

## ВЛИЯНИЕ ТОЧНОСТИ СБОРКИ НА КАЧЕСТВО УГЛОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ СВАРКЕ КОРОТКОЙ ДУГОЙ

П. КА, ДЖ. МАРТИКАЙНИНЕН (Технолог. ун-т, г. Лапперанта, Финляндия),  
П. ДЖЕРСТРОМ, ДЖ. УУСИТАЛО (Компания «Кэмпи», г. Лаhti, Финляндия)

Описано влияние параметров процесса сварки модифицированной короткой дугой плавящегося электрода в сравнении с обычной сваркой МАГ при выполнении углового шва между двумя листами вертикально сверху вниз. Определено, что процесс сварки МАГ модифицированной короткой дугой характеризуется приблизительно на 25 % меньшим тепловложением, чем обычный процесс сварки МАГ. Отмечено также, что скорость сварки модифицированной короткой дугой на 10 % выше, чем при обычной сварке МАГ.

*Ключевые слова:* сварка МАГ, модифицированная дуга, обычная сварка МАГ, зазор в корне, листовые материалы, угол (наклона) горелки, вылет электрода, качество соединений

Сварка МАГ широко используется в промышленности благодаря таким преимуществам, как глубокое проплавление, гладкий валик, малое разбрызгивание и высокая скорость сварки, которые могут быть реализованы с помощью специального оборудования, обеспечивающего характеристики шва, соответствующие определенным требованиям [1, 2]. Тем не менее, дефекты в шве могут быть обнаружены в результате неправильного положения горелки, несоответствующего зазора в корне и установки листов [3].

Применяемые в настоящее время такие способы дуговой сварки, как металлическим покрытием электродом, ТИГ и обычной МАГ недостаточно эффективны при сварке листов [2]. В настоящей работе показаны потенциальные преимущества нового процесса сварки МАГ модифицированной короткой дугой по сравнению с обычной сваркой МАГ при сварке листов. Рассмотрен принцип процесса, а также результаты экспериментов, которые дают общее представление о разработке и реализации нового способа МАГ сварки модифицированной короткой дугой и обычной сварки этого типа для соединения листов в угловом соединении при различных зазорах, полученных при сборке.

Экспериментальные исследования включали сварку листов заготовок размером 300×50×1,5 мм в угловом соединении за один проход при различных схемах манипулирования с воздушным зазором при использовании нового способа МАГ сварки модифицированной короткой дугой и обычной МАГ сварки. Применен инверторный источник на токи до 500 А, устройство для подачи проволоки и устройство охлаждения. Процесс

сварки был автоматическим, но его также можно было использовать в сочетании с перемещениями.

В исследованиях использовали два основных материала — конструкционные и нержавеющие стали. Свариваемость для конструкционной стали оценивали по значению углеродного эквивалента ( $C_{\text{экв}}$ ) и критерия склонности к трещинообразованию (UCS) для холодных и горячих трещин. Установлено, что конструкционные стали (табл. 1) не содержат холодных ( $C_{\text{экв}} = 0,07$ ) и горячих трещин (UCS = 9,8). Для нержавеющей стали наиболее приемлемым способом определения влияния различных элементов на базовую структуру хромоникелевых нержавеющих сталей является использование диаграммы Шеффлера, показывающей ограничения по химическому составу для структур аустенита, феррита и мартенсита при комнатной температуре. При этом отмечено, что швы на нержавеющей стали не содержат горячих трещин. Кроме того, сварку выполняли при температуре окружающей среды и без подачи какого-либо дополнительного материала в разделку [4].

Качество шва определяли по внешнему виду валика при различных зазорах в корне шва. С целью обеспечения товарного внешнего вида шва параметры процесса изменяли много раз, выбирая самые оптимальные. Проводили визуальные наблюдения за ЗТВ для различных процессов, а также расчет тепловложения. С целью наблюдения за влиянием параметров процесса на профиль проплавления при различных зазорах, полученных при сборке, сварные образцы разрезали, шлифовали, полировали и протравливали.

