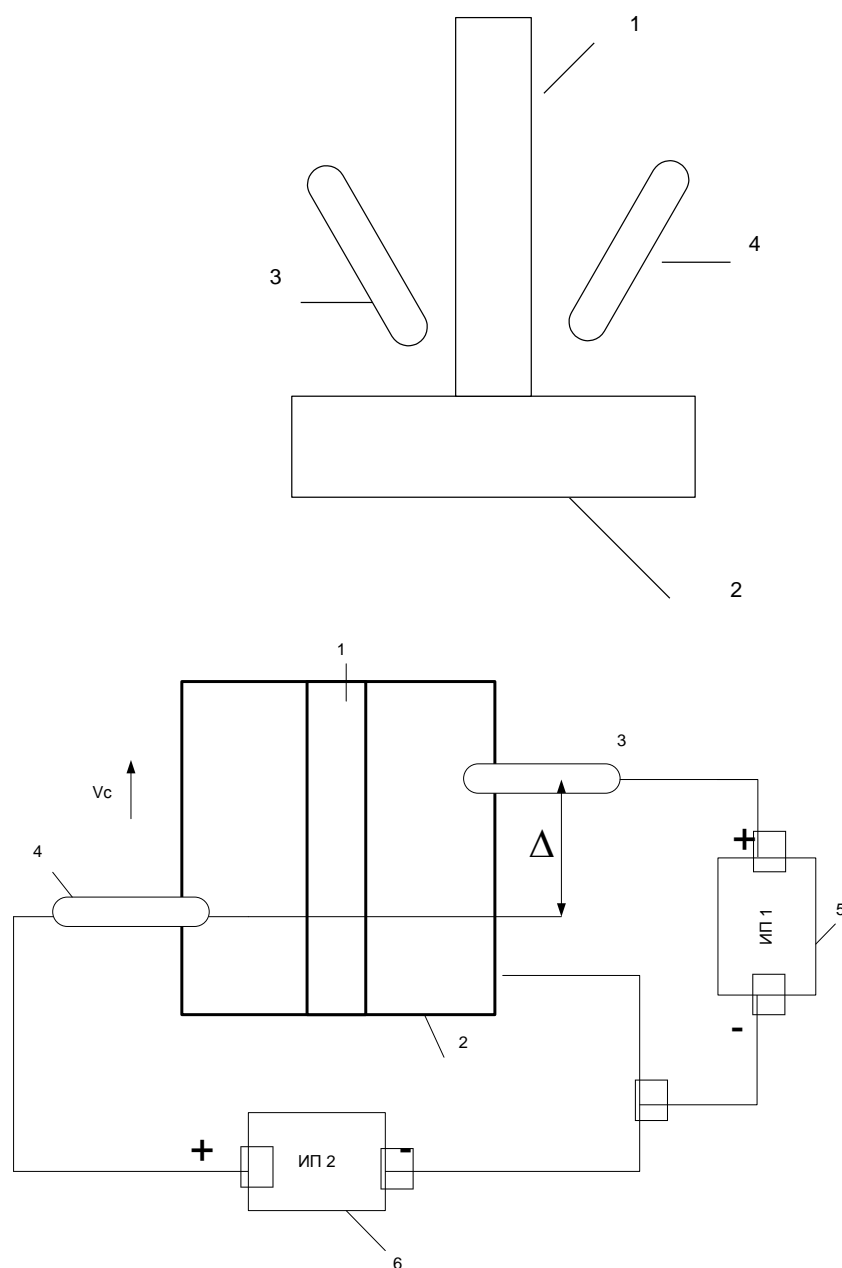


Рис. 25. Схема выполнения предлагаемого способа сварки

Предлагаемый способ заключается в том, что сварку ведут одновременно с двух сторон таврового соединения (рис. 25) со стенкой 1, располагаемой в вертикальной плоскости и полкой 2, располагаемой в горизонтальной плоскости, причем с каждой стороны полки 2 устанавливают по одному плавящемуся сварочному электроду 3,4. Электроды 3,4 смещают в направлении движения сварочных дуг относительно друг друга на 150-300 мм, зажигают сварочные дуги и перемещают плавящиеся электроды вдоль стыка в одном направлении с одинаковой скоростью. Мощность сварочных

дуг на каждом из электродов регулируют отдельно, для этого используют либо один мощный источник питания, либо два менее мощных 5 и 6, для питания каждой дуги отдельно. Электрод 3 передней дуги выбирают большего диаметра $D_п$, а электрод 4 задней дуги $D_з$ – меньшего диаметра. Скорость сварки и мощность дуги (ток дуги) с переднего электрода 3 выбирают из условия обеспечения заданного катета сварного шва. Мощность задней дуги (ток дуги) с электрода 4 выбирают также из условия обеспечения такого же заданного катета сварного шва. Ток задней дуги $I_{дз}$ выбирают меньше, чем ток $I_{дп}$ передней, так как для меньшего диаметра плавящегося электрода выше коэффициент расплавления и соответственно коэффициент наплавки. Это позволяет снизить провар основного металла полки и стенки тавра от действия задней дуги и добиться провара, близкого к провару передней дуги. Подогрев зоны действия задней дуги от передней дуги приводит к повышению провара основного металла полки и стенки тавра при наложении второго шва, а снижение тока задней дуги за счет использования электрода меньшего диаметра приводит к снижению провара и эти два фактора компенсируют друг друга.

При сварке возможно два варианта положения передней и задней дуг в отношении скорости сварки по диаметру электрода. Анализ показывает, что оптимальным по обеспечению равного провара при одинаковом катете шва, является движение первым электродом большего диаметра на большем токе дуги.

Ток передней дуги с электродом 3 большего диаметра, выбирается из условия обеспечения требуемого катета углового шва. Это достигается действием относительно мощной передней дуги на холодный металл при достижении определенного уровня провара шва, формируемого первым. При этом обеспечивается подогрев изделия для задней дуги с электродом 4, обеспечивающий повышение провара пластин. В случае сварки по известному способу для обеспечения равенства катетов швов должны выбираться одинаковые токи дуги, что приводит к увеличению провара и

площади расплавленного основного металла, что, в свою очередь, приводит к увеличению сварочных деформаций и их неравномерности относительно продольной оси тавра.

Задняя дуга может обеспечивать одинаковый катет и провар при значительно меньшей мощности, чем у передней, что достигается за счет сильного подогрева металла передней дугой. Рекомендуемая дистанция между дугами позволяет выбрать ток (мощность) задней дуги, обеспечивающую требуемы катет шва и равный провар. Провар от действия переднего источника можно опытным путем определять для случая однодуговой сварки, так как при предлагаемой дистанции между дугами влияние задней дуги на температурное поле в области передней дуги практически отсутствует.

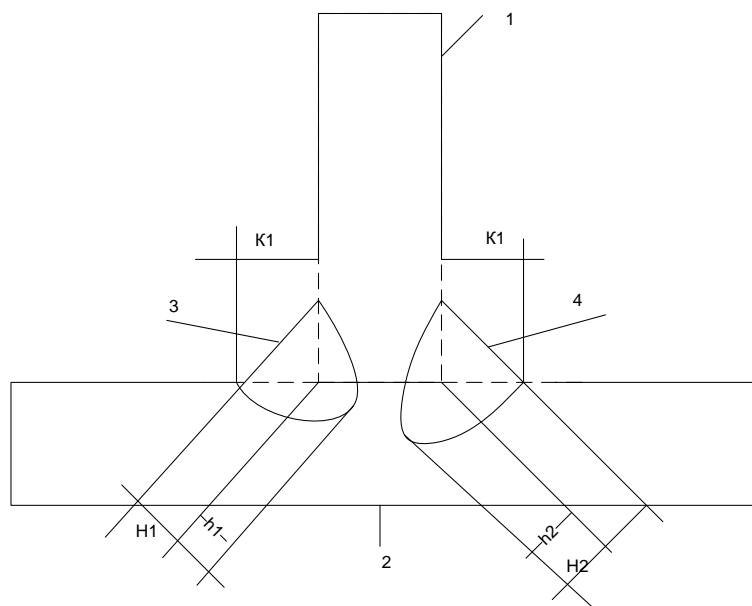


Рис.26. Форма сварных швов при сварке по известному способу

На рис. 26 показаны стенка 1, расположенная в вертикальной плоскости и полка 2, расположенная в горизонтальной плоскости, а также угловые швы 3 и 4, полученные по известному способу с различным проваром основного металла. Шов 3 получен за счет действия передней дуги и имеет катет K_1 . Провар основного металла шва 3, равный разнице высоты углового шва h_1 и высоты катета K_1 составляет

$$H_{o1} = h_1 - 0,7 \cdot K_1.$$

Площадь поперечного сечения проплавления основного металла шва 1 составит $F_1 \text{ мм}^2$.

Шов 4 получен за счет действия задней дуги и имеет такой же катет K_1 . Из-за подогрева зоны действия задней дуги передней, провар основного металла для шва 4 больше и составляет

$$H_{o2} = h_2 - 0,7 \cdot K_1.$$

h_2 больше h_1 за счет подогрева основного металла передней дугой. Также больше площадь поперечного сечения основного металла F_2 .

