

ОСОБЕННОСТИ ИСТЕЧЕНИЯ ДВУХ ГАЗОВЫХ ПОТОКОВ ИЗ СОПЕЛ СВАРОЧНЫХ ГОРЕЛОК ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКЕ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ

С. Т. РИМСКИЙ, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Лазеринтерференционным и теневым методами изучена структура и характер истечения потоков аргона и углекислого газа, одновременно вытекающих на плоскую преграду из внутреннего и наружного сопел плоской формы с различной геометрией каналов. Найдены оптимальные сочетания расходов внутреннего и наружного потоков защитных газов, рациональные конструкции сопел горелок. Предложена конструкция горелки для сварки на форсированных режимах в двойном потоке защитных газов, обеспечивающая эффективную защиту зоны сварки от воздуха на токах до 900 А при небольших расходах аргона и углекислого газа.

Ключевые слова: дуговая сварка, плавящийся электрод, защитные газы, расход газа, двухслойная защита, эффективность газовой защиты, оптические методы, форсированные режимы, пористость швов, конструкции горелок

При сварке плавящимся электродом в защитных газах на форсированных режимах сложно обеспечить надежную защиту зоны дуги и жидкого металла от вредного воздействия воздуха. Со времени разработки этого способа сварки многие исследователи изучали истечение струи защитного газа из сопел сварочных горелок с целью выбора таких оптимальных параметров струи газа, которые обеспечивали бы наилучшие защитные свойства [1–5]. Рекомендации, выработанные в результате этих исследований, получены для одного потока газа, вытекающего из сопел сварочных горелок различных конструкций.

Кроме сварки в одном газовом потоке, получает распространение способ сварки в двойном потоке (известен на европейском рынке под названием MAGCI-процесс), состоящем из двух коаксиально расположенных струй газов [6]. В этом случае важно обеспечить минимальную смешиваемость, поскольку дуга должна гореть в центральной струе газа, имеющего определенные полезные технологические свойства. Параметры центральной струи газа (например, аргона или смеси газов Ar+He) выбираются такими, чтобы обеспечить их минимальный расход в связи с высокой стоимостью. Расход газа, подаваемого в наружное сопло, может быть в несколько раз больше, чем подаваемого в центральное сопло. Этот менее дорогой газ защищает центральную струю и обеспечивает дополнительную защиту сварочной ванны. Двухструйная газовая защита позволяет снизить расход аргона на 50...60 % [6].

В совершенствовании газовой защиты при сварке наметилось два основных направления:

обеспечение надежной газовой защиты при сварке на форсированных режимах при небольших расходах дорогостоящих газов; использование принципов организации газовой защиты, отличных от традиционных, с помощью создания совершенных конструкций сварочных горелок. Оба направления заслуживают серьезного внимания и требуют глубокого изучения применительно к различным условиям сварки.

Среди методов исследования неоднородностей газовых потоков, позволяющих изучать сложную двухслойную защиту, состоящую из окислительных и нейтральных газов, распространенными и основными являются два оптических метода, взаимно дополняющие друг друга — интерференционный и теневой. Интерференционный метод дает непосредственно распределение плотностей, а теневой — градиентов плотностей газовых струй. Основные преимущества оптических методов исследования перед другими физическими методами заключаются в следующем:

оптические методы не вводят посторонних возмущений в исследуемое пространство и не вызывают изменений физических и химических свойств среды;

имеют большую чувствительность, позволяют заметить и измерить местные изменения температуры воздуха или других газов до $0,1^\circ$, что затруднительно при других методах;

дают возможность одновременно исследовать все пространство, занятое данным явлением, незаменимы для определения поля температур и давлений потоков, пламени и т. д.;

возможность успешного применения для исследования нестационарных, быстропротекающих процессов (распространение ударных волн, фронта пламени) из-за отсутствия инерционности.

Влияние различных факторов на эффективность сложной (двухслойной) газовой защиты зоны сварки изучали на экспериментальной уста-