Проведенные исследования основаны на переносе металла каплями с прерыванием дуги. Процесс сварки характеризуется периодом горения дуги, за ним следует период короткого замыкания, при котором происходит перенос металла. Эта фаза может быть точно отрегулирована в зависимости от качества и диаметра используемой про-



Таблица 1. Химический состав свариваемых сталей, мас. %, и показатели свариваемости

Сталь	C	Si	Mn	P	S	Al
Конструкционная	0,04	0,010	0,17	0,007	0,011	0,039
Нержавеющая	0,05	0,42	1,58	0,031	0,003	—

Окончание табл. 1

Сталь	Cr	Ni	N	$C_{\text{экв}}$	UCS	$Cr_{\text{экв}}/Ni_{\text{экв}}$
Конструкционная	—	—	—	0,07	9,8	—
Нержавеющая	18,2	8,1	0,059	—	—	20,4/9,63

волоки и защитного газа. Определенное сочетание параметров приводит к уменьшению разбрызгивания и более стабильной дуге даже при сварке нержавеющей сталей.

**Методика проведения экспериментов.** *Сварочное оборудование.* Применяли сварочное оборудование, обеспечивающее большое количество программ сварки, возможность использования различных присадочных проволок и комбинаций защитных газов. Оно включает источник постоянного тока, который может использоваться как для обычного процесса МАГ, так и для процесса сварки МАГ модифицированной короткой дугой. На рис. 1 [5] показаны типичные осциллограммы тока процесса сварки МАГ модифицированной короткой дугой и обычной сварки МАГ короткой дугой.

При обычных процессах сварки МАГ короткой дугой отделение капли происходит при большом значении тока, которое зависит от управления напряжением. После этого ток медленно снижается до окончания периода горения дуги и начинается следующий период короткого замыкания. В модифицированной короткой дуге перенос металла происходит при низком значении тока, что приводит к мягкому переходу к сварочной ванне. После перехода капли в сварочную ванну начинается второй этап повышения тока, который приводит к началу этапа горения дуги. После двух этапов нарастания тока модифицированной короткой дуги ток снижается до необходимого базового уровня. Использование установленного уровня базового тока обеспечивает то, что следующая капля присадочного металла передается во время сле-

дующего короткого замыкания. Точно управляемая дуга при процессе сварки МАГ модифицированной короткой дугой позволяет снизить разбрызгивание на этапе отделения капли и снижает тепловложение на этапе горения дуги настолько, что оно становится сравнимым с обычным процессом сварки короткой дугой.

При процессе МАГ сварки модифицированной короткой дугой ток и напряжение синхронизируются источником питания. Модифицированный процесс как процесс сварки МАГ попадает в категорию 131, 135, 136 или 137 по классификации стандарта EN ISO 4063. Весь цикл сварки длится приблизительно 5 мс, поэтому у источника питания недостаточно времени для рассеяния энергии, и, таким образом, используется достаточное количество энергии для расплавления металла и создания непрерывного шва. Поскольку эта энергия подводится так быстро для расплавления металла, то очевидно, что скорость сварки при сварке модифицированной короткой дугой может быть повышена.

Процесс МАГ модифицированной короткой дугой позволяет регулировать скорость подачи проволоки, уровень второго этапа нарастания тока (формирующий импульс (ФИ) и базовый ток). ФИ обеспечивает управление энергией, подаваемой в дугу, и в этой точке отделение капель не происходит, в то же время при обычном процессе импульсной сварки каждый импульс приводит к отделению капли. При ФИ сила дуги больше, чем при процессах с короткой дугой, поскольку она подталкивает капли к расплавленной ванне. После

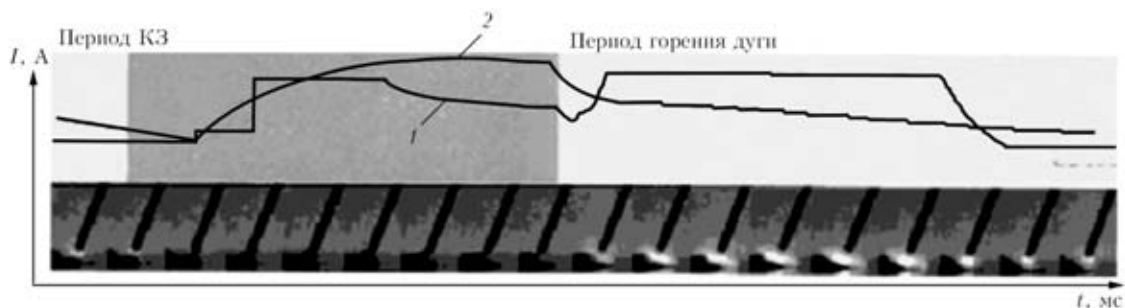


Рис. 1. Типичная осциллограмма тока процесса сварки МАГ модифицированной короткой дугой (1) и обычной сварки МАГ короткой дугой (2) при различных режимах горения дуги