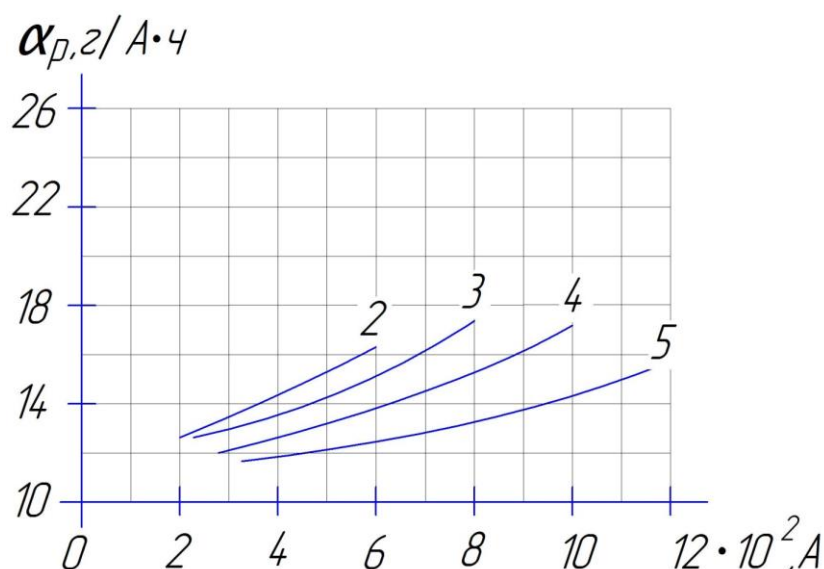


Рис. 27. Зависимости коэффициента расплавления электрода при сварке под флюсом от тока дуги. Цифры показывают диаметр проволоки в мм.

На рис. 27 представлены зависимости коэффициента расплавления плавящегося электрода при сварке от тока дуги для двух диаметров проволоки. Кривая 1 представляет зависимость для диаметра проволоки 1,2 мм, а кривая 2 — для диаметра проволоки 1,0 мм. Кривая 2 расположена над кривой 1, что показывает, что коэффициент расплавления существенно увеличивается с уменьшением диаметра электрода.

Площадь поперечного сечения наплавленного металла при дуговой автоматической сварке можно определить из известного выражения

$$F_n = \alpha_n \cdot I_d / (V_c \cdot \rho),$$

где α_n – коэффициент наплавки для данного способа сварки, г/(А·с), I_d – ток дуги, А, V_c – скорость сварки, см/с, ρ – плотность наплавляемого металла, для стали $\rho=7,8$ г/см³.

Коэффициент наплавки связан с коэффициентом расплавления зависимостью

$$\alpha_n = \alpha_p \cdot (1 - \psi_n),$$

где ψ_n – коэффициент потерь плавящегося электрода на угар и разбрызгивание, слабо зависит от тока и диаметра электрода.

α_p зависит от тока дуги и диаметра электрода (рис.27). При одинаковом токе дуги коэффициент расплавления α_p и соответственно коэффициент наплавки α_n выше для электрода меньшего диаметра. Произведение $\alpha_p \cdot I_d$ представляет производительность расплавления в г/с, на графике рис. 27 ее характеризует площадь прямоугольника для координаты точки (α_p , I_d). Из графиков рис. 27 следует, что можно подобрать одинаковую производительность расплавления $\alpha_p \cdot I_d$ для разных диаметров электрода, подбирая ток дуги. Соответственно аналогично будет изменяться производительность наплавки $\alpha_n \cdot I_d$. Меньшему диаметру электрода для сохранения производительности наплавки должен соответствовать меньший ток дуги. Между коэффициентом расплавления и скоростью подачи электродной проволоки V_s существует известная взаимосвязь

$$V_s = \alpha_p \cdot \rho / j,$$

где j – плотность тока на электроде, А/см².

Рассчитывали температуры по оси X (в продольном направлении) от действия сварочной дуги на рекомендуемых режимах сварки угловых швов тавровых соединений в зоне действия второй дуги (150-300 мм от оси дуги). Полная эффективная мощность дуги при эффективном КПД составляла $q_{и}=8160$ Вт. Для расчета выбиралась приведенная эффективная мощность, которая в 1,5 раза меньше полной эффективной мощности, с учетом распространения тепла в 3-х направлениях при сварке тавровых соединений, вместо двух при сварке стыковых соединений. Получили приведенную

эффективную мощность 5440 Вт. Толщина расчетной пластины принималась 10 мм. Материал сталь 20. Теплофизические коэффициенты по справочным данным: объемная теплоемкость 5,23 Дж/(см³·С), температуропроводность $a = 0,08$ см²/с. Координата y в поперечном направлении принималась равной толщине пластин $y=10$ мм. Координата по толщине пластины (ось Z) принимали равной половине толщины пластины: $z = 5$ мм. Расчет велся по схеме нормально-кругового источника тепла на поверхности плоского слоя. Осевой тепловой поток источника тепла принимался 3500 Вт/см².

Таблица 12

Распределение температур по оси X пластины

1. $Q_i = 7000$ Вт, $q_o = 3500$ Вт/см², $V_c = 0,72$ см/с, $Y = 1$ см, $z = 0,5$ см

X, см	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
T	395	375	356	340	326	313	302	289	267	220

Таблица 13

Распределение температур по оси X пластины

$Q_i = 5300$ Вт, $q_o = 3500$ Вт/см², $Y = 1$ см, $V_c = 0,72$ см/с, $Y = 1$ см, $z = 0,5$ см

X, см	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
T	299	284	270	258	247	237	228	218	199	158

Таблица 14

Распределение температур по оси X пластины

$Q_i = 5300$ Вт, $q_o = 3500$ Вт/см², $Y = 1$ см, $V_c = 0,72$ см/с, $Y = 0$ см, $z = 0,5$ см

X, см	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
T	375	343	317	297	280	265	253	240		172

Температура вдоль Y отличается не столь сильно. По высоте выравнивается. Подогрев в районе $X = 15$ см порядка 250 градусов. Рассчитаем изменение провара. Ток уменьшился в $3/2,5 = 4416$ Вт.

Сначала проводили двухдуговую в среде углекислого газа двухстороннюю автоматическую сварку таврового соединения из низкоуглеродистой стали 20 с толщиной стенки и полки 10 мм по известному способу. Полка располагалась горизонтально, а стенка – вертикально. Швы выполнялись в нижнем положении. Электроды сварочных горелок располагались под углом 45 градусов по отношению к стенке и полке. Катеты угловых швов проектировались одинаковыми $K=6\text{мм}$. Диаметр электродов дуги, расположенных со смещением торцов 150 мм выбирался 1,2 мм. Токи каждой из дуг 300 А, скорости подачи электродных проволок 450 м/час. Напряжение на дугах 34 В. Скорость сварки составляла 26 м/час = 0,72 см/с. На данном режиме получили требуемый катет швов $K=6\text{мм}$. На макрошлифе получили провар углового шва, сваренного передним электродом 3 мм и площадь проплавления основного металла 8 мм². Провар углового шва, сваренного задним электродом, составил 5 мм и площадь проплавления основного металла 15мм². Расчетный коэффициент потерь на угар и разбрызгивание составил 7%.

После этого выполняли двухдуговую двухстороннюю сварку такого же соединения по предлагаемому способу. Режимы сварки передней дуги оставались такими же, как и в известном способе. Дистанцию между электродами установили 150 мм. Диаметр электрода задней дуги был выбран 1,0 мм, а ее ток составлял 250 А. Скорость подачи электродной проволоки составила 600 м/час. Напряжение на передней дуге 34 В, на задней 31 В. На таком режиме также получили катет шва от действия задней дуги $K=6\text{ мм}$. На макрошлифе получили провар углового шва, сваренного передним электродом 3 мм и площадь проплавления основного металла 8 мм². Провар углового шва, сваренного задним электродом, составил 3,3мм и площадь проплавления основного металла 8 мм².

Таким образом, предлагаемый способ обеспечивает технический эффект, заключающийся в снижении провара основного металла от действия задней дуги, уменьшении площади проплавления основного металла и

снижении сварочных деформаций. Способ может быть осуществлён с помощью известных в технике средств: известных и применяемых на производстве источников питания для сварки, плавящихся электродов разного диаметра. Следовательно, предлагаемый способ обладает промышленной применимостью.

Формула изобретения предложенного способа сварки

Способ дуговой сварки таврового соединения деталей, включающий сварку угловых швов одновременно с двух сторон таврового соединения деталей без разделки свариваемых кромок с расположением полки тавра в горизонтальной плоскости, причем с каждой стороны стыка деталей устанавливают по одному плавящемуся электроду, электроды смещают относительно друг друга в направлении движения сварочных дуг, зажигают сварочные дуги и перемещают электроды вдоль стыка в одном направлении с одинаковой скоростью, при этом мощность сварочных дуг на каждом из электродов регулируют отдельно, отличающийся тем, что устанавливают электрод передней сварочной дуги с большим, чем диаметр электрода задней сварочной дуги, при этом сварку выполняют с регулированием мощности передней и задней сварочных дуг для получения одинаковых катетов швов, а смещение между электродами выбирают из условия обеспечения равного провара угловых швов

Выводы

1. Разработана методика анализа режимов сварки в CO_2 , позволившая установить зависимость сопротивления единичной длины вылета от диаметра электрода и оценить потери от вылета в окружающую среду.
2. Разработана методика определения параметров вылета в опытах с неподвижной электродной проволокой.

3. Разработана методика расчета производительности расплавления электродной проволоки при сварке дугой с разнополярными импульсами тока.
4. Предложен способ двухсторонней сварки тавровых соединений, позволяющий за счет учета особенностей расплавления электродных проволок разного диаметра обеспечить одинаковый провар швов.

IV. РАСЧЕТ ПРОВАРА ПРИ СВАРКЕ В CO_2

Оценка параметров сварочных источников тепла при сварке плавящимся электродом

Сварка в CO_2 плавящимся электродом преимущественно ведется дугой обратной полярности. Проплавляющая способность такой дуги значительно выше, чем при сварке неплавящимся вольфрамовым электродом в среде аргона. В последнем случае согласно ГОСТ -14771 сварка с двух сторон предусмотрена для толщин до 6 мм. При сварке плавящимся электродом такая толщина ограничена 12 мм (рис. 28).