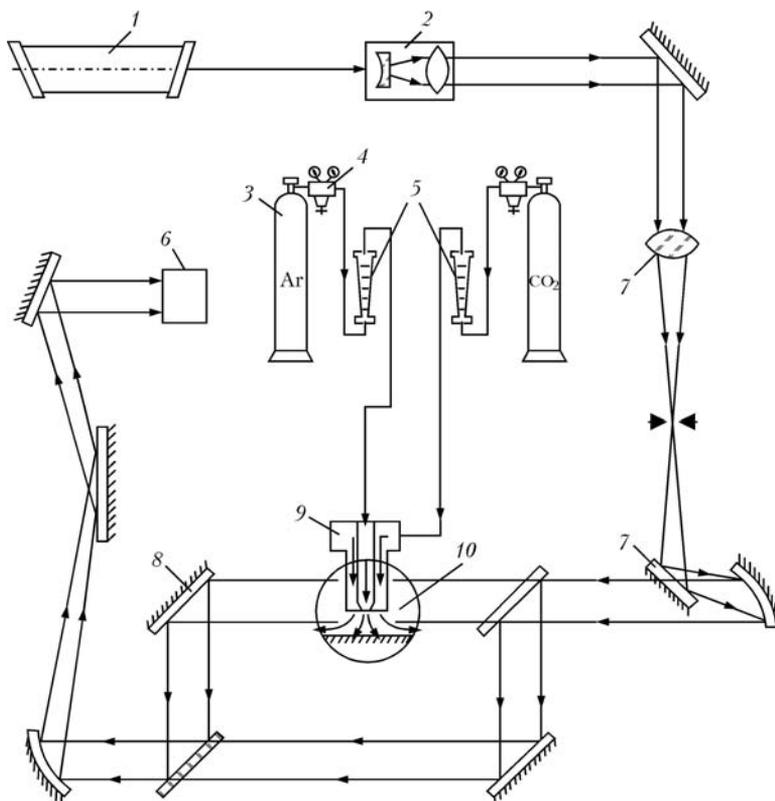


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 — лазер; 2 — оптическая приставка; 3 — баллоны с газом; 4 — газовые редукторы; 5 — ротаметры; 6 — приемное устройство; 7 — коллиматор; 8 — интерференционная часть прибора; 9 — сварочная горелка; 10 — оптическое окно

новке, схема которой представлена на рис. 1. Установка состоит из соединения четырехзеркального интерферометра (типа Цендера-Маха) и теневого прибора (типа Теплера), рабочего участка, баллонов с газами и измерительных приборов. Интерферометр ИТ-14 можно использовать в режиме двух настроек для получения интерферограмм и тенеграм. В первом случае в качестве источника света использовали оптический квантовый генератор ЛГ-36А, во втором — ртутную кварцевую лампу сверхвысокого давления ДРШ-500.

В рабочем участке установки были размещены выполненные из оргстекла опытные насадки (газовые сопла), с различной конфигурацией каналов: два наружных для потока углекислого газа и внутренний — для аргона. Поверхности каналов опытных насадок имели плоскую форму. Насадки размещали перпендикулярно к направлению основного светового потока оптического прибора, что позволило избежать дополнительных искажений структуры потока на интерференционных и теневых картинах. В верхней части насадки имели распределительную головку, которая обеспечивала прием двух разных газов и направление их в соответствующие каналы. Аргон и углекислый газ имеют различные коэффициенты преломления, поэтому их можно хорошо различать в приемной части интерферометра. Внутри насадок был установлен специальный стержень, имитирующий токоподводящий наконечник и сварочный электрод. Расстояние от нижнего среза насадки до горизонтальной плоскости равнялось 20 мм. Расход газов определяли с помощью ротаметров РС-3.

Исследование эффективности газовой защиты проводили по комплексной методике в два этапа. На первом с помощью интерферометра ИТ-14 изучали характер истечения газовых потоков в зависимости от особенностей конструкции опытных насадок (рис. 2) и изменения расходов аргона и углекислого газа (всего опробовано 12 комбинаций расходов защитных газов (таблица). За определяющий фактор при исследовании данной конструкции насадки принимали аргон как наиболее полезный и относительно дорогой защитный газ при дуговой сварке. Отношение расходов CO_2/Ar , определяемое числом K , изменялось от 0,94 до 7,50 (таблица).

По результатам оптических опытов были изготовлены рабочие горелки с профилями насадок, имеющими лучшие газодинамические свойства.