ФИ энергия дуги значительно снижается по сравнению с уровнем для короткой дуги в этот момент, и это облегчает более быстрое протекание модифицированного процесса в течение следующего периода короткого замыкания. В целом ФИ необходим, поскольку отделение капли происходит при низких значениях тока.

**Основные и сварочные материалы.** В табл. 1, 2 приведен химический состав основного металла нержавеющей и конструкционной стали и их механические свойства, полученные при растяжении при комнатной температуре. В экспериментах использовали электроды EN 440: G 3 Si1 (OK Autrod 12.50) и EN 12072: G 19 12 3 L Si (OK Autrod 16.32) соответственно для конструкционных и нержавеющей сталей диаметром 1 мм, химический состав которых соответствовал химическому составу основного металла. Газ выбирали в зависимости от свариваемого металла. Защитные газы, использовавшиеся в ходе исследований, соответствовали требованиям стандарта EN 439 для сварки сталей. Защитный газ состава  $Ar + 8\% CO_2 + 0,03\% NO$  использовали для сварки конструкционного металла и  $Ar + 2\% CO_2 + 0,03\% NO$  — для сварки нержавеющей сталей. Расход защитного газа на всех этапах экспериментальных исследований составлял 15 л/ч.

**Параметры сварки.** В исследованиях рассматривали основные и вторичные регулируемые переменные. Основными регулируемыми переменными были скорость сварки, напряжение дуги, сварочный ток и ФИ. Вторичные регулируемые переменные сложнее точно измерить и контролировать. Они являются заданными величинами, обычно включаются в технологию сварки и определяют расстояние от торца до изделия (вылет), положение электрода и угол наклона электрода или мундштука.

Когда все переменные хорошо сбалансированы, сварщик может контролировать процесс переноса расплавленного металла и получать высококачественный металл шва.

#### Результаты экспериментов и их обсуждение.

Экспериментальные исследования проводили со стальными пластинами, которые обезжировали и зачищали щеткой из нержавеющей стали, что гарантирует минимальную и однородную толщину слоя оксида.

Для выполнения клеммного соединения в оснастке (рис. 2), включая задание параметров сварки, была необходима выработка методики. В начале один параметр изменяли, а другие сохраняли постоянными до тех пор, пока не было получено оптимальное влияние его в одной группе. Эту процедуру повторяли для различных параметров, пока не было получено высококачественное соединение. Качество соединения определяли путем ос-

Таблица 2. Механические свойства свариваемых сталей

Сталь	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	НВ	$\delta$ , %	$\psi$ , %
Конструкционная	177	305	—	80	41
Нержавеющая	304	341	НВ 30 — 173	67	61

мотра валика на наличие любых видимых дефектов, например, непровара. Зазор между плавящимся электродом и изделием поддерживали на уровне приблизительно 1 мм в течение всего эксперимента. Параметры шва определяли воздушным зазором и геометрией соединения.

**Случай 1. Нулевой зазор в корне.** При использовании обычного способа МАГ установлено, что вылет электрода (отрезок электрода, который выступает из горелки) равен 6...7 мм, горелка перпендикулярна изделию и направлена по линии соединения (рис. 3, а). Угол наклона горелки очень важен при сварке углового шва в угловых соединениях. При сварке углового шва сварочную горелку необходимо держать таким образом, чтобы она разрежала пополам угол между пластинами и была направлена перпендикулярно линии шва.