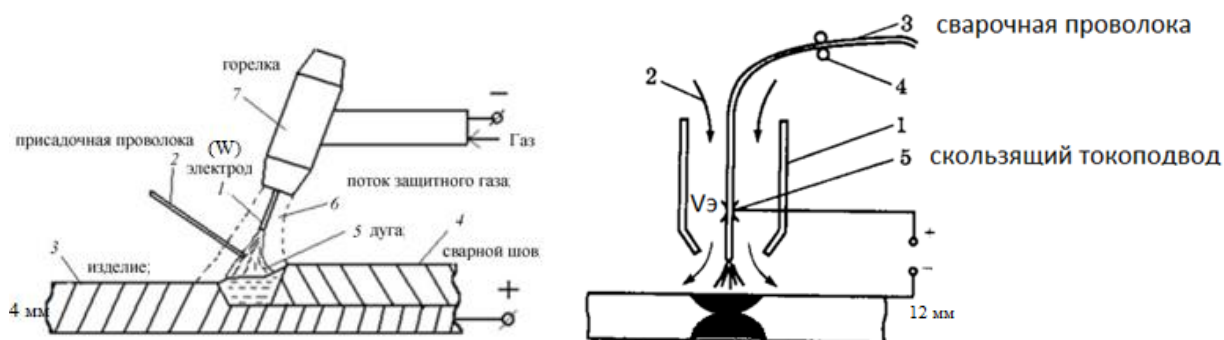


Рис. 28. Подключение электродов при сварке в защитных газах

В сварочной практике на это обращается недостаточно внимания. Зачастую считается, что дуга прямой полярности обладает более высокой проплавляющей способностью, чем обратной. Этому способствует информация о высокой стойкости неплавящегося электрода на прямой полярности и низкая на обратной. По этой причине иногда считается, что на аноде всегда выделяется больше мощности, чем на катоде. Соответственно эта зависимость переносится и на случай, когда анодом является плавящийся электрод. Повышение же проплавляющей способности дуги с плавящимся электродом на обратной полярности относят к дополнительной мощности, вносимой жидким электродным металлом. Ошибочным, по-видимому, является то, что свойства неплавящегося электрода переносятся на свойства

плавящегося. Между тем физические процессы у этих двух типов электродов отличаются очень сильно.

Неоспоримым является факт более высокой производительности расплавления электродов –катодов, по сравнению с анодами при высоких токах, свойственных сварке под флюсом. В то же время не исключено, что на малых токах катодное падение напряжения мало по сравнению с анодным и соотношение будет иным. Это может касаться ручной сварки покрытым электродом.

С этим явлением можно было бы разобраться, если осуществить эксперимент по расплавлению деталей неплавящимся электродом в защитных газах на обратной полярности дуги. Однако такому эксперименту препятствует низкая стойкость вольфрамового электрода. Косвенно судить о соотношении проплавляющей способности дуг можно по результатам исследований дуги с разнополярными импульсами тока в дуге с неплавящимся электродом, приведенным в работе [23].

Авторами [23] отмечено лишь небольшое увеличение глубины проплавления с увеличением длительности протекания обратной полярности. Это объясняют влиянием дуги на состояние торца вольфрамового электрода. В то же время теми же авторами отмечается существенное повышение глубины проплавления при сварке РПИ по сравнению с переменным током промышленной частоты. При этом неизвестно, учитывали ли авторы разницу при измерении силы тока разнополярных импульсов и переменного тока промышленной частоты. Дело в том, что при измерении тока прямоугольной формы непосредственно получают действующее значение. В дуге переменного тока измеренное значение в 1,11 раза больше действующего. Это значит, что если измеренные токи одинаковы, то реальное значение дуги переменного тока меньше и проплавляющие способности за счет этого выравниваются. Следует отметить, что приведенные в [23] результаты касаются сварки алюминиевых сплавов и не могут однозначно переноситься на сварку сталей.

Явление различия провара в зависимости от полярности дуги можно объяснить различной концентрацией мощности, выделяемой на изделии приэлектродной областью дуги и жидким металлом с электрода. В таком случае применение для расчета температур классического подхода по эффективной мощности дуги, рассчитанной с помощью эффективного КПД проблематично. Иначе говоря, при расчете проплавления изделия при сварке плавящимся электродом необходимо опробовать расчетную схему двух источников тепла с различной плотностью тепловых потоков.

Для сварки плавящимся электродом составляющие эффективной мощности могут быть определены на основании данных о скоростях плавления электрода и приэлектродных падениях напряжения дуг.

Для оценки перспективности методики двух источников тепла были выполнены расчеты для двусторонней сварки плавящимся электродом в CO_2 пластин толщиной 6,5 мм. Режимы сварки дугой обратной полярности взяты из работы [6]. Диаметр электродной проволоки 1,6 мм, ток 280 -300 А, напряжение дуги 28-30 В, скорость сварки 30-35 м/час. Полная мощность дуги $P_d = 8410$ Вт.

Провар должен составлять примерно 0,5 толщины +1 мм. Таким образом, для толщины 6,5 мм ориентировочное опытное значение провара 4,3 мм.

При расчете эффективной мощности принимали эффективный КПД дуги $\eta_{\text{д}} = 0,8$. Тогда эффективная мощность дуги

$$q_{\text{д}} = 8410 \cdot 0,8 = 6728 \text{ Вт} .$$

При расчетах использовали схему движущегося нормально-кругового источника тепла на поверхности плоского слоя [7]. Для двух источников тепла при расчете температур принимался метод суперпозиций и была разработана специальная компьютерная программа. Помимо расчета провара программа определяла вклад каждого источника в температуру плавления. При этом погружение активного пятна дуги в металл не учитывалось, так как использовался минимальный ток дуги со сравнительно низким давлением.

Теплофизические свойства принимались для низкоуглеродистой стали следующими: коэффициент температуропроводности $a = 0,08 \text{ см}^2/\text{с}$, объемная теплоемкость, $C_v = 5,0 \text{ Дж}/(\text{см}^3 \text{ }^\circ\text{C})$. Вольтов эквивалент катодной области принимался $12,3 \text{ Вт/А}$.

$$P_k = 12,3 \cdot 290 = 3580 \text{ Вт.}$$

Следовательно, мощность, вводимая катодной областью в изделие, составляет более 50% от полной мощности дуги. Остальная часть эффективной мощности дуги вводится в изделие жидким металлом и плазменными потоками. Ее можно оценить

$$P_{\text{ж}} = P_{\text{д}} - P_{\text{к}} = 6728 - 3580 = 3148 \text{ Вт.}$$

Таким образом, в данном случае мощности двух источников тепла достаточно близки. Значения осевых тепловых потоков принимали ориентировочно на основе данных работы [7]. Для катодной области дуги осевой тепловой поток принимался 4200 Вт/см^2 , для второго источника 3000 Вт/см^2 . Условный диаметр пятна нагрева катодной области составил $1,8 \text{ см}$, коэффициент сосредоточенности теплового потока $3,68 \text{ см}^{-2}$. Для второго источника эти значения составили соответственно $2,0 \text{ см}$ и $2,99 \text{ см}^{-2}$.

По второму варианту расчет проводился для прямой полярности тока дуги. В этом случае мощность анодной области дуги на изделии принималась из расчета вольтова эквивалента 5 Вт/А и составила 1450 Вт . Мощность электродного металла и столба дуги, передаваемые изделию составила 5278 Вт . Осевые тепловые потоки для анодной области был также принят 4200 Вт/см^2 , а для электродного металла 3000 Вт/см^2 .

По третьему варианту расчет производился путем определения эффективной мощности одного источника тепла с помощью эффективного КПД. Эффективная мощность, как уже указывалось, была принята 6728 Вт . Плотность теплового потока такого источника также 4200 Вт/см^2 .

Действие источников по первому и второму вариантам предполагалось соосным.

На рис. 29 представлены расчетные продольные профили проваров для трех вариантов расчетов. Ось X направлена в данном случае противоположно скорости сварки.

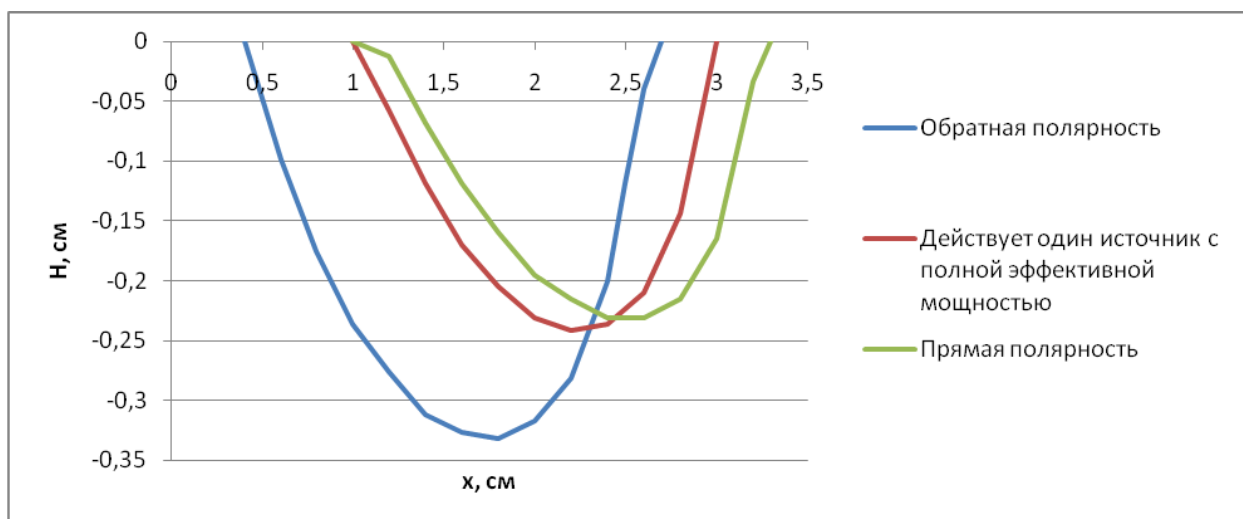


Рис. 29. Продольные профили расчетных сварочных ванн по трем вариантам

При такой методике расчета провар на обратной полярности оказался выше на 35%, чем на прямой. Провар, рассчитанный с помощью эффективного КПД практически одинаков с проваром для прямой полярности тока. Из анализа профилей на рис. 29 следует, что преобладающую роль в проваре дугой обратной полярности играет, несмотря на близкое значение эффективных мощностей, мощность, передаваемая от катодной области дуги. На прямой полярности мощность приэлектродной области снижается более чем в два раза, а повышения мощности жидкого электродного металла недостаточно, чтобы компенсировать это.