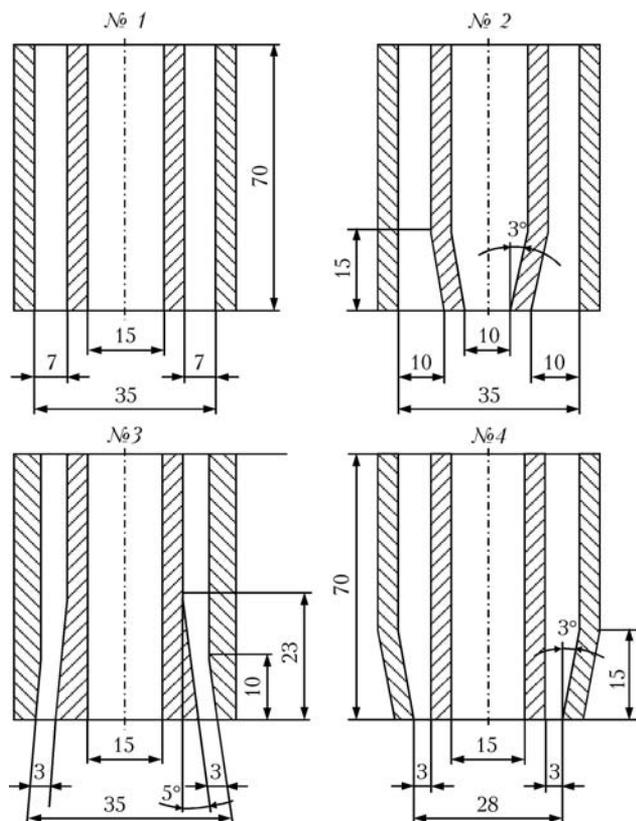


Рис. 2. Схема опытных насадок в разрезе шириной 20 мм; № 1–4 — номера насадок

Расход экспериментальных смесей защитных газов

Расход, л/ч		Отношение расходов CO ₂ /Ar (K)
CO ₂	Ar	
300	120	2,50
500		4,16
700		5,84
900		7,50
300	220	1,36
500		2,27
700		3,19
900		4,09
300	320	0,94
500		1,56
700		2,19
900		2,81

На втором этапе в реальных условиях сварки испытывали рабочие горелки различной конструкции по сравнению с широко применяемой на производстве горелкой с цилиндрическим соплом. Наплавку валиков на пластины из стали ВСтЗсп выполняли сварочной проволокой Св-08Г2С диаметром 2 мм. В опытах изменяли силу сварочного тока, расход газа и расстояние от сопла до свариваемого изделия. Эффективность газовой защиты оценивали по качеству сварных швов — наличию пористости и содержанию азота в металле шва. Для определения пористости все сварные швы подвергали рентгенографическому анализу. Содержание азота в металлической стружке определяли химическим анализом. Содержание азота в стали и сварочной проволоке составляет соответственно 0,007 и 0,012 мас. %. Такой комплексный метод оценки эффективности газовой защиты зоны сварки представляет практическую пользу и является наиболее точным.

Использование плоских моделей сварочных горелок (насадок) при исследовании качества газовой защиты зоны сварки с помощью интерферометра ИТ-14 дало возможность правильно представить динамическую картину взаимодействия двух газовых потоков.

Газовый поток, вытекая из насадки (рис. 3, 4), встречает на своем пути преграду в виде плоскости свариваемых металлов. Полученная картина резкого изменения направления движения газовых струй, растекание их по поверхности преграды, взаимное перемешивание аргона и углекислого газа, а также перемешивание с окружающей воздушной средой подтверждает тот факт, что данная сложная газодинамическая ситуация не поддается строгому математическому описанию. Наиболее правильным путем исследования подобных процессов является их визуализация с помощью оптических приборов для получения интерферог-

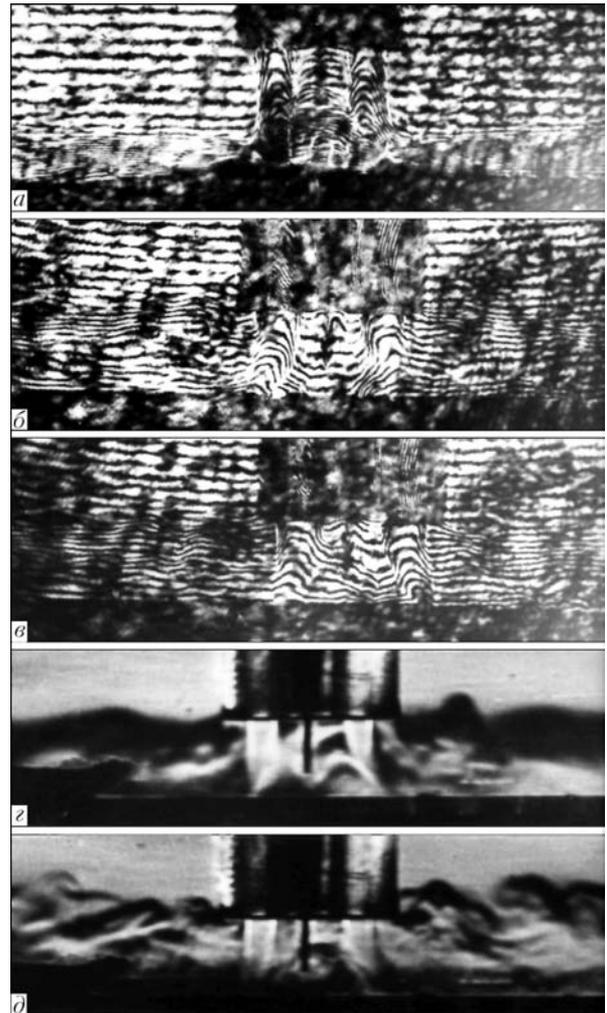


Рис. 3. Интерферограммы (а–в) и тенеграммы (z, d) истечения газовых потоков Ar и CO₂ из опытной насадки № 1 при разном отношении расхода газов: а, z — K = 2,19; б, d — 3,19; в — 5,84

рам и тенеграм с их последующим анализом и расшифровкой.