При изменении параметров стало очевидно, что с помощью процесса сварки МАГ при скорости сварки 16 мм/с, скорости подачи 3,2 м/мин, напряжении 15,7 В, вылете электрода 6 мм, индуктивности, равной нулю, и интенсивности сварочного тока 102 А можно получить шов очень хорошего качества (рис. 3, в). Когда параметры были неизменными, а положение электрода менялось так, чтобы он был направлен на край кромки одной из пластин (рис. 3, б), качество шва было хорошее. Кроме того, следует отметить, что параметры, использованные для нулевого зазора в корне, можно использовать и для воздушных зазоров от 0,1 до 0,3 мм, что также позволяет получать швы хорошего качества. Если эти параметры не выбираются определенным образом, в шве появляются несплошности, включая непол-



Рис. 2. Сборка металлических пластин перед процессом сварки: 1 — опора для листов; 2 — листы; 3 — угловое соединение; 4 — прижим

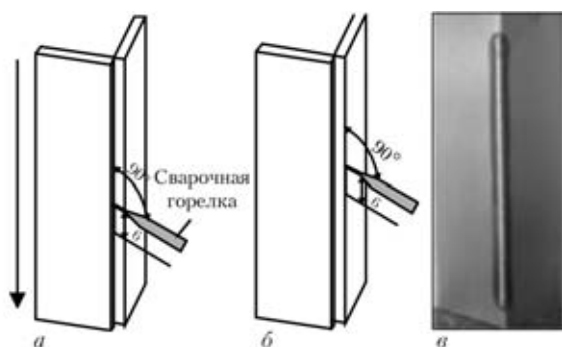


Рис. 3. Выполнение обычной МАГ сваркой углового соединения при нулевом корневом зазоре (а, б) и внешний вид соединения (в): а — горелка направлена по линии соединения; б — то же по кромке одной из пластин

ное проплавление, подрезы, прожоги и неправильную форму валика.

При увеличении скорости сварки необходимо также повышать скорость подачи проволоки так, чтобы в шве образовалась достаточно большая сварочная ванна. При задании низкого индуктивного сопротивления сварка была относительно холодной, что способствовало примерзанию электрода к сварочной ванне [4].

Новый способ сварки МАГ модифицированной короткой дугой при нулевом зазоре в корне показал, что вылет электрода должен быть 13 мм, угол горелки  $97^\circ$  при наклоне вперед и должен быть перпендикулярным оси шва (рис. 4, а).

При изменении параметров обнаружено, что шов хорошего качества можно получить на конструкционной стали (рис. 4, в) при скорости сварки 15 мм/с, скорости подачи проволоки 3,5 м/мин, напряжении 15 В, длине дуги 15 мм, токе сварки 95 А и ФИ, равном нулю. На нержавеющей стали хорошее качество соединения получено при скорости сварки 19 мм/с, скорости подачи 3,5 м/мин, напряжении 16 В, сварочном токе 101 А, длине дуги 20 мм, а ФИ можно поддерживать на уровне 0 или 20. Обычно при повышении тока напряжение дуги немного повышается.

В то же время сохранение значений переменных и изменение положения электрода (направление на кромку одной из пластин (рис. 4, б)) не повлияло на качество шва. Параметры, которые использованы для нулевых зазоров в корне, также пригодны для корневых зазоров, равных 0,1...0,3 мм.

Одним из важных параметров для получения стабильной дуги в новом модифицированном процессе сварки является вылет электрода. Установлено, что длина в пределах 12...14 мм на вылете электрода является оптимальной. Меньший вылет электрода приведет к горению дуги под изделием. В новом модифицированном процессе так же, как и при обычном процессе сварки МАГ, горелка подает сварочную проволоку для зажигания основной дуги на изделии. Для обеспечения ста-

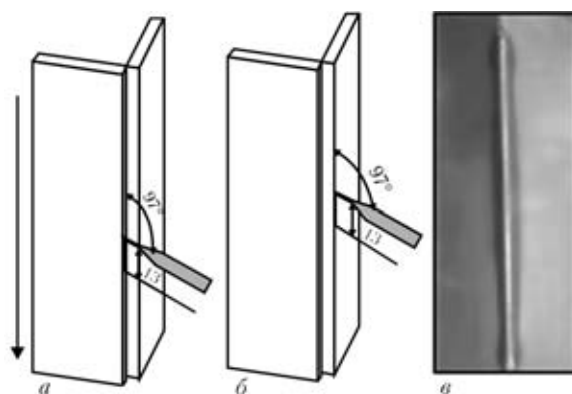


Рис. 4. Выполнение модифицированной МАГ сваркой углового соединения при нулевом зазоре в корне (а, б) и внешний вид соединения (в)