Интересным представляется то, что два распределенных источника с одинаковой суммарной мощностью дают больший провар, чем один источник. Значения расчетных проваров для двух источников тепла, имитирующих обратную полярность дуги, находятся близко к половине толщины пластины. Это свидетельствует о качественно правильном выборе основных параметров расчета.

Кроме того, были построены поперечные сечения сварочного шва без учета наплавленного металла (рис. 30).

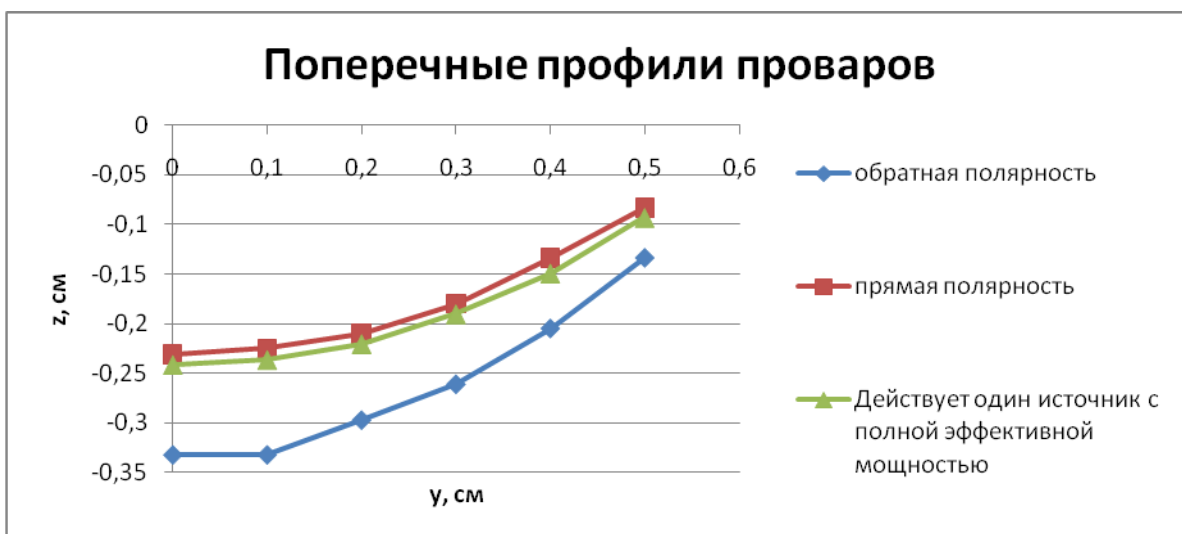


Рис. 30. Поперечные сечения сварочного шва без учета наплавленного металла
В дальнейшем параметры двух источников тепла должны уточняться.

Термические циклы при сварке плавящимся электродом

Термический цикл характеризуется максимальной температурой T_{max} , длительностью нагрева t_n при температуре T и скоростью охлаждения W_0 . В зависимости от мощности источника тепла, степени его концентрированности и скорости движения, длительность нагрева и охлаждения зоны термического влияния изменяются от долей секунды до нескольких минут. Таким же образом меняется ее ширина — от 1—3 мм при ручной дуговой.

Для расчета термических циклов при сварке плавящимся электродом выбиралась точка на нижней плоскости пластины, то есть $Z=0,65$ см. Точка на оси, значит $Y=0$ (рис.31).

1-й расчет выполнялся для единого источника с мощностью 6728 Вт. Принимались две плотности осевого потока – 4200 Вт/см² и 3600 Вт/см². Вторая плотность бралась как средняя между 4200 и 3000. Плотность 3000 использовалась для жидкого электродного металла.

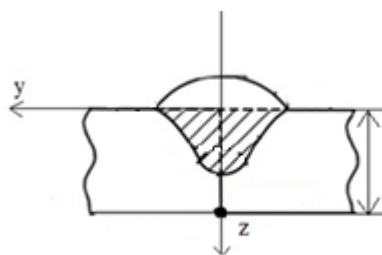


Рис. 31 Схема расчета термических циклов

Параметры расчета

$Z=0,65$ $Y=0$ $q_0=4200$ Вт/см². $D_n=2,47$ см, $K_c= 1,96$ см⁻².

$q_0=3600$ Вт/см². $D_n=2,67$ см, $K_c= 1,68$ см⁻².

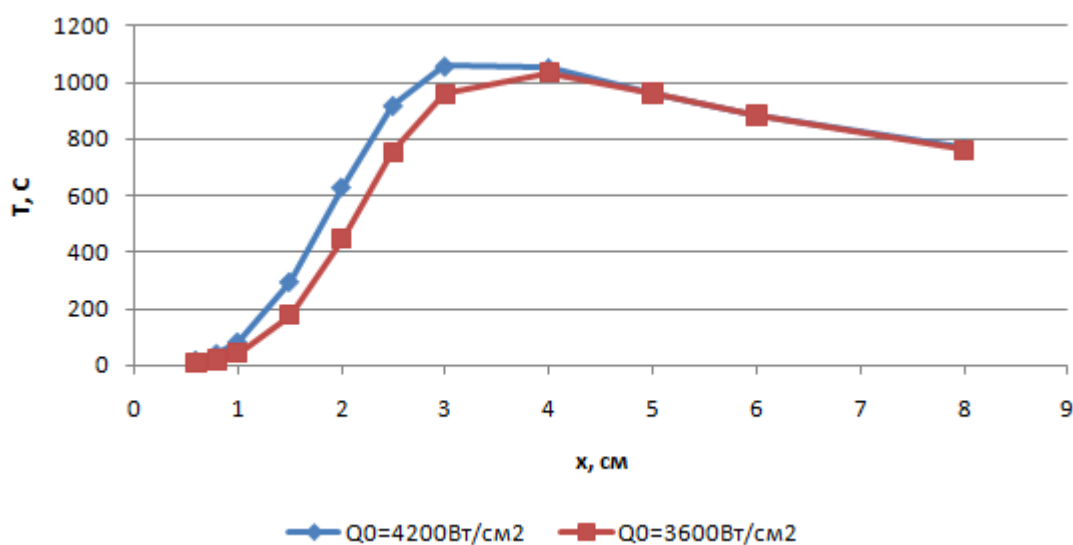


Рис. 32 Схема одного источника

Параметры расчета

Обратная полярность

$Q_1=3580$ Вт $Q_0 = 4200$ Вт/см² $D_n = 1,8$ см, $K_c= 3,68$ см⁻²

$Q_2=3148$ Вт $Q_0 = 3000$ Вт/см² $D_n = 2$ см, $K_c= 2,99$ см⁻²

Результаты расчета термических циклов на обратной полярности представлены на рис.33.

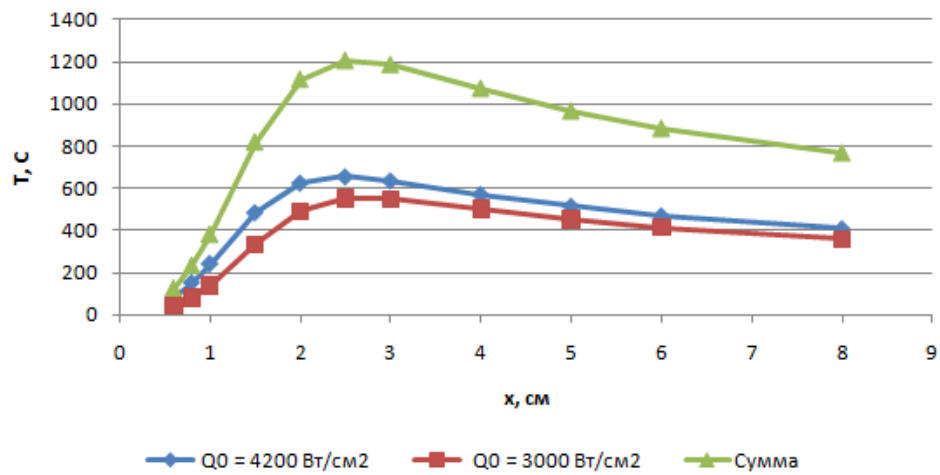


Рис. 33 Термические циклы на обратной полярности

Прямая полярность

Q1=1450 Вт Q0 = 4200 Вт/см² Дн = 1,15 см, Кс= 9,01 см-2

Q2=5278 Вт Q0 = 3000 Вт/см² Дн = см, Кс= см-2

Результаты расчета термических циклов на прямой полярности представлены на рис.34.