Структуру и характерные особенности зоны газовой защиты с применением опытной насадки № 1 (см. рис. 2) при различных расходах аргона и углекислого газа можно проследить на рис. 3. Из приведенных интерферограмм и тенеграм можно определить как изменяется структура зоны газовой защиты в зависимости от различных переменных факторов. Виден сложный характер взаимодействия двух сопутствующих параллельных газовых потоков, встречающих плоскую преграду. Границы газовых потоков четко видны при вытекании из опытной насадки. По мере удаления газовых струй от выходного сечения происходит заметная турбулизация и взаимное перемешивание потоков. При достижении плоской преграды газовые струи, перемешиваясь, растекаются по поверхности. При этом поток газов поворачивается на 90°, что приводит к дальнейшему развитию турбулентности и активному смешиванию с окружающей воздушной средой. При данной насад-

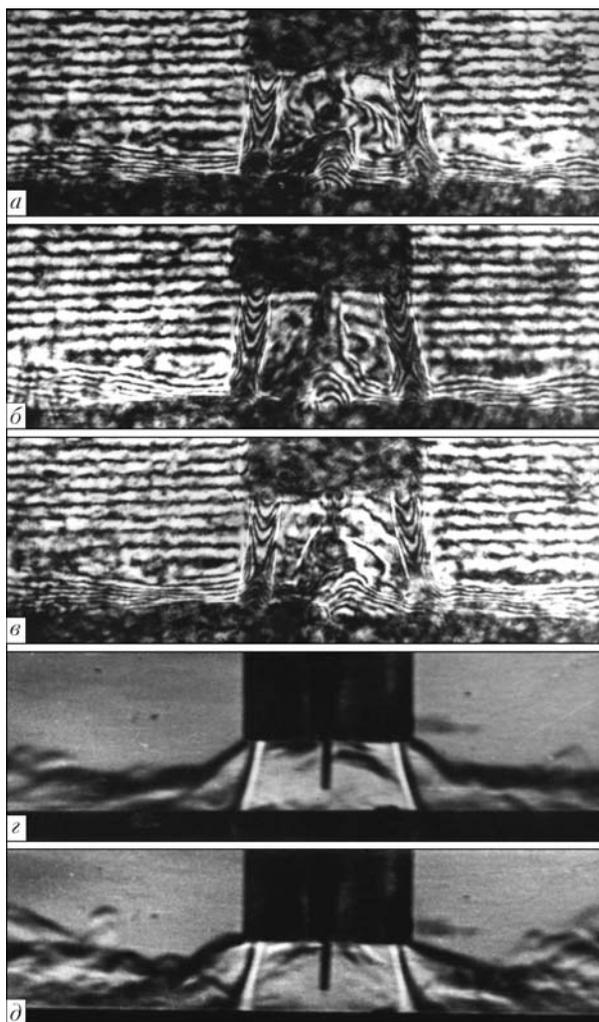


Рис. 4. Интерферограммы (а-в) и тенеграммы (з, д) истечения газовых потоков Ar и CO_2 из опытной насадки № 3 при разном отношении расхода газов: а, з — $K = 2,19$; б, д — $3,19$; в — $5,84$

ке с возрастанием расхода аргона (рис. 3, а) увеличивается зона пространства, занимаемая этим газом, а у поверхности преграды углекислый газ оттесняется на внешнюю сторону. С увеличением расхода углекислого газа происходит уменьшение зоны, заполненной аргоном (рис. 3, в). При этом происходит бурное перемешивание газов и трудно выделить их границы. С увеличением расхода углекислого газа и аргона газовые потоки становятся более «упругими», однако при взаимном бурном взаимодействии их границы на поверхности преграды сохраняются, образуя устойчивый поток смеси газов (рис. 3, а).

