



РАЗРАБОТКА ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ ДУГОВОЙ СВАРКИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Н. КИДЗИ, К. КОБАЯСИ, Д. ИСИИ, Х. ЯМАОКА («Исикавадзима-Харима Хэви Индастриз», Япония)

Описаны разработанные и нашедшие применение при создании различных конструкций высокоэффективные способы двухдуговой сварки ТИГ и сварки МАГ на высоком переменном токе. Эти способы позволяют выполнять сварку с использованием больших токов и достигать значительной скорости наплавки по сравнению с обычными способами. Для способа А-ТИГ разработана эффективная технология сварки толстолистового металла.

Ключевые слова: способы дуговой сварки, ТИГ, двухдуговая сварка, А-ТИГ, производительность плавления, эффективность, проплавление, области применения

В промышленности широко применяются различные способы дуговой сварки, которые обеспечивают высокое качество сварных соединений. При этом важно правильно использовать те или иные способы сварки. Например, способ сварки ТИГ эффективен при использовании в различных пространственных положениях и обеспечивает необходимое проплавление соединяемых кромок. По этой причине этот способ широко применяется для сварки тонких и толстых листов и труб из различных материалов. Сварка МАГ, для которой в качестве защитного газа используют углекислый газ или смесь углекислого газа с аргоном, достаточно экономична и высокоэффективна и широко применяется в судо- и мостостроении.

По сравнению с другими способами сварки скорость расплавления металла при сварке ТИГ низкая, а глубина проплавления небольшая. При использовании сварки в конструкциях из толстолистового металла возникает необходимость увеличения скорости расплавления. С этой целью разработан высокоэффективный способ двухдуговой сварки ТИГ, который предполагает использование двух электродов в одной горелке. Благодаря двухдуговой сварке получают качественные сварные соединения при условии применения высокого сварочного тока.

Сварка МАГ является более эффективным по производительности способом по сравнению со сваркой ТИГ. Однако для сварки толстых плит, толщина которых превышает 50 мм, обычно применяют дуговую сварку под флюсом. Необходимость подачи флюса и удаления шлака препятствует повышению производительности. Сварка МАГ в узкий зазор имеет ограниченную область применения, поскольку требует специального сварочного оборудования и высокой квалификации сварщика. Кроме того, сварка МАГ выполняется на постоянном токе. При этом возникает магнитное дутье в условиях применения высокого тока. Пос-

леднее приводит к несплавлению из-за пальцеобразного профиля проплавления.

Авторами разработан высокоэффективный и простой в использовании способ сварки МАГ на высоком переменном токе. По сравнению с дуговой сваркой под флюсом данный способ обеспечивает стабильное горение дуги переменного тока, возможность выполнения сварки на переменном токе характеризуется образованием шлака в очень небольшом количестве, благодаря использованию металлической присадочной проволоки с небольшим содержанием флюса.

Способ сварки А-ТИГ с использованием активирующего флюса разработан Институтом электросварки им. Е. О. Патона в начале 1960-х годов. Он предполагает нанесение активирующего флюса на поверхность материала, благодаря чему увеличивается глубина проплавления. Сварка А-ТИГ позволяет сваривать металл толщиной до 12 мм за один проход без присадочного материала. Для соединения более толстых пластин необходимо применение многопроходной сварки. Для толстолис-