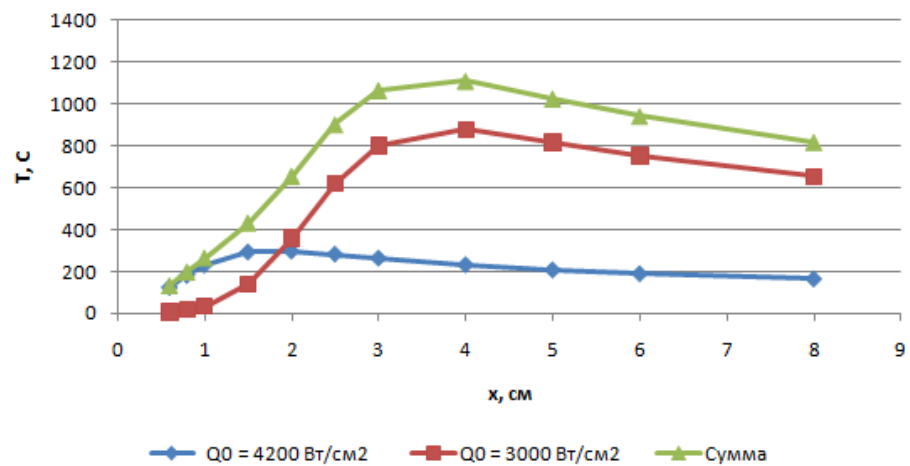


Рис. 34 Термические циклы на прямой полярности

Результаты расчета термических циклов на прямой и обратной полярности представлены на рис.35.

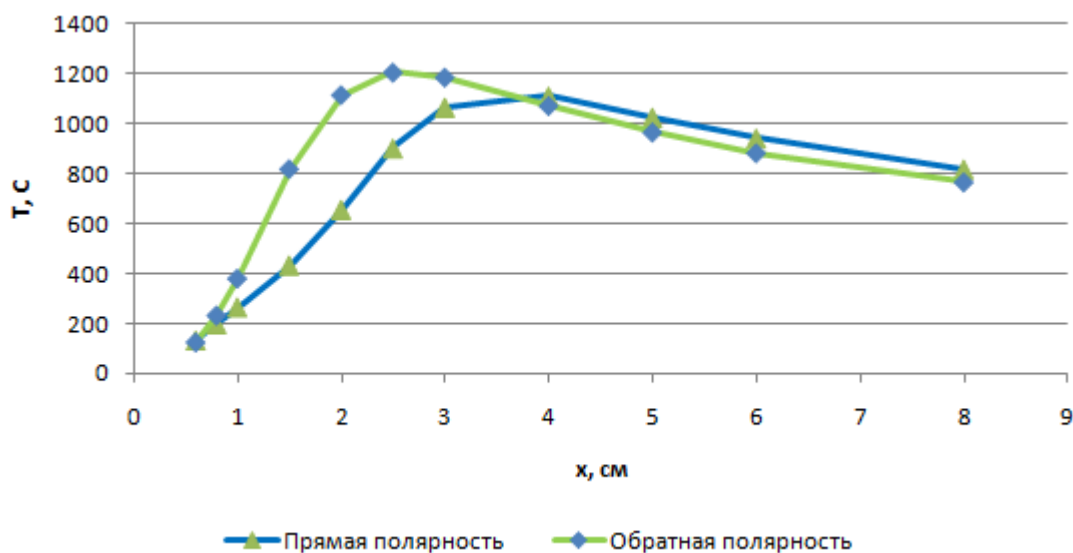


Рис. 35 Термические циклы

Получили значительное различие между термическими циклами. Это свидетельствует о дополнительных возможностях регулирования термического цикла в зависимости от полярности.

Алгоритм автоматизированного проектирования режимов сварки в CO_2
 На основе проведенных исследований можно разработать систему автоматизированного проектирования параметров режима сварки плавящимся электродом с РПИ. Эта система позволит существенно повысить производительность труда технолога по определению оптимальных параметров сварки.

Предлагаемый алгоритм предназначен для проектирования стыковых сварных соединений без разделки кромок при сварке с двух сторон толщин до 10 мм. Такой предел толщин связан с необходимостью использования сравнительно небольших токов, когда давление дуги невелико и нет значительного погружения активных пятен в сварочную ванну.

Прямая задача проектирования.

Прямая задача проектирования формулируется следующим образом: известен режим сварки, необходимо рассчитать провар, размеры шва, долю участия основного металла в металле шва, химический состав шва,

термические циклы при сварке. Прямая задача представляется более предпочтительной с учетом быстродействия современной компьютерной техники. Решая прямую задачу, технолог непрерывно «следит» за взаимосвязями в системе, ведет более осознанный выбор. Используются его знания и интуиция. Процесс проектирования более «очеловечен». При решении обратной задачи роль технолога сводится к минимуму и возможны ошибки при взаимодействии системы «человек-компьютер». При решении прямой задачи технологу необходим высокий уровень инженерных знаний, а компьютер просто высвобождает его от рутинной работы.

1. К исходным данным относятся: толщина свариваемого металла, марка металла, которая определяет теплофизические свойства. Также к исходным данным следует отнести характеристику полярности дуги. Полярность дуги может изменяться от обратной до прямой с изменением процента обратной полярности на 10%. Скорость сварки необходимо назначить из условия известных диапазонов скорости соединения и удельной энергии сварки.
2. Следующим шагом является выбор диаметра электродной проволоки. Выбор диаметра проволоки может определяться как возможностями производства, так и необходимостью получения оптимального режима сварки. При отыскании оптимального режима сварки необходимо предусмотреть перебор вариантов с различным диаметром сварочной проволоки. По выбранному диаметру проволоки следует подобрать рекомендуемый вылет электрода.
3. Выбор плотности сварочного тока. В литературе имеются достаточно много рекомендаций по выбору диапазона плотностей тока. При начале расчетов следует начинать с выбора плотности тока в середине рекомендуемого диапазона.
4. Расчет коэффициента расплавления электродной проволоки.
5. Определение вольтовых эквивалентов эффективной мощности двух источников тепла на изделии – мощности приэлектродной области дуги

и мощности жидкого электродного металла. Мощность электродного металла можно рассчитать по коэффициенту расплавления, приняв известные значения теплосодержания капель. Мощность приэлектродной области дуги определяется по известным вольтовым эквивалентам.

6. Расчет напряжения дуги.
7. Задание параметров осевого теплового потока двух источников тепла.
8. Расчет провара. В результате расчета провара должен быть получен провар порядка 60% от толщины пластин. В случае получения меньшего провара необходимо скорректировать плотность тока. Если корректировка тока не принесет результата, то необходимо изменение диаметра электрода.
9. При достижении необходимого провара рассчитываются другие параметры шва: сечение, выпуклость, ширина, химический состав, рассчитываются термические циклы.
10. Производится оценка рассчитанного режима сварки с точки зрения оптимальности.

Расчет производительности расплавления электродной проволоки при сварке дугой с разнополярными импульсами тока

Рассмотрим подробнее п.4 предложенного выше алгоритма определения параметров сварки.

Расчет выполним на примере режимов, приведенных выше в разделе 1.2 в табл. 2, используя полученные в главе III результаты.

Примем, что величина тока в импульсах не будет изменяться с изменением полярности, то есть $I_d = \text{const} = 340 \text{ А}$. Формула для определения вольтова эквивалента мощности дуги на плавление электрода U_p

$$U_p = U_o \cdot \varphi + U_n(1-\varphi) ,$$

где φ доля в периоде протекания тока обратной полярности, U_o -вольтов эквивалент дуги для электрода при постоянном токе обратной

полярности; $U_{п}$ - вольтов эквивалент дуги для электрода при постоянном токе прямой полярности.

Для определения U_0 и $U_{п}$ определим падение напряжения в вылете электрода, который составлял в опытах [9] 15, 4 мм. Воспользуемся полученной в данной работе формулой (6).

Сопротивление единичной длины

$$R_1 = 29,32/2^{2,34} = 5,79 \cdot 10^{-4} \text{ Ом/мм.}$$

$$\text{Полное сопротивление } R_{в} = 15,4 \cdot 5,79 = 81,17 \cdot 10^{-4} \text{ Ом.}$$

Полное падение напряжения в вылете

$$U_{вп} = 81,17 \cdot 340 \cdot 10^{-4} = 2,76 \text{ В.}$$

В главе III данной работы было установлено, что КПД на нагрев электродной проволоки составляет примерно 70%. Тогда получаем вольтов эквивалент нагрева вылета для обратной полярности.

$$U_{нво} = 2,76 \cdot 0,7 = 1,93 \text{ Вт/А.}$$

Поскольку скорость плавления проволоки на прямой полярности в 1,7 раза выше, то вылет находится под действием тока в 1, 7 раза меньше и эквивалент для прямой полярности

$$U_{нвп} = 1,93/1,7 = 1,14 \text{ В.}$$

В работе [9] приводятся полные эффективные вольтовы эквиваленты нагрева электродной проволоки для прямой и обратной полярности, включая действие дуги и нагрев в вылете. Эффективные падения в вылете округляем до 0,1.

Эффективное падение для прямой полярности

$$U_{п} = 11,6 - 1,1 = 10,5 \text{ Вт/А.}$$

Эффективное падение для обратной полярности

$$U_0 = 7 - 2 = 5 \text{ Вт/А.}$$

Последнее значение вольтова эквивалента анодной эффективной мощности очень хорошо совпадает с оценкой, выполненной в работе [15].

Для расчета скоростей плавления проволоки необходимо принять значение теплосодержания капель жидкого металла. Теплосодержание

принимая равным полусумме значений, приведенных в [9] для прямой и обратных полярностей дуги (табл. 2)

$$H = (2167+2011)/2 = 2089 \text{ Дж/г.}$$

Получаем окончательную формулу для определения вольтова эквивалента приэлектродных областей дуги с разнополярными импульсами тока

$$U_p = 5 \cdot \varphi + 10,5(1-\varphi),$$

$$\text{При } \varphi=0,5 \quad U_p = 7,75 \text{ Вт/А.}$$

$$\text{При } \varphi=0,1 \quad U_p = 9,95 \text{ Вт/А.}$$

Аналогично пропорционально изменяем значения полезных напряжений для вылета электрода.