Определенный интерес представляет исследование характера истечения газовых потоков из опытной насадки № 3, имеющей внутренний профиль конфузорного типа (см. рис. 2). На интерферограммах и тенеграммах (рис. 4) с применением насадки № 3 четко видны границы расходящегося потока углекислого газа и растекающегося по поверхности преграды потока газовой смеси аргона и углекислого газа. При использовании

конфузорной насадки общая картина истечения газовых потоков сохраняется, как и при прямом профиле насадки № 1. Однако в этом случае имеются некоторые особенности структуры газовых потоков, которые заключаются в следующем. При конфузорном истечении газов поток становится более «упругим» и устойчивым на сравнительно большом расстоянии от выходного среза насадки. Расположение интерференционных полос вдоль потока углекислого газа показывает, что в непосредственной близости от среза насадки скорость потока, а значит и его плотность, изменяется по сечению струи незначительно. По мере продвижения потока вперед искривления интерференционных полос увеличивается (полосы вытягиваются), что свидетельствует о значительной деформации профиля скоростей потока, особенно в районе границы с окружающими средами (с одной стороны — с потоками аргона, с другой — воздушной средой). При этом необходимо отметить, что поток углекислого газа на своих границах имеет сопутствующий ламинарный пограничный слой. Ламинарная оболочка определенной толщины окружает основную турбулентную сердцевину газового потока и действует как защитный слой, в то время, как при насадке № 1 с увеличением отношения расходов газа K защитный ламинарный слой утончается и исчезает (см. рис. 3, а-в).

Приведенные на рис. 4 интерферограммы и тенеграммы свидетельствуют о том, что при сравнительно малых расходах аргона и небольших расходах углекислого газа можно четко проследить зону каждого истекающего газа. С увеличением расхода аргона (рис. 4, а, б) происходит оттеснение углекислого газа в наружную сторону, при этом непосредственно под насадкой общий перемешанный слой газов у горизонтальной поверхности увеличивается по толщине незначительно в отличие от использования насадки № 1 (см. рис. 3, а, б), когда этот слой газов утолщается, теряет скорость и интенсивно смешивается с воздухом. Хорошо выражены границы зон применяемых газов. По мере удаления от зоны сварки смешанный газовый поток имеет достаточную упругость.

Проведенные исследования физической картины зоны газовой защиты дали возможность высказать ряд рекомендаций, позволивших выбрать оптимальный режим расхода аргона и углекислого газа и обеспечить при этом эффективную защиту дуги от воздействия воздуха.

При расходах аргона, равных 120, 220 и 320 л/ч, необходимо выдерживать соотношение K в пределах заштрихованной области, показанной на рис. 5. С увеличением соотношения расхода газов K выше заштрихованной области происходит быстрое разрушение потока аргона углекис-

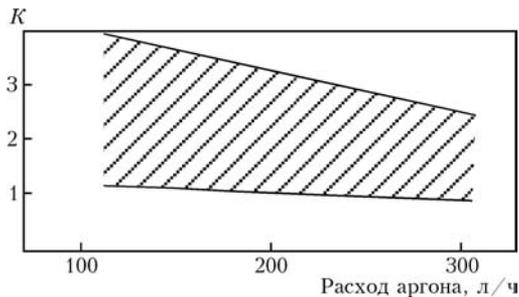


Рис. 5. Область эффективной двухслойной газовой защиты в зависимости от соотношения расходов K

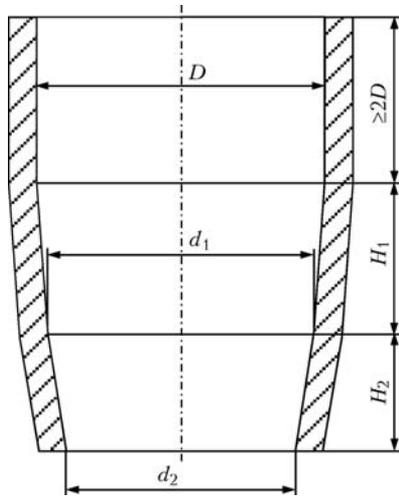


Рис. 6. Схема двухконусного сопла для сварки на форсированных режимах

лым газом, уменьшается зона, заполненная аргоном, изменяется состав смеси аргона и углекислого газа в зоне горения дуги. При сварке это может ухудшить стабильность горения дуги и привести к другим неблагоприятным явлениям металлургического и технологического характера.

При механизированной сварке стали проволокой диаметром 1,0...1,2 мм обычно применяют небольшие токи (≤ 350 А), что позволяет обеспечить хорошую защиту зоны сварки от воздуха. Применение форсированных режимов при автоматической сварке проволокой диаметром более 1,6 мм требует совершенной конструкции сопла и самой горелки, а также обеспечения качественной защиты зоны сварки при сварочном токе до 900 А и расстоянии от торца сопла до изделия 25...30 мм. Для этого струя газа должна иметь достаточную жесткость, не разрушаться от легких сквозняков и движений воздуха, вызываемых вентиляцией.