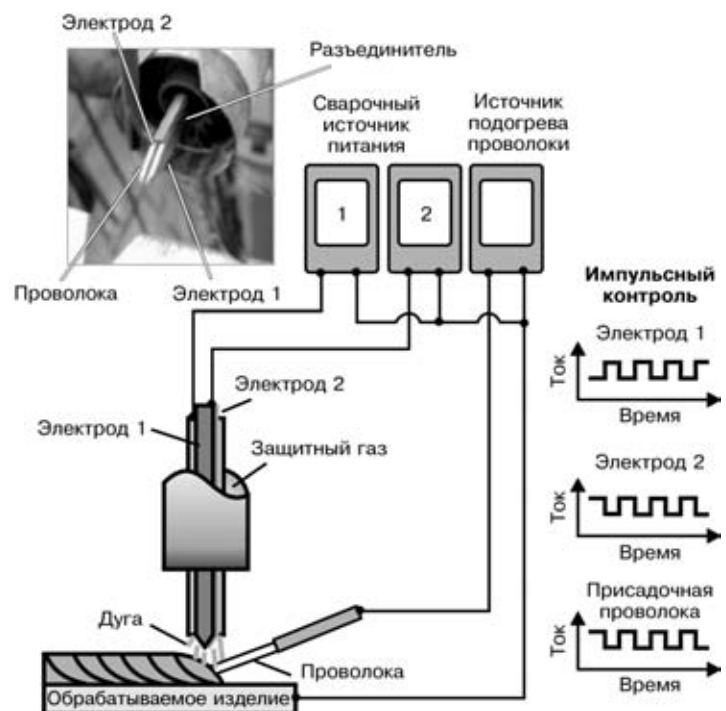


Рис. 1. Схема процесса двухдуговой сварки ТИГ

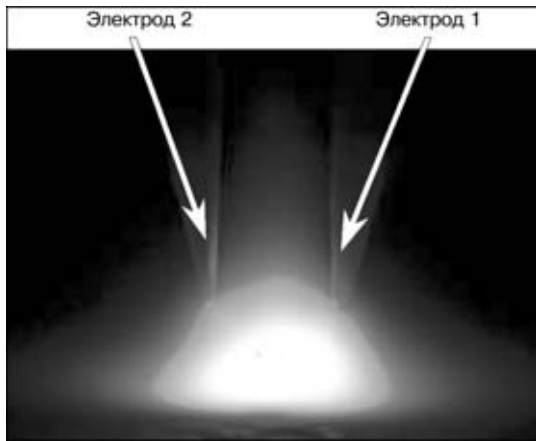


Рис. 2. Внешний вид двух дуг

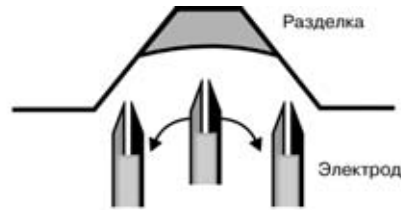
тового металла разработана технология, комбинирующая процесс А-ТИГ и обычную сварку МАГ.

Сварка по способу ТИГ. Обычно при сварке этим способом в диапазоне высоких токов мощность дуги становится избыточной. В сварочной ванне образуется большая выемка, которая препятствует формированию качественного сварного соединения, поэтому для повышения производительности процесса сварки путем использования высокого тока существовало ограничение. Разработанный способ сварки предполагает использование двух электродов в одной горелке. При этом импульсный ток подается независимо к каждому электроду от двух источников питания (рис. 1). Два электрода попеременно создают две пульсирующие дуги. Контроль мощности обеих дуг позволяет выполнять сварку на высоком токе без образования глубокой выемки в сварочной ванне. Металл электродной проволоки подается в жидкую ванну с торцевой стороны горелки. В результате нагрева при прохождении постоянного тока обеспечивается высокая скорость наплавки. Две дуги (рис. 2), созданные двумя отдельными электродами и соединенные вместе, образуют одну большую дугу.

Разработанный способ предполагает подачу импульсного тока к двум электродам от двух сварочных источников питания. При этом каждый из импульсных токов может регулироваться отдельно. Более того, путем синхронизации контроля импульсов обоих электродов и синхронизации способа управления током и поперечными перемещениями электродов этот способ в зависимости от положения сварки отличается рядом особенностей.



Рис. 3. Контроль импульсного тока для сварки в горизонтальном положении



Положение горелки	Левая стенка разделки	Поперечные перемещения	Правая стенка разделки
Левый ток / правый ток	I_p / I_b	I_m / I_m	I_b / I_p

Рис. 4. Контроль импульсного тока для сварки в вертикальном положении (I_p — пиковый; I_b — базовый ток; I_m — ток для перемещения электродов)

Сварочный ток	300...600 А	Образец SQV-2A
Напряжение на дуге	9...12 В	
Скорость перемещения электродов	10...16 см/мин	
Скорость наплавки	17...23 г/мин	
		Образец SM490
Сварочный ток	300...600 А	
Напряжение на дуге	10...11 В	
Скорость перемещения электродов	6 см/мин	
Скорость наплавки	18...27 г/мин	Образец SM490