бильного зажигания дуги плавящийся электрод должен находиться достаточно близко от изделия — на расстоянии менее 1 мм. Важным параметром при сварке новым процессом МАГ с модифицированной короткой дугой, определяющим поведение и стабильность дуги, является также угол между горелкой и изделием. Установлено, что наиболее приемлемым является угол  $95 \dots 105^\circ$  в направлении вертикально вниз. Исследования, выполненные для определения влияния ФИ, показали, что при ФИ, равном нулю, шов выглядит намного лучше, чем при использовании отрицательного ФИ с нулевым зазором в корне. При отрицательной длине дуги и нулевом ФИ наблюдается незначительное влияние на качество шва. Когда длина дуги положительная, имеет место негативное изменение качества шва.

**Случай 2. Увеличение корневого зазора.** Исследования, проведенные с помощью обычной сварки МАГ, показывают, что вылет должен быть равен 6 мм, угол наклона горелки перпендикулярен основному металлу, и она должна быть направлена по линии соединения или кромке одной из пластин (рис. 5, а, б).

В этом случае можно получить шов хорошего качества с увеличивающимся зазором в корне обычной сваркой МАГ, как показано на рис. 5, в, при скорости подачи 3,2 м/мин, скорости сварки

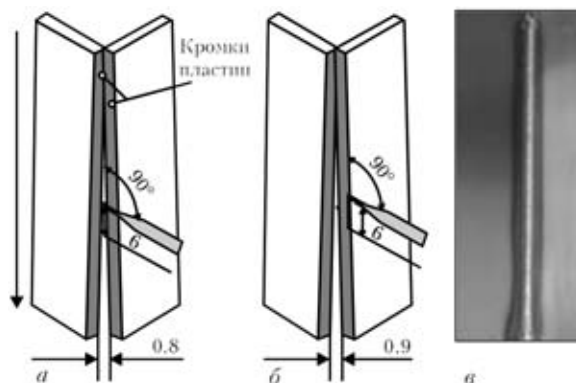


Рис. 5. Выполнение обычной МАГ сварки по увеличивающемуся зазору в корне (а, б) и внешний вид соединения (в)

13 мм/с, напряжении 15,7 В, нулевом индуктивном сопротивлении в цепи и силе тока 103 А. При изменении положения электрода так, чтобы он был направлен на кромку одной из пластин (рис. 5, б) хорошее качество швов обеспечивалось при корневом зазоре 0,8 мм, а также можно было заполнить зазоры в корне, равные 0,9 мм, но с отрицательным влиянием на качество шва.

Изменение направления шва на вертикальное, но снизу вверх при тех же параметрах вызывало отрицательное влияние на качество шва.

Индуктивность оказывала незначительное влияние или вообще не влияла на сварочную ванну при сварке тонких пластин с небольшим зазором в корне, а отрицательная индуктивность обеспечивала некоторое положительное влияние на качество формирования шва по сравнению с положительной индуктивностью при увеличении корневого зазора [1].

При применении нового способа сварки МАГ модифицированной короткой дугой вылет электрода и угол наклона горелки поддерживали равными соответственно 13 мм и 97°. Горелка была направлена либо по линии соединения, либо по кромке одной из пластин (рис. 6, а, б соответственно).

Когда плавящийся электрод направлен на линию соединения (рис. 6, а), то получали шов хорошего качества при корневом зазоре до 8 мм, но когда вылет электрода был направлен на кромку одного из листов (рис. 6, б), получение качественного шва, как на рис. 6, в с корневым зазором до 1,25 мм, было почти гарантировано при использовании следующих параметров: скорость сварки 13 мм/с, скорость подачи проволоки 3,7 м/мин, напряжение 16,5 В, длина дуги 15 мм, ток 104 А, и ФИ, равном 20. При ФИ, равном 20, дуга расходилась при горении, и это способствовало увеличению сварочной ванны, что позволило заполнить зазор в соединении.

Когда угол наклона горелки устанавливали в пределах 92...95° в направлении вертикально вниз от линии соединения изделия, а сварку проводили углом вперед или углом назад, то качество сварного соединения снижалось по сравнению с тем, когда угол наклона горелки увеличивался от 97 до 100°.