Конструктивной особенностью сварочной горелки, построенной по профилю насадки конфурзорного типа № 3, является то, что защитный поток углекислого газа отнесен от струи аргона на определенное расстояние и в момент выхода из сопла не соприкасается с ним. Наружный кольцевой поток углекислого газа, вытекающий из

сопла под небольшим углом к оси электрода, выполняет роль своеобразной газовой завесы вокруг потока аргона и одновременно защищает дугу и сварочную ванну от воздуха. Изменив расстояние от сопла до изделия и скорости истечения углекислого газа и аргона, можно в определенной степени регулировать необходимый состав газовой смеси в зоне сварки. Такое построение двухслойной газовой защиты позволяет устранить ряд недостатков, присущих процессу сварки в одном потоке газа, например, в углекислом газе или аргоне и создать иные условия для горения дуги и переноса электродного металла, добываясь необходимых сварочно-технологических характеристик процесса. Такая горелка обеспечивает надежную защиту зоны сварки на токах до 900 А с хорошим качеством сварных швов.

Известно, что сварочные горелки с конусным или цилиндрическим соплом имеют узкий диапазон расходов газа, при отклонении от которого защитная струя газа турбулизуется и интенсивно смешивается с воздухом [4]. При сварке поток защитного газа подвергается воздействию дугового разряда, особенно конвективных потоков от сварочной ванны. Кроме того, на процесс смешивания защитного газа с воздухом оказывает влияние интенсивность и масштаб турбулентности [4]. Эти характеристики потока резко увеличиваются на выходе из сопла и зависят от геометрии профиля сопла и расхода газа. Для выравнивания поля скоростей истечения газа и уменьшения степени и масштаба турбулентности применяются сопла, обеспечивающие поджатие газового потока [4, 7].

С помощью интерферометра ИТ-14 теневым методом был изучен характер истечения при различных расходах защитного газа из цилиндрического и двухконусного сопел. Исследования показали, что газовый поток с поджатием его в сопле наиболее устойчив при использовании двухконусного сопла [7]. Основные геометрические размеры двухконусного сопла (рис. 6) следующие: $d_1 = 0,75...0,95D$, $d_2 = 0,50...0,90D$, $H_1 = 0,65...0,80D$, $H_2 = 0,50...0,70D$, где d_1 — диаметр окружности сопряжения конусов; d_2 — диаметр выходного отверстия нижнего конуса; D — диаметр основания верхнего конуса; H_1 и H_2 — высоты верхнего и нижнего конусов.

Из сопоставления тенегрaмм можно убедиться, что при увеличении расхода газа вытекающая из цилиндрического сопла (рис. 7, а, б) струя расширяется и турбулизуется, что приводит к заметному смешиванию ее с воздухом. При использовании двухконусного сопла увеличение расхода газа повышает жесткость струи (рис. 7, в, г) и обеспечивает значительно большую длину ламинарного участка на выходе из сопла [7]. При этом струя вытекающего газа не расширяется (рис. 7, в, г).

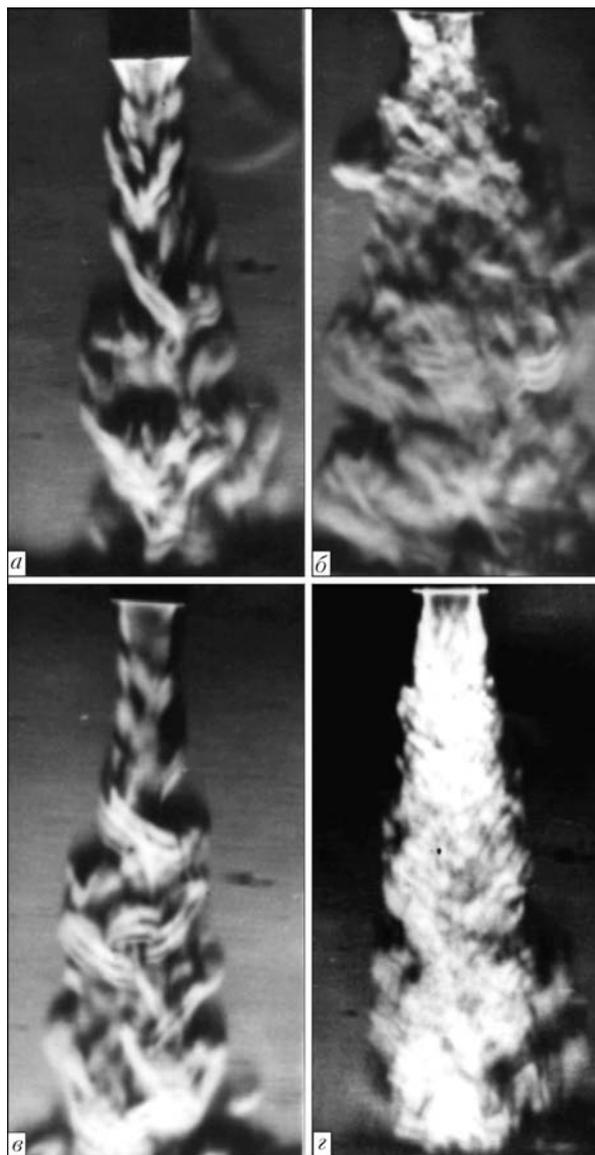


Рис. 7. Характер истечения защитного газа из цилиндрического (а, б) и двухконусного (в, г) сопел сварочной горелки в зависимости от расхода газа: а, в — 900; б, г — 1800 л/ч (диаметр сопла 22 мм)