Полезное падение в вылете при $\varphi=0,1$

$$U_{нво} = 1,93 \cdot 0,1 + 1,14 \cdot 0,9 = 1,2 \text{ Вт/А.}$$

Полный вольтов эквивалент

$$U_{\Sigma} = 9,95 + 1,2 = 11,2 \text{ Вт/А.}$$

Расход проволоки

$$M_p = 11,2 \cdot 340 / 2089 = 1,82 \text{ г/с.}$$

Скорость расплавления

$$V_{\Sigma} = 1,82 / 7,8 / 0,0314 = 7,44 \text{ см/с.}$$

Скорость расплавления уменьшилась по сравнению со скоростью 8,5 см/с для прямой полярности на 12%.

Аналогичную методику можно использовать для расчета мощности, переносимой жидким электродным металлом к изделию.

Определение параметров теплового потока двух источников тепла

Рассмотрим подробнее также п.8 приведенного выше алгоритма расчета.

Для расчета глубины провара на прямой и обратной полярности тока может быть составлена система уравнений

Для обратной полярности

$$H_- = f_1[Q_k, Q_o^{k-a}, (Q_{ж+} + Q_{ст}), Q_o^{ж}] ;$$

Для прямой полярности

$$H_+ = f_1[Q_a, Q_o^{k-a}, (Q_{ж-} + Q_{ст}), Q_o^{ж}] ,$$

где Q_k и Q_a – соответственно мощности вносимые в изделие катодной или анодной областями дуги; Q_o^{k-a} – осевой тепловой поток катодной или анодной области; $Q_{ж+} + Q_{ст}$ - мощность жидкого электродного металла, включая мощность в вылете и мощность от излучения столба дуги; $Q_o^{ж}$ - осевой тепловой поток жидкого электродного металла.

Неизвестными в этой системе следует считать $Q_o^{ж}$ и $Q_{ст}$, так как по остальным параметрам имеется достаточно много проверенной информации. Для получения искомых значений необходимо выполнить два эксперимента по определению проваров на прямой и обратной полярностях дуги при одинаковых токах дуги.

В связи с трудностями проведения эксперимента на прямой полярности из-за нестабильности дуги, можно рекомендовать проведение аналогичного эксперимента в дуге с разнополярными импульсами тока с максимальным процентом длительности тока прямой полярности. В этом случае должны быть скорректированы значения Q_k и Q_a .

Установки для сварки разнополярными импульсами тока

Источник питания входит в состав любой установки для дуговой и электрошлаковой сварки. Он снабжает дугу или электрошлаковый процесс электрической энергией необходимых параметров.

Источник разнополярных импульсов предназначен для сварки алюминиевых сплавов. Обычно он имеет два силовых канала, каждый из которых включает в себя трансформатор и выпрямительный блок. Один

канал предназначен для питания дуги прямой полярности, другой — дуги обратной полярности. С помощью силового полупроводникового коммутатора каналы попеременно подключаются к дуге, генерируя прямоугольные импульсы прямой и обратной полярности

Источники разнополярных импульсов

Сварочный инвертор TIG ELITECH АИС 200 АТМ. Предназначен для аргонно-дуговой сварки неплавящимся вольфрамовым электродом в среде защитного газа (аргон) - TIG и электродуговой сварки штучным плавящимся электродом (таблица 15 и рис.36)

Таблица 15 Характеристики сварочного инвертора TIG ELITECH АИС 200 АТМ

Сварочный ток при нагрузке 60%, А	100
Габаритные размеры, мм	485x240x433
Напряжение, В	220
Мощность, кВт	6.4
Сварочный ток при нагрузке 30%, А	200
Диаметр электрода max, мм	5.0
Диаметр электрода min, мм	1.6
Сварочный ток max, А	200
Сварочный ток min, А	10
Режим TIG Метод TIG на постоянном токе (TIG-DC) применяют для сталей, метод TIG на переменном токе (TIG-AC) – для алюминиевых сплавов.	AC/DC
Масса, кг	20



Рис. 36 Сварочный инвертор ТIG ELITECH АИС 200 АТМ

Таблица 16 Характеристики сварочных инверторов TIG

Характеристики	TIG200P AC/DC	TIG250P AC/DC	TIG315P AC/DC
Параметры электросети, В	1 фазное напряжение 220+10%	3 фазное напряжение 380+15%	
Частота (Гц)	50/60	50/60	50/60
Мощность, КВА	4,5	6,3	8,9
Номинальный сварочный ток А	200	250	315
Диапазон регулирования сварочного тока (А)	5-200	10-250	10-315
Форсаж дуги, (%)	0-60	0-60	0-60
Рабочее напряжение дуги, В	17,4	18,8	23
Напряжение холостого хода, В	56	42	45
Базовый ток, А	10-90	10-90	10-90
Баланс полярности (%)	20-80	20-80	20-80
Частота переменного сварочного тока (Гц)	60	60	60
Макс.толщина свариваемого металла, мм	10	12	15
Габаритные размеры, мм	493x330x320	560x365x355	560x365x355
Масса, кг	20	30	37

Опишем кратко систему для сварки двумя дугами. Ведущая дуга, создаваемая, как правило, источником постоянного тока, расположена впереди сварочной ванны. На электрод подается постоянный ток положительной полярности, что обеспечивает большую глубину проплавления основного металла или наплавленного металла шва. Ведомая дуга создается источником переменного тока. Обе дуги питают общую сварочную ванну. Вокруг сварочных дуг наводятся электромагнитные поля, вызывающие отклонение соседних дуг. Чтобы исключить влияние дуг друг

на друга, ведомая дуга обязательно должна работать на переменном токе (используются импульсы особой формы).

Полярность ведомой дуги, а соответственно, и направленность магнитного поля меняются с частотой 50 раз в секунду. Таким образом, воздействие дуг друг на друга удается, хотя и не устранить полностью, но свести к минимальному приемлемому уровню, который уже можно контролировать.

Другим положительным фактором применения дуги на переменном токе является коэффициент наплавки. Во время подачи постоянного тока отрицательной полярности происходит предварительный прогрев электрического вылета, поэтому при отрицательном импульсе постоянного тока, как правило, коэффициент наплавки оказывается на 30% выше, чем при положительном. При подаче переменного тока, когда полпериода подается постоянный ток положительной полярности (DC+), а вторую половину периода постоянный ток отрицательной полярности (DC-), коэффициент наплавки увеличивается на 15%. Таким образом, о сварке двумя дугами можно сказать, что она выполняется при одновременной работе двух дуг, одна из которых работает на постоянном токе, а вторая на переменном, чтобы снизить взаимное влияние дуг друг на друга, и при этом коэффициент наплавки составляет на 15% больше, чем при сварке одним электродом.

Преимущества

Переключение полярности осуществляется программным обеспечением источника и не требует перенастройки оборудования.

Выводы по гл. IV.

1. Предложен ряд вариантов определения параметров двух источников тепла, действующих на изделия: а) с использованием эффективного КПД дуги; б) с использованием данных о сумме приэлектродных падений напряжения дуги; в) с использованием данных об эффективных падениях напряжения приэлектродных областей.
2. По предложенной расчетной схеме выполнен расчет продольного и поперечного профиля сварочной ванны для прямой и обратной полярностей дуги. Для принятых параметров сосредоточенности теплового потока источников получены удовлетворительные результаты сходимости расчетных и опытных проваров.
3. Расчет термических циклов по предложенной методике показывает, что должна иметь место заметная разница температур в зависимости от полярности дуги.
4. Разработаны методики определения мощности, поглощаемой электродным металлом в дуге с разнополярными импульсами тока, что позволяет рассчитывать скорость плавления электрода и мощности двух источников тепла с различной сосредоточенностью, действующие на изделие при сварке.
5. Предложен алгоритм САПР режимов сварки в CO_2 при сварке дугой с разнополярными импульсами тока, который позволит существенно сэкономить ресурсы при внедрении нового способа сварки плавящимся электродом в защитных газах.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Причиной различия проваров в зависимости от полярности дуги является то, что мощность, выделяемая на изделии приэлектродной областью дуги и расплавленным электродным металлом, по-разному влияет на величину провара при сварке плавящимся электродом. Поэтому расчет провара и температурного поля при сварке плавящимся электродом необходимо вести с учетом полярности дуги.
2. Учесть влияние полярности дуги на провар и температурное поле можно, применив схему нормально-кругового источника тепла на поверхности плоского слоя с различной величиной максимального теплового потока или схему двух источников тепла с различными осевыми потоками.
3. Разработана математическая модель расчета температур при сварке плавящимся электродом в защитных газах, учитывающая действие двух источников тепла с различной сосредоточенностью теплового потока. Модель адекватно оценивает соотношение проваров в зависимости от полярности дуги.
4. Апробирована математическая модель расчета температур при сварке плавящимся электродом в защитных газах учитывающая отличия в распределенности теплового потока в зависимости от полярности дуги.
5. Разработана методика анализа режимов сварки в CO_2 , позволяющая определить их влияние на удельное сопротивление вылета в электроде и впервые различными методами произведены оценки эффективности передачи изделию мощности, выделяемой в вылете электрода. Разработана методика определения распределения сопротивления и температуры в вылете электрода при сварке при пропускании тока через неподвижный электрод и оформлена заявка на патент РФ на изобретение.