Рис. 5. Макрошлиф и режим сварки для соединения, выполненного в узкий зазор: а — горизонтальное положение на пластине из низколегированной стали; б — вертикальное положение на пластине из углеродистой стали

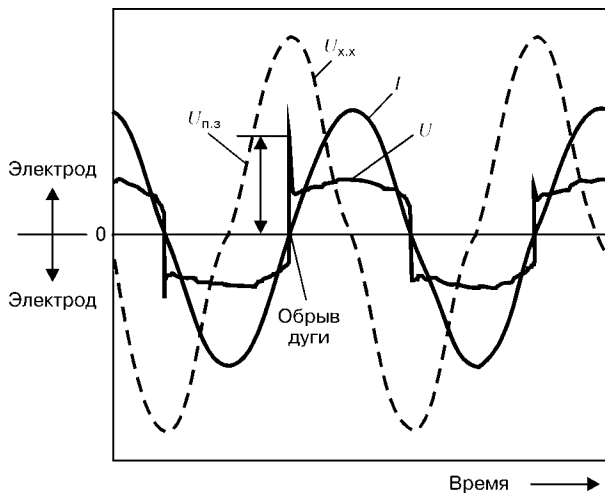


Рис. 6. Характеристика дуги переменного тока ($U_{п.з}$ — напряжение повторного зажигания)

При сварке в горизонтальном положении два электрода располагают перпендикулярно направлению сварки. При этом значения тока верхнего и нижнего электродов устанавливают отдельно. Попеременная подача соответствующего импульсного тока к каждому электроду обеспечивает получение хорошей формы валика с меньшим количеством подрезов и наплывов даже при высокой скорости наплавки (рис. 3).

При сварке в вертикальном положении два электрода также располагают перпендикулярно направлению сварки. При этом импульсный ток подают к обоим электродам попеременно. Стабильное проплавление можно достичь при поперечных колебаниях электродов в разделке и подведении пикового тока к стенке разделки во время остановок. Контроль погонной энергии можно осуществлять путем применения более низкого импульсного тока во время поперечных колебаний (рис. 4).

Примеры применения сварки в узкий зазор (разделку) в горизонтальном и вертикальном положениях приведены на рис. 5. Для испытаний использована листовая низколегированная и углеродистая стали и длинные электроды прямоугольного сечения.

Сварку выполняли без поперечных колебаний электродов (угол скоса кромки 2° , радиус при вершине разделки 6 мм, глубина разделки 150 мм). Длинные вольфрамовые электроды прямоугольного сечения вводили в разделку, а на наконечник сопла горелки надевали защитный сапожок для того, чтобы закрыть поверхность разделки и соответствующим образом удерживать защитный газ. В процессе сварки в горизонтальном положении необходимо избегать провисания сварочной ванны под действием силы дуги и образования подреза в верхней части разделки при поддержании постоянного уровня проплавления в верхней и нижней стенках разделки.

С этой целью сварку выполняли с подведением различных сварочных токов к верхнему и нижнему электродам. Сварочный ток на верхнем электроде составлял 250, на нижнем — 350 А (всего 600 А) при скорости сварки 10 см/мин. Сварку выполняли в следующем режиме: один слой за один