Хорошее качество шва достигалось при корневом зазоре от 0,7 до 0,8 мм при скорости сварки 13 мм/с и скорости подачи 3,5 мм/мин, когда электрод был направлен на линию сплавления основного металла соединения (рис. 6, а). При сохранении всех параметров неизменными и изменении положения электрода таким образом, чтобы он был направлен на

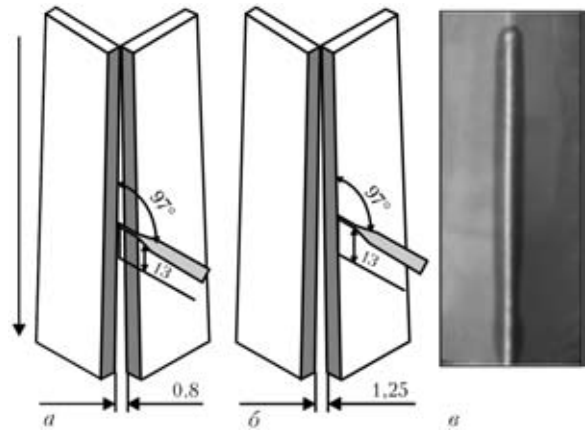


Рис. 6. Выполнение модифицированной МАГ сварки при увеличивающемся зазоре в корне (а, б) и внешний вид соединения (в)

кромку одной из металлических пластин, результаты в отношении качества шва были такими же, как и в том случае, когда электрод был направлен на линию соединения с корневым зазором от 0,7 до 0,8 мм.

**Случай 3. Корневой зазор в средней части.** При обычном способе сварки МАГ в этом случае вылет электрода также поддерживался равным 6 мм, горелка была перпендикулярна изделию и направлена либо на линию соединения, либо на кромку одного из изделий (рис. 7, а, в соответственно).

Когда расходимый электрод направлен на линию соединения, как показано на рис. 7, а, использовали следующие параметры: зазор в корне 0,8 мм, скорость сварки 13 мм/с, напряжение 15,7 В, ток 98 А и скорость подачи 3,3 м/мин, что при обычном процессе сварки МАГ привело к хорошему качеству шва (рис. 7, б). Когда расходимый электрод направлен на кромку одного из изделий (рис. 7, в), хорошее качество шва можно обеспечить (рис. 7, г) при корневом зазоре 1 мм, скорости сварки 13 мм/с, напряжении 15 В, токе 92 А и скорости подачи 3,0 м/мин.

При увеличении скорости сварки до 18 или 20 мм/с хорошее качество шва можно получить при напряжении 19,7 или 20 В при корневом за-

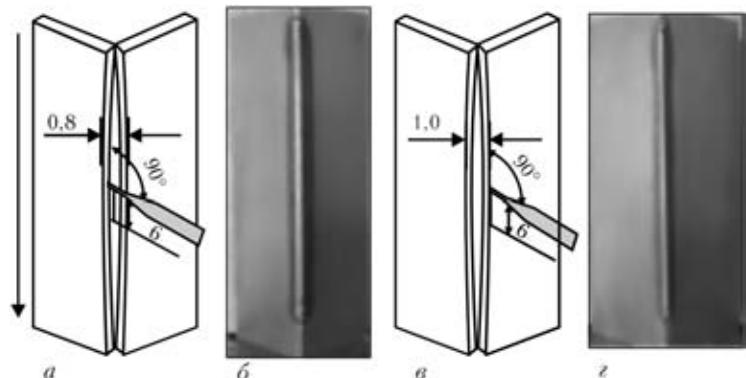


Рис. 7. Выполнение обычной МАГ сварки при корневом зазоре в середине пластин (а, в) и внешний вид соединений (б, г)

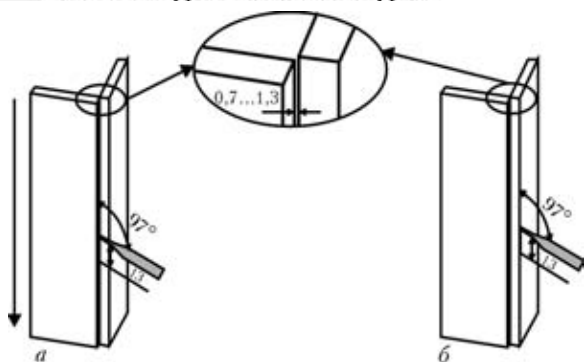


Рис. 8. Выполнение модифицированной МАГ сварки при корневом зазоре в середине пластин (а, б)

зоре соответственно 0,6 и 0,5 мм. Для получения хорошего внешнего вида шва индуктивность необходимо установить на нуль после повышения скорости сварки.