6. Установлено, что оптимальным способом сварки в защитных газах является использование сварочной дуги с разнополярными импульсами тока, позволяющей регулировать долю участия основного металла в металле шва в широких пределах за счет изменения соотношения длительности тока прямой и обратной полярности.
7. Разработана САПР режимов двусторонней сварки стыковых соединений сталей без разделки кромок для дуг различной полярности.

Библиографический список

1. Акулов, А.И., Технология и оборудование сварки плавлением / А.И. Акулов, Г.А. Бельчук, В.П. Демянцевич. – М.: Машиностроение, 1977. - 432 с.
2. Коберник, Н.В. Влияние рода и полярности тока на плавление электродного и основного металла при сварке под флюсом / Н.В. Коберник, Г.Г. Чернышов, П.П. Гвоздев и др. // Сварка и диагностика. 2011, № 5, С. 24-27.
3. Сидоров, В.П. Влияние рода и полярности тока на плавление электродного и основного металла при сварке под флюсом / В.П. Сидоров // Сварка и диагностика. 2013, № 3, С. 20-23.
4. Сидоров, В.П. Критерий проплавляющей способности дуги при сварке / В.П. Сидоров, Н.А. Борисов // Сварка и диагностика, 2013, № 6 - С. 24-27.
5. Столбов, В.И. Сварочная ванна / В.И. Столбов - Тольятти: ТГУ, 2007. - 147 с.
6. Оборудование для дуговой сварки: Справочное пособие / Под ред. В.В.Смирнова. Л.: Энергоатомиздат // Ленинградское отделение. - 1986.-656 с.
7. Сидоров, В.П. Вклад в проплавление изделия мощности электродного металла при сварке под флюсом. / В.П. Сидоров, Н.А. Борисов // Пайка - 2013: сборник материалов международной научно-технической конференции (Тольятти, 10-12 сентября 2013 года) / редкол.: А.Ю. Краснопевцев (отв. ред.) [и др.]- Тольятти : Изд-во ТГУ, 2013 359 с. С. 232-239.
8. Сидоров, В.П. Методика расчета составляющих эффективной мощности дуги под флюсом с учетом полярности тока / В.П. Сидоров, М.А. Абрамова, Д.Е. Корсун // Инновационные технологии и экономика в машиностроении: сб. трудов VI Международной научно- практической

конференции / Юргинский технологический институт . – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. - С. 52-54.

9. Сидоров, В.П. Двухдуговая двусторонняя сварка неплавящимися электродами в аргоне / В.П. Сидоров, С.А. Хурин // Тольятти, изд-во ТГУ, 2015. - 191 с.

10. Дьяконов, В.П. Справочник по алгоритмам и программам на языке Бейсик для персональных ЭВМ / В.П. Дьяконов. - М.: Наука, 1987. - 240 с.

11. Технологические свойства сварочной дуги в защитных газах / В.А. Ленивкин, Н.Г. Дюргеров, Х.Н. Сагиров. – М.: Машиностроение, 1989. - 264 с.

12. Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры. ГОСТ 14771-76. М.: Изд-во стандартов.- 1996.- 60 с.

13. Федосов, С.А. К вопросу о влиянии полярности на глубину проплавления и скорость сварки / С.А. Федосов // Современные проблемы повышения эффективности сварочного производства: сб. материалов Всеросс. заочной научн.-техн. конф. (Тольятти, 25-28 октября 2011 года / Под ред. В.П. Сидорова [и др.]. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2011. С. 97-99.

14. Ерохин А.А. Основы сварки плавлением. М.: Машиностроение, 1973, 448 с.

15. Сидоров, В.П. Определение вольтова эквивалента анодной мощности по характеристикам плавления электрода / В.П. Сидоров, А.В. Бережко, Е.Е. Комаров // Сварка и контроль -2005 : Матер. докл. 24-й НТК. - Челябинск, 2005. -С. 99-106.

16. Кархин, В.А. Тепловые процессы при сварке / В.А. Каргин.- СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2015.-572 с.

17. Сидоров, В.П. Подход к проектированию доли участия основного металла в металле шва / В.П. Сидоров, А.И. Ковтунов, С.А. Хурин // Сварочное производство, 2011, № 4, С. 3-6.

18. Лесков, Г.И. Электрическая сварочная дуга. М.: Машиностроение, 1970-335 с.
19. Абрамова, М.А., Волков, А.А., Черная, Д.В. Математическое моделирование процесса тандемной сварки стыкового соединения // Сборник трудов IV международной научно-технической конференции «Резниковские чтения 2015», «Теплофизические и технологические аспекты повышения эффективности машиностроительного производства» Часть 2 (Тольятти, 27-29 мая 2015 г), Тольятти: ТГУ. – 2015. - С. 59-64.
20. АС СССР № 536022, опубл. 25.11.76 г. Бюл. №43.
21. [Патент US № 2009120919A1, от 2009.05.14 МПК В23К9/02 и В23К9/10].
22. Заявка на патент Способ двусторонней дуговой сварки тавровых соединений № 2015109907 от 20.03.2015 (авторы Сидоров В.П., Абрамова М.А., Корсун Д.Е.)
23. Савинов, А.В. Дуговая сварка неплавящимся электродом / А.В. Савинов, И.Е. Лапин, В.И. Лысак.- М.: Машиностроение, 2011.- 477 с.
24. Заявка на патент Методика исследования энерговыделения в вылете №2015149186 от 16.11.2015г (авторы Сидоров В.П., Новский И.В., Абрамова М.А.)

Приложение

Рецензия

На статью В.П. Сидорова и М.А. Абрамова «О роли нагрева вылета в производительности расплавления электрода при сварке в CO₂»

При рассмотрении представленной статьи возникают следующие вопросы:

С использованием данных таблицы № 1 авторы привязывают конкретные величины длины вылета электрода (\max и \min) к конкретным величинам напряжения сварки. Вместе с тем, при дуговой сварке в CO₂ столь значительные изменения длины вылета электрода могут происходить в основном за счет манипуляций сварщика и носят нерегулярный характер. В установившемся же режиме регулярными и существенно меньшими изменениями длины вылета электрода сопровождается процесс крупнокапельного массопереноса (накопление и отрыв капли металла). Скорее всего данные Таблицы № 1 не являются результатом конкретных синхронизированных измерений длины вылета электрода и напряжения сварки, а представляют оценочный диапазон изменения этих параметров от всех возможных воздействий.

В связи с изложенным представляется необходимым уточнить в статье насколько результат проведенных исследований соответствует реальному сочетанию рассматриваемых параметров в установившемся режиме сварки, или в данном случае представлен пример методического подхода к изучению процесса.

Необходимо также оценить насколько корректно в данном случае говорить о совпадении расчетных и экспериментальных данных.

Также не совсем ясно с какой целью проведено исследование сварки с нулевым вылетом электрода – такой вариант сварки на практике неприменим.

В. А. Хаванов

Приложение

Форма № 94 ИЗ, ПМ, ПО-2011

Федеральная служба по интеллектуальной собственности
Федеральное государственное бюджетное учреждение

«Федеральный институт промышленной собственности»
(ФИПС)

Бережковская наб., 36, корп. 1, Москва, Г-59, ГСП-3, 125993

Телефон (8-499) 240-60-15 Факс (8-495) 531-63-18

УВЕДОМЛЕНИЕ О ПОСТУПЛЕНИИ ЗАЯВКИ

20.03.2015	015674	2015109907
<i>Дата поступления</i>	<i>Входящий №</i>	<i>Регистрационный №</i>

ОТД № 17
 24 MAR 2015
 ТЕЛ 24060 16

(1) ДАТА ПОСТУПЛЕНИЯ оригинал(ы) документов заявки 20 MAR 2015	(2) РЕГИСТРАЦИОННЫЙ № 015674	(3) ДАТА ПЕРЕВОДА между-народной заявки на национальную фазу ТЕЛ 24060 16
(18) <input type="checkbox"/> (19) (регистрационный номер международной заявки и дата международной заявки, установленный соответствующим ведомством) (20) <input type="checkbox"/> (21) (номер и дата международной публикации международной заявки)	АДРЕС ДЛЯ ПЕРЕПИСКИ (используется для подачи заявок, подачи заявок на патент, подачи заявок на патент) М.А. Абрамовой, Б/р Гая, д.9, кв. 101, г. Тольятти, Самарская обл., 445039, Телефон: 8 909 364 8324 Факс: E-mail: maa.abramova@yandex.ru	
(33) ЗАЯВЛЕНИЕ о выдаче патента Российской Федерации на изобретение		АДРЕС ДЛЯ СЕКРЕТНОЙ ПЕРЕПИСКИ (используется для подачи заявок на патент) В Федеральную службу по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам Бережковская наб., 36, корп.1, Москва, Г-59, ГСП-5, 125995
(34) НАЗВАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ СПОСОБ ДВУСТОРОННЕЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ ТАВРОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ		
(71) ЗАЯВИТЕЛЬ (полностью полное или краткое наименование (наименование) предприятия (организации), фирмы, индивидуального или иного предприятия, включая название страны и кодовую часть почтового адреса) Общество с ограниченной ответственностью «Средневолжский сертификационно-диагностический центр «Дельта» ул. Белорусская, 3, г. Тольятти, Самарская обл., 445020, Россия Укажите вид владельца: <input type="checkbox"/> государственному заказчику <input type="checkbox"/> муниципальному заказчику исполнителю работ _____ (укажите наименование) <input type="checkbox"/> исполнителю работ по <input type="checkbox"/> государственному <input type="checkbox"/> муниципальному контракту, заказке работ _____ (укажите наименование) Контракт от _____ № _____		ОГРН 102630097567 КОД страны по стандарту ВОИС ST. 3 (для изобретения) RU
(74) ПРЕДСТАВИТЕЛЬ(И) ЗАЯВИТЕЛЯ Укажите имя лица (лиц) (исключительно) (исключительно) для ведения дел по получению патента от имени заявителя в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам		Имя лица <input type="checkbox"/> Патентный поверенный <input type="checkbox"/> Иное наименование Факс:
Срок представительства (укажите срок и дату окончания или продолжения без продолжения (продления))		Регистрационный (2) номер (4) (патентный) поверенный(их)
(72) Автор (укажите имя и фамилию)		Полный почтовый адрес места жительства, включающий обязательно идентификацию страны и ее код по стандарту ВОИС ST. 2