Из технологических факторов наибольшее влияние на качество защиты зоны сварки от воздуха оказывает расход газа, расстояние от сопла горелки до свариваемого изделия, значение сварочного тока, а также конструкция горелки. Существует минимально необходимый расход газа, который при выбранных условиях сварки (конструкция горелки, параметры режима и др.) обеспечивает удовлетворительную защиту металла, переплавляемого дугой, от воздуха.

Влияние конструкции сопла и состава смеси $Ar + O_2 + CO_2$ на качество защиты металла от воздуха при сварке на форсированных режимах приведено на рис. 8. Существенное снижение пористости сварных швов обеспечивает двухконусное сопло, а также увеличение концентрации углекислого газа в тройной смеси. Последнее обусловлено действием термического расширения углекислого

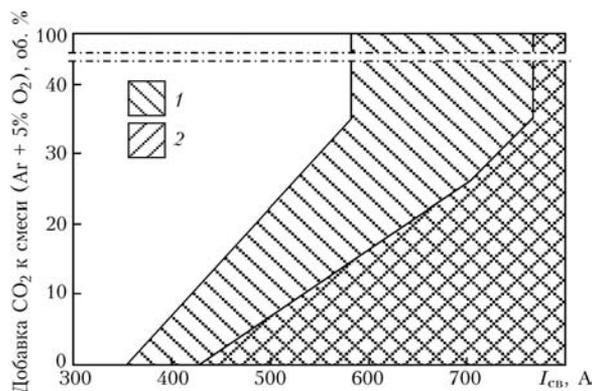


Рис. 8. Влияние конструкции сопла на стойкость металла шва против образования пористости в зависимости от состава защитного газа и силы сварочного тока: 1 — поры, цилиндрическое сопло; 2 — поры, двухконусное сопло (расход газа 1400 л/ч)

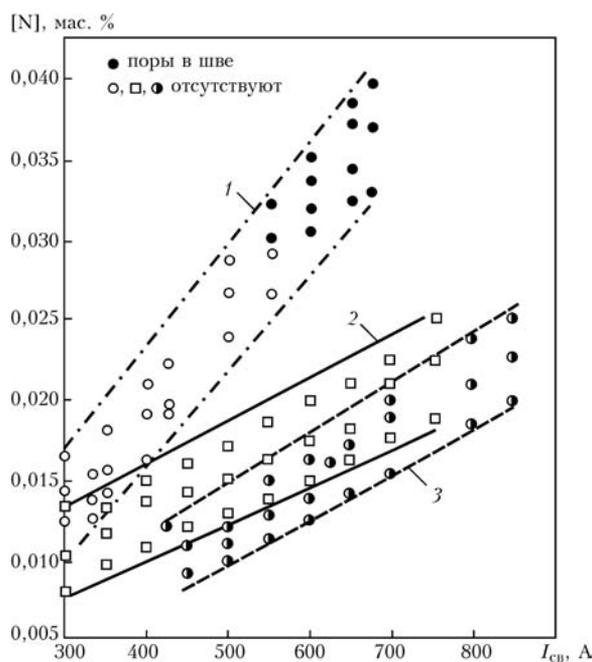


Рис. 9. Влияние одно- (1, 2) и двухслойной (3) газовой защиты на поглощение азота металлом шва: 1, 2 — соответственно цилиндрическое и двухконусное сопло с расходом газа ($Ar + 5\% O_2 + 25\% CO_2$) 1600 л/ч; 3 — горелка для двухслойной газовой защиты с профилем насадки № 3 (рис. 2) при отношении расхода газов $K = 2,81$

газа и его диссоциацией при температурах дуги [8], а также повышением окислительного потенциала газа [9]. При высокой температуре он диссоциирует с увеличением объема, что в определенных условиях позволяет оттеснить воздух от зоны сварки и тем самым улучшить качество защиты. Однако, как показывают экспериментальные данные (рис. 8), содержание в тройной смеси свыше 35 % CO_2 уже не дает эффекта от диссоциации углекислого газа. Главную роль на стойкость швов против образования пор, при прочих равных условиях, оказывает конструкция сопла и значение сварочного тока.