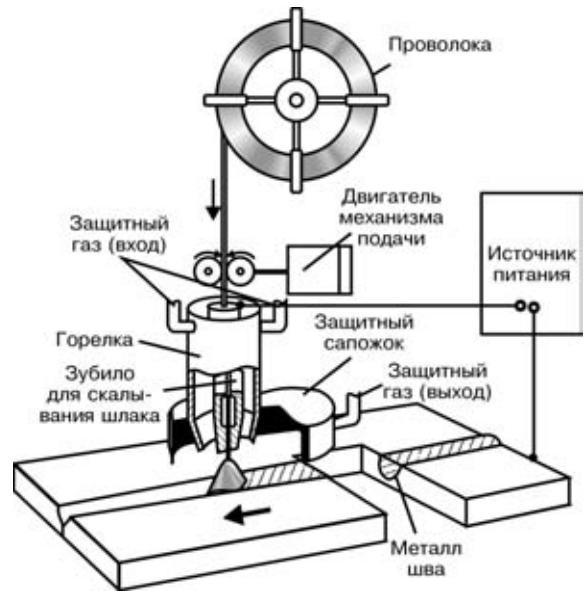


Рис. 7. Схема устройства для сварки МАГ на высоком переменном токе

проход, а последующие слои — за 69 проходов. После каждого прохода получали валик хорошей формы без провисания сварочной ванны. Кроме того, судя по макрошлифу (рис. 5, а), удалось достичь стабильного проплавления.

Сварку в вертикальном положении выполняли с использованием той же V-образной разделки с криволинейным скосом двух кромок за 36 проходов при сварочном токе 300 А на каждом электроде (всего 600 А) при скорости сварки 6 см/мин и скорости наплавки 27 г/мин. Сварку выполняли в следующем режиме — один слой за один проход без поперечных колебаний электродов. При сварке в узкую разделку также подтвердилось, что с каждым проходом можно достичь стабильного проплавления стенки разделки, как видно на макрошлифе, приведенном на рис. 5, б.

Сварка МАГ на высоком переменном токе. Изменения сварочного тока, напряжения на дуге и напряжения холостого хода сварочного источника питания приведены на рис. 6. При дуговой сварке на переменном токе, когда полярность тока изменяется, происходит обрыв дуги. Для поддержания стабильности дуги переменного тока необходимо обеспечить повторное зажигание дуги во время изменения полярности тока. Для этого используют сварочный источник питания с напряжением холостого хода более высоким, чем напряжение повторного зажигания. Сварочный источник питания с высоким напряжением холостого хода обеспечивает получение легкого возбуждения дуги. Для использования обычного источника питания на переменном токе разработана проволока с металлическим сердечником, которая содержит некоторое количество флюса и снижает напряжение повторного зажигания. Эта проволока имеет большой диаметр, как и проволока, используемая для дуговой сварки под флюсом. Устройство для сварки МАГ на переменном токе приведено на рис. 7. Для случая, когда в качестве защитного газа используется смесь $Ag + 10\% CO_2$, а дей-

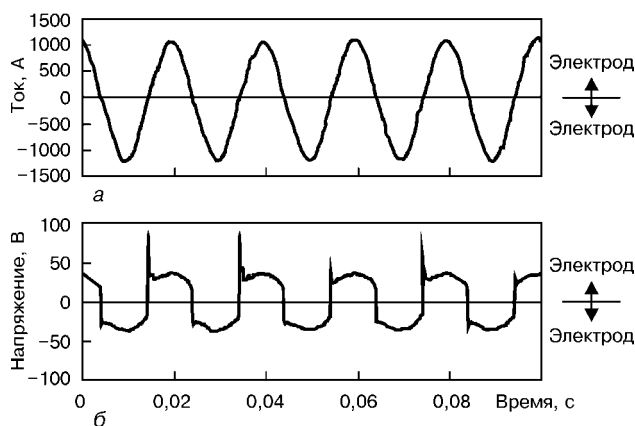


Рис. 8. Изменение тока (а) и напряжения (б) в процессе сварки МАГ на переменном токе с использованием проволоки с металлическим сердечником (защитный газ $Ar + 10\% CO_2$, сварочный ток 800 А)

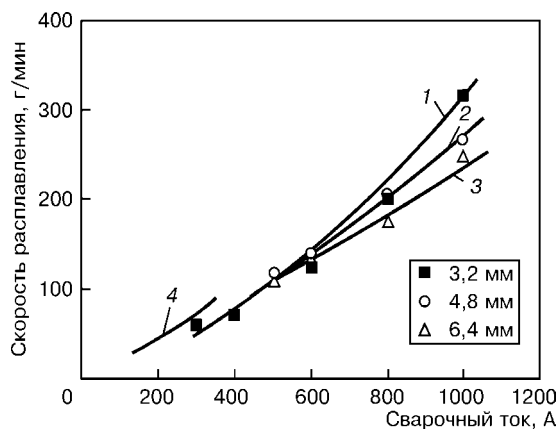


Рис. 9. Зависимость скорости расплавления от сварочного тока при сварке МАГ на переменном токе (1–3) и обычной сварки МАГ (4) с диаметром проволоки 1,2 мм (защитный газ $Ar + 10\% CO_2$, напряжение 30 В, длина вылета электрода 80 мм)