Количество листов	51	Фамилия лица, принявшего документы
Количество документов, подтверждающих уплату пошлины	2	Сергеева Н.Н.
Количество изображений	0	

Приложение

Форма № 18 ИЗ,ПМ-2011



Федеральная служба по интеллектуальной собственности
Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Федеральный институт промышленной собственности»
(ФИПС)

ОТЧЕТ О ПОИСКЕ

1. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЗАЯВКИ		
Регистрационный номер 2015109907/02(015674)	Дата подачи 20.03.2015	
<p><u>Приоритет установлен по дате:</u></p> <input checked="" type="checkbox"/> подачи заявки <input type="checkbox"/> поступления дополнительных материалов от _____ к ранее поданной заявке № _____ <input type="checkbox"/> приоритета по первоначальной заявке № _____ из которой данная заявка выделена <input type="checkbox"/> подачи первоначальной заявки № _____ из которой данная заявка выделена <input type="checkbox"/> подачи ранее поданной заявки № _____ <input type="checkbox"/> подачи первой(ых) заявки(ок) в государстве-участнике Парижской конвенции (31) Номер первой(ых) заявки(ок) (32) Дата подачи первой(ых) заявки(ок) (33) Код страны		
1.		
Название изобретения (полезной модели): <input checked="" type="checkbox"/> - как заявлено; <input type="checkbox"/> - уточненное (см. Примечания) СПОСОБ ДВУСТОРОННЕЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ ТАВРОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ		
Заявитель: Общество с ограниченной ответственностью "Средневолжский сертификационно-диагностический центр "Дельта", RU		
2. ЕДИНСТВО ИЗОБРЕТЕНИЯ		
<input checked="" type="checkbox"/> соблюдено <input type="checkbox"/> не соблюдено. Пояснения: см. Примечания		
3. ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ:		
<input checked="" type="checkbox"/> приняты во внимание все пункты <input type="checkbox"/> приняты во внимание следующие пункты: <input type="checkbox"/> принята во внимание измененная формула изобретения		(см. Примечания) (см. Примечания)
4. КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТА ИЗОБРЕТЕНИЯ (ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ) (Указываются индексы МПК и индикатор текущей версии)		
B23K 9/025 (2006.01) B23K 9/173 (2006.01) B23K 9/24 (2006.01)		
5. ОБЛАСТЬ ПОИСКА		
5.1 Проверенный минимум документации PCT (указывается индексами МПК) B23K 9/00, 9/02 - 9/025, 9/095 - 9/173		
5.2 Другая проверенная документация в той мере, в какой она включена в поисковые подборки: -		
5.3 Электронные базы данных, использованные при поиске (название базы, и если, возможно, поисковые термины): Depatisnet, EAPATIS, ESP@CE, ESP@CENET, PCT Outline, Patsearch, USPTO, WIPO		
6. ДОКУМЕНТЫ, ОТНОСЯЩИЕСЯ К ПРЕДМЕТУ ПОИСКА		
Категория*	Наименование документа с указанием (где необходимо) частей, относящихся к предмету поиска	Относится к пункту формулы №
1	2	3
A	US2009120919 A1 (LINCOLN GLOBAL INC AT AL),14.05.2009;	1

(см. на обороте)

1	2	3
A	SU 1013165 A1 (ПРЕДПРИЯТИЕ П/Я М-5671), 23.04.1983;	1
A	SU 766785 A1 (ПРЕДПРИЯТИЕ П/Я Р-6719), 30.09.1980;	1
A	SU 612771 A1 (ПРЕДПРИЯТИЕ П/Я М-5188), 30.06.1978;	1
A	US 4258247 A1 (SHIMADA W.A. AT AL), 24.03.1981.	1


<p>*Особые категории ссылочных документов:</p> <p>«А» документ, определяющий общий уровень техники и не считающийся особо релевантным</p> <p>«Е» более ранний документ, но опубликованный на дату международной подачи или после нее</p> <p>«L» документ, подвергающий сомнению притязание(я) на приоритет, или который приводится с целью установления даты публикации другого ссылочного документа, а также в других целях (как указано)</p> <p>«О» документ, относящийся к устному раскрытию, использованию, экспонированию и т.д.</p> <p>«Р» документ, опубликованный до даты международной подачи, но после даты испрашиваемого приоритета</p> <p>«Т» более поздний документ, опубликованный после даты международной подачи или даты приоритета и не порочащий заявку, но приведенный для понимания принципа или теории, на которых основывается изобретение</p>	<p>«X» документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска: заявленное изобретение не обладает новизной или изобретательским уровнем в сравнении с документом, взятым в отдельности</p> <p>«Y» документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска; заявленное изобретение не обладает изобретательским уровнем, когда документ взят в сочетании с одним или несколькими документами той же категории, такая комбинация документов очевидна для специалиста</p> <p>«&» документ, являющийся патентом-аналогом</p>
--	---

7. ПРИМЕЧАНИЯ:

8. УДОСТОВЕРЕНИЕ ОТЧЕТА

Настоящий отчет состоит из 1 л.	К отчету приложены копии ссылок на - л. в - экз.
---------------------------------	--

Дата действительного завершения поиска: 30.11.2015	Должность и подпись уполномоченного лица:
--	---

<p>Поисковый орган: ФИПС Бережковская наб., 30, корп. 1, Москва, Г-59, ГСП-3, 125993 Телефон (8-499) 240- 60- 15. Факс (8-495) 531- 63- 18; e-mail: fips@rupto.ru</p>	<p>ГЭ по ИС Н.П.Свечникова</p> 
--	--

Приложение

Форма № 94 ИЗ, ПМ, ПО-2011

Федеральная служба по интеллектуальной собственности
Федеральное государственное бюджетное учреждение

**«Федеральный институт промышленной собственности»
(ФИПС)**

Бережковская наб., 30, корп. 1, Москва, Г-59, ГСП-3, 125993

Телефон (8-499) 240-60-15 Факс (8-495) 531-63-18

УВЕДОМЛЕНИЕ О ПОСТУПЛЕНИИ ЗАЯВКИ

16.11.2015	075669	2015149186
<i>Дата поступления</i>	<i>Входящий №</i>	<i>Регистрационный №</i>

ДАТА ПОСТУПЛЕНИЯ оригиналов документов заявки 16 НОЯ 2015 Ф И П С О Т Д 1 7		(21) РЕГИСТРАЦИОННЫЙ № 075669	ВХОДЯЩИЙ № 2015149186
<input type="checkbox"/> (86) <small>(регистрационный номер международной заявки и дата международной заявки, условные патенты ведомств)</small>		АДРЕС ДЛЯ ПЕРЕПИСКИ <small>(базовый почтовый адрес, если для международного обращения)</small> М.А. Абрамовой, ул. Дзержинского 34-179, г. Тольятти, Самарская обл., 445030 Телефон: 89093648324 Факс: E-mail: miss.abramovama@yandex.ru	
<input type="checkbox"/> (87) <small>(номер и дата международной публикации международной заявки)</small>		АДРЕС ДЛЯ СЕКРЕТНОЙ ПЕРЕПИСКИ <small>(указывается при наличии адреса для секретной переписки)</small>	
ЗАЯВЛЕНИЕ о выдаче патента Российской Федерации на изобретение		В Федеральную службу по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам Бережковская наб., 30, корп. 1, Москва, Г-59, ГСП-5, 123995	
(54) НАЗВАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ Способ определения сопротивления вылета сварочного электрода			
(71) ЗАЯВИТЕЛЬ <small>(Указывается полное имя или наименование (ссылка на соответствующий документ), место жительства или место нахождения, включая название страны и почтовый почтовый адрес)</small> Общество с ограниченной ответственностью «Средневожжский сертификационно-диагностический центр "Дельта" ул. Белорусская 3, г. Тольятти, Самарская обл., 445035, Россия		ОГРН 1036300997567 КОД страны по стандарту ВОНС СТ. 3 <small>(если он установлен)</small> RU	
Указанное лицо является <input type="checkbox"/> государственным заказчиком <input type="checkbox"/> муниципальным заказчиком, исполнитель работ <small>(укажите наименование)</small> <input type="checkbox"/> исполнителем работ по <input type="checkbox"/> государственному <input type="checkbox"/> муниципальному контракту, заказчик работ <small>(укажите наименование)</small>		Является <input type="checkbox"/> Патентным(и) поверенным(и) <input type="checkbox"/> Иным представителем Факс:	
(74) ПРЕДСТАВИТЕЛЬ(И) ЗАЯВИТЕЛЯ Указанное(ые) ниже лицо(а) назначено(назначены) заявителем(заявителем) для ведения дел по получению патента от его(их) имени в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам		Регистрационный (с) номер (а) патентного(ых) поверенного(ых)	
Срок представительства <small>(указывается в случае назначения лица, и представляется без предоставления доверенности)</small>		(72) Автор <small>(указывается полное имя)</small>	
Полный почтовый адрес места жительства, включающий официальное наименование		Бланк заявления ИЗ лист 1	

ОТД №17
18 НОЯ 2015
(240 60 15)

Ревбе

55 / 41

Количество листов	55	Фамилия лица, принявшего документы Сергеева Н.Н.
Количество документов, подтверждающих уплату пошлины	2	
Количество изображений	0	