Проведен также эксперимент с новым процессом сварки МАГ модифицированной короткой дугой при перпендикулярном размещении листов (рис. 8). Угол наклона горелки поддерживали равным  $97^\circ$  в направлении вертикально вниз, вылет электрода — 13 мм, электрод направлен точно на линию соединения или кромку одной из пластин, как на рис. 8, а, б.

Когда расходуемый электрод направлен точно на кромку верхней пластины, а пластины находятся приблизительно на расстоянии 0,7...1,1 мм друг от друга (рис. 8, б), качество соединения является хорошим по сравнению с тем, когда расходуемый электрод направлен точно на линию соединения (рис. 8, а) с теми же параметрами: скорость сварки 15 мм/с, скорость подачи 3,7 м/мин, напряжение 15,6 В, длина дуги 15 мм, ток 101 А, а ФИ 20 при зазоре в корне 0,8 мм для конструкционной стали. При использовании того же оборудования для соединения нержавеющей стали установлено, что корневой зазор, равный 1,35 мм, можно сварить, как показано на схеме на рис. 8, а при скорости сварки 17 мм/с, скорости подачи 3,8 м/мин и напряжении 15,7 В. Длина дуги и ФИ поддерживались равными 20, а ток 104 А. Это обусловлено способностью сварочной машины непрерывно анализировать изменения в дуге и сравнивать их с предварительно заданным значением.

Когда параметры процесса сохранялись постоянными, а расходуемый электрод направлен на линию соединения, как показано на рис. 8, а, можно сварить только корневой зазор, равный 1,0 мм на нержавеющей стали. Корневой зазор, равный 1,25 мм, можно было сварить по схеме, показанной на рис. 8 при сварке конструкционной стали, когда угол наклона горелки увеличивается приблизительно до  $100^\circ$ , а электрод направлен на кромку верхней пластины.

При использовании нового процесса МАГ сварки модифицированной короткой дугой можно достичь очень высокой скорости сварки по сравнению с обычной сваркой МАГ благодаря тому, что этот процесс позволяет контролировать и корректировать время отделения капель металла валика шва от проволоки в сварочной ванне [5].

Схема манипулирования корневым зазором играет важную роль при заварке большого корневого прохода в угловом соединении, поскольку положение электрода относительно детали и пластин, установленных, как показано на рис. 8, позволяет заваривать большие зазоры в корне.

**Оценка рабочих характеристик сварного соединения.** Проведен визуальный осмотр и оценка внешнего вида сварного соединения для выявления таких дефектов сварки, как несплавление, свищи и непровары. Образцы для оптической металлографии были вырезаны поперек направления шва с последующей механической полировкой стандартными методами и травлением в 4 % нитале [6].

Макрошлифы, представленные в табл. 3, демонстрируют изменения в сечении шва при различных вариантах воздушных зазоров и для различных типов стали толщиной 1,5 мм. Форма макрошлифов показала, что параметры процесса для обеспечения хорошего качества соединений выбраны правильные. Форма валика также зависит от размещения изделий и положения горелки. Глубина и ширина расплавленной ванны очень важны для получения шва высокого качества.

**Оценка погонной энергии и тепловложения при сварке листового металла.** При сварке МАГ на электрод подается достаточное количество мощности (энергии, передаваемой в единицу времени). Тепловложение является важной характеристикой, поскольку влияет на скорость охлаждения сварочного соединения и соответственно на механические свойства и структуру шва и металла ЗТВ. Другой фактор связан с легированием сварочной ванны, особенно, если химический состав сварочной проволоки отличается от состава основного металла [5].

В ходе исследований скорость подачи проволоки и скорость сварки поддерживали постоянными на заданном отрезке изделия. Тепловложение  $Q$  определяли по формуле [4]

$$Q = \frac{60EI}{1000v},$$

где  $E$  — напряжение;  $I$  — сварочный ток;  $v$  — скорость сварки.