При сварке на форсированных режимах в двух потоках газа с использованием горелки, построенной по профилю насадки N3 (рис. 2), а также горелки с двухконусным соплом (рис. 6), обеспечивается значительно меньшее содержание азота в швах (рис. 9) по сравнению с широко применяемым на производстве цилиндрическим соплом. Это позволяет выполнять многопроходную автоматическую сварку толстыми проволоками углеродистых и низколегированных сталей на токах до 900 А с высоким качеством сварных швов [10].

Выводы

1. Теневым и интерференционным методами исследования на плоских моделях сварочных горелок установлена физическая картина структуры газовой защиты двух сопутствующих потоков аргона и углекислого газа, натекающих на плоскую поверхность.

2. Полученные теневые и интерференционные картины двухслойной газовой защиты выявили оптимальные режимные характеристики по расходу двухкомпонентного потока для создания наиболее благоприятных условий формирования зоны защиты.

3. На основании анализа газодинамических процессов истечения двух газовых потоков установлен вариант конструкции горелки и экономич-

ный расход газов для сварки на токах до 900А с высоким качеством сварных швов.

1. Ардентов В. В., Федоренко Г. А. О струйной защите при газозлектрической сварке // Свароч. пр-во. — 1973. — № 1. — С. 3–5.
2. Безбах Д. К. Исследование газовых струй при сварке в защитных газах // Автомат. сварка. — 1969. — № 6. — С. 30–32.
3. Петров А. В., Штрикман М. М. Исследование параметров струи защитного газа при дуговой сварке // Свароч. пр-во. — 1961. — № 5. — С. 5–8.
4. Старченко Е. Г., Любавский К. В. Влияние конструкции сопла горелки на эффективность газовой защиты зоны сварки // Там же. — 1968. — № 11. — С. 13–16.
5. Исследование защитных газовых потоков в сварочных горелках с применением голографической интерферометрии / Б. С. Касаткин, Л. М. Лобанов, О. Н. Иванова и др. // Автомат. сварка. — 1980. — № 2. — С. 15–18.
6. MAGCI a novel shielded arc welding process // Metal Construction. — 1982. — № 10. — P. 550–553.
7. А. с. 518299 СССР, МКИ² В 23 К 9/16. Конусное сопло к горелке для сварки / С. Т. Римский, В. Г. Свещинский, В. И. Ульянов. — Заявл. 16.05.72; Оpubл. 25.06.76, Бюл. № 23.
8. Новожилов Н. М. Основы металлургии дуговой сварки в газах. — М.: Машиностроение, 1979. — 231 с.
9. Підгаєцький В. В. Пори, включення і тріщини в зварних швах. — К.: Техніка, 1970. — 236 с.
10. Свещинский В. Г., Римский С. Т. Сварка кольцевых швов многослойных труб в защитной газовой смеси Ar + O₂ + CO₂ // Многослойные сварные конструкции и трубы: Материалы I Всесоюз. конф. — Киев: Наук. думка, 1984. — С. 177–182.

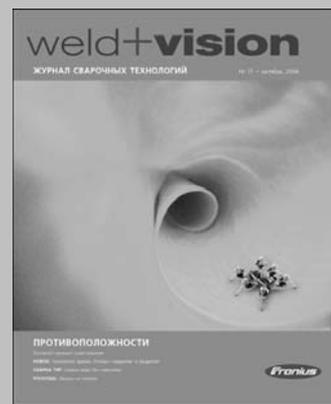
Laser-interferometry and shadow methods were used to study structure and character of the flows of argon and carbon dioxide that are simultaneously emitted onto a flat barrier from the internal and external nozzles of flat configuration with a different geometry of the channels. Optimal combinations of rates of the internal and external shielding gas flows and efficient designs of the torch nozzles were found. Suggested is a design of the torch for welding under forced conditions in a double flow of shielding gases, which provides an efficient shielding of the welding zone from air at currents of up to 900 A and low flow rates of argon and carbon dioxide.

Поступила в редакцию 20.06.2006

Вышел в свет очередной выпуск журнала фирмы «Fronius» Weld+Vision на русском языке

Содержание

От редактора	3-6
Единство противоположностей	
Научно-исследовательский и опытно-конструкторские работы	7-11
Контактная сварка и плазменная резка	
Vizor 1000 — защитная маска с полностью автоматизированными функциями	
Кратко и по существу	12-13
Новости от «Fronius»	
Практические примеры	14-19
Выигрыш во времени при строительстве резервуаров	
Сварка меди без подогрева	
30 метров совершенно свободных от брызг	
Компания	20-21
Добросовестность — основной принцип командной работы	
Информация для путешественников	22-23



По вопросам заказа просьба обращаться в редакцию журнала «Автоматическая сварка»
Тел./факс: (38044) 528-34-84, 529-26-23, 528-04-86; E-mail: journal@paton.kiev.ua