твительное значение сварочного тока составляет 800 А, результаты измерения тока и напряжения в процессе сварки показаны на рис. 8. Среднее напряжение зажигания составляет 65 В, при этом оно ниже, чем напряжение холостого хода сварочного источника питания. В этих условиях происходит повторное зажигание дуги, а дуга переменного тока горит стабильно. Отношение между сварочным током и скоростью наплавки при сварке

МАГ на переменном токе показано на рис. 9. Поскольку используется проволока диаметром более 3,2 мм, сварку МАГ на переменном токе можно выполнять на высоком токе в диапазоне 400... 1000 А с получением скорости наплавки почти в 3 раза выше (200... 300 г/мин) по сравнению с обычной сваркой МАГ.

Для испытаний сварки стыковых и угловых соединений (рис. 10) использовали листовую низколегированную сталь, проволоку диаметром 4,8 мм, смесь $Ar + 10\% CO_2$ и горелку с плоским наконечником.

Одностороннюю сварку толстых плит выполняли в V-образную разделку (угол скоса 20° , зазор между свариваемыми кромками 8 мм, глубина разделки 65 мм). Сварку с проплавлением выполняли с использованием плоской горелки, которую вводили в разделку. Сварку плиты толщиной 65 мм выполняли за 10 проходов. При этом один слой выполнялся за один проход, кроме последнего слоя.

Выполнена также сварка углового соединения со скосом одной кромки (угол скоса 15° , зазор между свариваемыми кромками 10 мм, глубина разделки 70 мм). При выполнении прохода при заварке корня шва получено достаточное проплавление до металла подкладки. Сварку плиты толщиной 70 мм выполняли за 11 проходов. Угловое соединение можно также выполнять каждого слоя за один проход, кроме последнего.

Сварка по способу А-ТИГ (применение). Для сварки А-ТИГ можно использовать разделку с большой поверхностью притупления кромки, поскольку удается достичь глубокого проплавления. Изучены пределы отсутствия соосности и ширины зазора между свариваемыми кромками для большой поверхности притупления кромки. Для испытаний использованы активирующий флюс FASTIG™ SS-7 и нержавеющая листовая сталь толщиной 6 мм. Результаты испытаний приведены в таблице. Для стыковой сварки нержавеющей листовой стали толщиной 6 мм без проплавления насквозь допускаются отсутствие соосности до 2,5 мм и ширина зазора между свариваемыми кромками до 2,0 мм. По сравнению с обычной сваркой ТИГ с V-образной разделкой и тонкой поверхностью притупления кромки при сварке А-ТИГ легко соблюсти необходимый допуск на совмещение кромок.

Для стыковой сварки толстолистовой нержавеющей стали толщиной 28 мм использовали способы А-ТИГ и МАГ. Форма разделки кромок и поперечные сечения наплавленных валиков показаны на рис. 11. Толщина поверхности притупления кромки составляла 5 мм, угол скоса 20° , глубина разделки 19 мм, радиус при вершине разделки 4 мм. Вначале выполняли сварку А-ТИГ с проплавлением, затем обычную сварку МАГ. По сравнению с традиционной технологией (сварка ТИГ + дуговая сварка под флюсом) экономия затрат, связанных со сваркой по первому варианту, составила 25 %.