При обычном процессе МАГ использовали следующие параметры:  $v = 13 \text{ мм/с} = 780 \text{ мм/мин}$ ;  $E = 15,6 \text{ В}$ ;  $I = 113,5 \text{ А}$ . Подставляя значения в формулу тепловложения, получаем  $Q = 0,109 \text{ кДж/мм}$ .

Т а б л и ц а 3. Макрошлифы поперечного сечения шва при различных процессах сварки МАГ пластин толщиной 1,5 мм

	Изменение зазора	Нулевой зазор (сварка по линии соединения пластин)	Нулевой зазор (сварка по кромке листа)	Корневой зазор 0,8 мм в середине листа	Корневой зазор 1 мм в середине листа
МАГ сварка	Макрошлиф				
	Изменение зазора	Нулевой зазор (сварка по линии соединения)	Нулевой зазор (сварка по линии соединения нержавеющей стали)	Увеличивающийся зазор до 1,25 мм на конструкционной стали	Увеличивающийся зазор до 1,35 мм на нержавеющей стали
Модифицированная МАГ сварка	Макрошлиф				

При использовании нового способа сварки МАГ модифицированной короткой дугой результат был следующим: при  $v = 13 \text{ мм/с} = 780 \text{ мм/мин}$ ;  $E = 14,9 \text{ В}$ ;  $I = 90 \text{ А}$ , получаем  $Q = 0,082 \text{ кДж/мм}$ .

Не все тепло, выделенное в дуге, попадает в основной металл. Часть энергии теряется на излучение, а часть используется для плавления электрода. Потери составляют от 20 до 75 % [4].

Таким образом, новый процесс МАГ сварки модифицированной короткой дугой позволяет сваривать конструкционные и нержавеющие стали в угловом соединении в положении вертикально вниз;

схема изменения корневого зазора и положение вылета электрода существенно влияют на качество соединения при корневых зазорах больше 0,5 мм;

новый способ характеризуется умеренным тепловложением (0,082 кДж/мм), которое приблизительно на 25 % ниже, чем при обычной сварке МАГ;

при модифицированном способе МАГ можно выполнять сварку по большим корневым зазорам и при более высокой скорости сварки, причем вылет электрода составляет от 12 до 14 мм, угол наклона горелки — в пределах 95...105° по вертикали при сварке углом вперед;

при направлении электрода на кромку одной из металлических пластин можно заваривать

большие корневые зазоры с хорошим качеством по сравнению с тем, когда электрод устанавливается по линии соединения основного металла;

низкая скорость подачи проволоки при новом способе приводит к ее обратному оплавлению, а высокая — к угасанию дуги при коротком замыкании;

экспериментально установлена возможность выбора параметров процесса, обеспечивающего высокое качество металла швов;

новая модифицированная технология сварки короткой дугой является альтернативой для всех автоматизированных или роботизированных процессов сварки МАГ при соединении тонких листов.

1. Kah P. C., Martikainen J. Welding of sheet metal using modified short arc MIG/MAG welding process (FastROOT) // Proc. of 3rd Intern. conf. on total welding management in industrial application, Lappeenranta, Finland, 2007.
2. Uusitalo J. Modified short arc process — A new way of welding root passes // Ibid.
3. Murugan Vel V., Gunaraj V. Effect of process parameters on angular distortion of gas metal arc welded structural steel plates // Welding J. — 2005. — № 11. — P. 165–171.
4. Howard B. C. Modern welding technology // American Welding Society. — 2002. — P. 123, 134, 135, 142, 151, 193.
5. Uusitalo J. The WiseRoot welding process for root passes welding // Symp. on Joining of Materials, SOJOM 2008. — P. 109–117.
6. EN 10112-1. Welding recommendation for welding of metallic materials. — 2001.

The influence of parameters of vertical downward consumable electrode welding by a modified short arc compared to regular MAG welding when joining two sheets by a fillet weld, is described. It is established that the process of MAG welding by a modified short arc is characterized by an approximately 25 % lower heat input than the regular MAG welding. It was also noted that the speed of welding by a modified short arc is 10 % higher than that at regular MAG welding.

Поступила в редакцию 10.02.2009