



ТЕХНИКА И РЕЖИМЫ АРГОНО-ДУГОВОЙ СВАРКИ СТАЛЕЙ С АКТИВИРУЮЩИМИ ФЛЮСАМИ

Д. БАЙИЧ, инж. (Ун-т, г. Побгорица, Черногория),

Г. М. МЕЛЬНИЧУК, А. Ф. ЛУПАН, инженеры,

М. М. САВИЦКИЙ, д-р техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрена взаимосвязь режимов АТIG сварки с параметрами шва, стойкостью электрода и стабильностью процесса формирования сварного соединения при сварке конструкционных сталей.

Ключевые слова: аргоно-дуговая сварка, активирующий флюс, инертные газы, режимы сварки, стойкость вольфрамового электрода, формирование шва, сварные соединения

В настоящее время опубликовано много работ, в которых описывается явление увеличения проплавляющей способности дуги при сварке вольфрамовым электродом с помощью активаторов и предлагается несколько гипотез для его объяснения [1]. Как следует из этой работы, единого мнения по этому вопросу не существует и, вероятно, в ближайшем будущем существовать не будет. В то же время производителям, заинтересованным в использовании перспективного способа сварки, необходимы сведения о его технических характеристиках.

В настоящей работе изложены экспериментальные данные о способе сварки с активирующими флюсами и взаимной зависимости между режимами сварки и параметрами шва.

Введение в дугу электроотрицательных и поверхностно-активных элементов приводит к тому, что она сжимается. При этом плотность тока в анодном пятне и давление дуги на металл увеличиваются более чем в 2 раза [2]. В результате примерно в 2 раза уменьшается диаметр пятна нагрева и снижается поверхностное натяжение жидкого металла в сварочной ванне [2, 3]. Это значительно улучшает проникающую способность дуги, теплопередачу твердому металлу, а следовательно, увеличивает его проплавление в 2...3 раза.

Эффект увеличения проплавляющей способности дуги с помощью активирующих флюсов был использован для разработки технологий сварки изделий из конструкционных сталей различных структурных классов: мартенситных, мартенситно-старееющих, бейнитных, перлитных, ферритных и аустенитных. Разработанные в ИЭС им. Е. О. Патона активирующие флюсы и использующие их технологии сварки успешно применяются при изготовлении баллонов высокого давления, элементов шасси в авиации, сварке корпусов двигателей аэрокосмической техники, кольцевых неповоротных и поворотных стыков трубопроводов в тепловой и атомной энергетике и т. д.

Сварка с активирующим флюсом (АТIG) может осуществляться вольфрамовым электродом в аргоне, гелие и других инертных газах или их смесях.

Так, например, гелий, который имеет более высокий (24,5 эВ) потенциал ионизации при одинаковых сварочных токах, позволяет увеличить проплавляющую способность дуги примерно на 20...25 % (рис. 1). При этом за один проход можно проплавить без разделки кромок сталь толщиной до 12 мм. Проплавление стали толщиной до 20 мм осуществляется с двух сторон или с разделкой кромок. Во всех случаях флюс наносит одним из способов, описанных в работе [4], тонким (0,1 мм) равномерным слоем на поверхность детали у свариваемых кромок — около 1...2 г на погонную длину стыка 1 м. Однако в указанном количестве он не выполняет защитную функцию. Защита сварочной ванны обеспечивается с помощью инертных газов, а флюс лишь интенсифицирует окислительно-восстановительные процессы, происходящие на поверхности сварочной ванны и периферии столба дуги, которые в атмосфере инертных газов протекают весьма вяло. При этом, вероятно, снижается поверхностное натяжение жидкого металла и повышается плотность энергии дуги без увеличения ее мощности. В совокупности это способствует увеличению погружения дуги в металл и образованию узких швов с глубоким проплавлением. Поскольку значения электрических параметров дуги между вольфрамовым катодом и стальным анодом не выходят за пределы, установленные для сварки неплавящимся электродом в инертных газах —