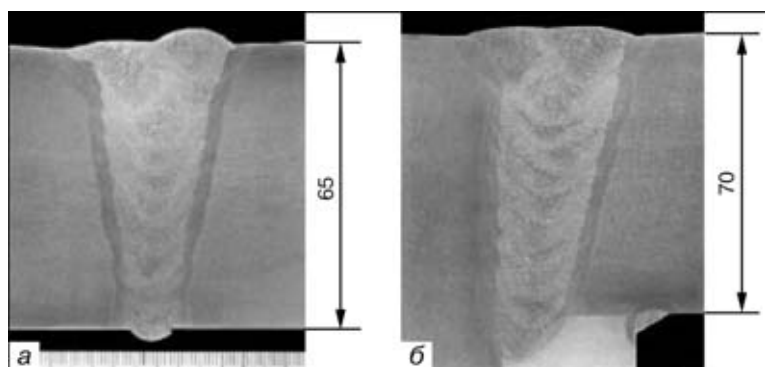


Рис. 10. Макрошлифы стыкового (а) и углового (б) сварочного соединения из низколегированной стали: а – $I_{св} = 700... 900$ А; $U_d = 23... 29$ В; $v_{св} = 25... 35$ см/мин; $q = 23... 63$ кДж/см; количество проходов – 10; б – $I_{св} = 900... 1050$; $U_d = 25... 31$ В; $v_{св} = 22... 35$ см/мм; $q = 34... 89$ кДж/см; количество проходов – 11



Характерные профили сварных соединений на пластине из нержавеющей стали толщиной 6 мм, выполненных сваркой А-ТИГ

Параметры соединений	0,5 мм	1,0 мм	1,5 мм	2,0 мм	2,5 мм
Отклонение от равно-толщинности					
Зазор в корне шва					Проплавление насквозь

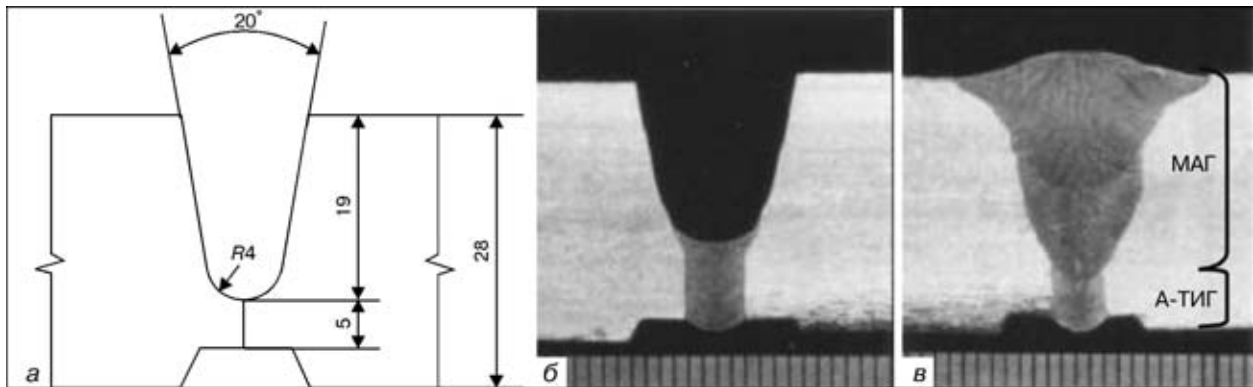


Рис. 11. Поперечные сечения (а) толстолистовой нержавеющей стали толщиной 28 мм с притуплением кромки (5 мм), выполненным сваркой А-ТИГ с заваркой корня (б) и обычной сваркой МАГ (два прохода) (в)

Таким образом, разработаны высокоэффективные способы двухдуговой сварки ТИГ и сварки МАГ на высоком переменном токе. Проведены основные исследования качества сварных швов. Благодаря использованию этих способов сварки достигнута высокая производительность в различных областях промышленности. Высокоэффективный способ двухдуговой сварки ТИГ реализован при

строительстве резервуара для хранения сжиженного природного газа, а способ сварки МАГ на высоком переменном токе — при строительстве мостов и судов. Процесс А-ТИГ испытан при сварке нержавеющей сталей. Он в комбинации с другими способами сварки, в частности со сваркой МАГ, позволяет выполнять сварку толстых плит с высокой производительностью.

Highly-efficient methods of twin-arc TIG and MIG welding at high-ampere alternating current, developed and found application in the manufacture of different structures, are described. These methods can perform welding using high currents and reach high rates of deposition as compared with conventional methods of welding. Effective technology of welding thick-sheet metal has been developed for A-TIG method.

Поступила в редакцию 19.05.2003