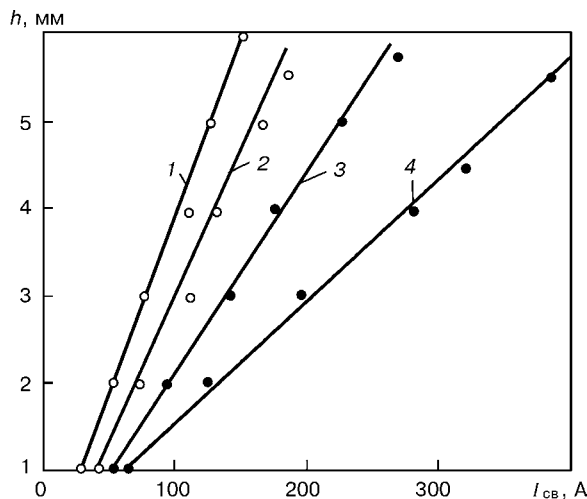


Рис. 1. Глубина проплавления h стали в гелии (1, 3) и аргоне (2, 4) с активирующим флюсом (1, 2) и без него (3, 4)

TIG сварка, то сварку сталей с активирующими флюсами можно осуществлять на оборудовании и в диапазоне режимов, применяемых для TIG сварки. Однако при выборе режимов ATIG сварки следует принимать во внимание тот факт, что зависимость формы и размеров шва от значений тока в указанных процессах имеет различный характер (рис. 2). Особенно это проявляется при изменении значений сварочного тока. В первом случае оно вызывает более интенсивное увеличение ширины шва, а во втором — глубины проплавления.

При односторонней сварке с полным проплавлением в нижнем положении весьма сложно получить усиление шва с двух сторон, поскольку происходит проседание металла под воздействием давления дуги и собственной массы. С лицевой стороны шва, как правило, образуется канавка, поверхность которой расположена ниже поверхности соединяемых деталей. Для устранения этого недостатка целесообразно выполнять второй проход шва с использованием присадочной проволоки и колебаний электрода. При сварке сталей с низкой теплопроводностью и высоким термическим коэффициентом линейного расширения для получения необходимого усиления допустимо не применять присадочный материал, если использовать эффект автоопрессовки, который осуществляется повторным нагревом шва по определенному термическому циклу. Сочетая параметры термического и деформационного циклов в сварном соединении можно таким образом повысить напряжения сжатия, вызвав пластические деформации, благодаря которым образуется усиление шва без использования присадочной проволоки.

Теплофизические свойства сталей, и в первую очередь теплопроводность, которые, как известно, зависят от их химического состава, значительно влияют на режимы сварки. В основном, это касается сварочного тока. Так, например, при сварке стали 20 толщиной 6 мм со скоростью 100 мм/мин для обеспечения полного проплавления сварочный ток должен составлять 175 А. В случае сварки стали 12Х18Н10Т такой же толщины и с той же скоростью $I_{св} = 155$ А, т. е. значения тока необходимо уменьшить на 18...20 %. Поэтому при достижении полного проплавления объем нагреваемого до температуры плавления металла в первом случае больше (рис. 3).

Активирующие флюсы для сварки сталей представляют собой механическую смесь мелкодисперсных порошков (в основном оксидов или фторидов металлов), а также компонентов, обеспечивающих микролегирование и модифицирование металла шва. Наиболее используемым вариантом применения флюсов является нанесение их на поверхность свариваемых кромок в виде пасты при помощи флюсографа или малярной кисти. Для этого в активирующий флюс добавляют быстронагревающие растворители и с помощью перемешивания получают пасту однородной консистенции, соответствующую по плотности и вязкости краске, применяемой для малярных работ. В таком состоянии флюс образует тонкое равномерное пок-

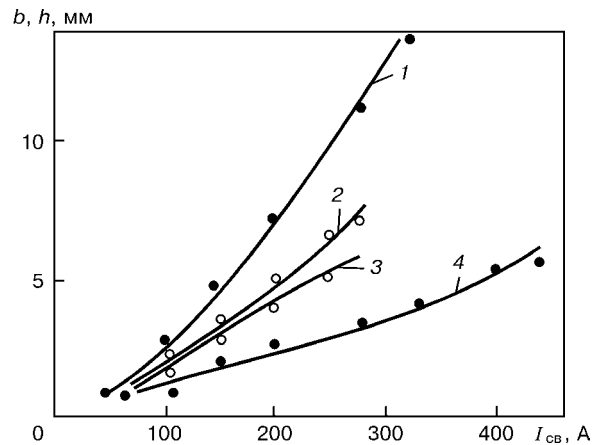


Рис. 2. Зависимость ширины шва b (1, 2) и глубины проплавления h (3, 4) от тока при сварке низколегированной стали с активирующим флюсом (2, 3) и без него (1, 4)

рытие на поверхности металла у свариваемых кромок. В процессе сварки он расплавляется и взаимодействует с жидким металлом, при этом изменяется состав паров, поступающих в межэлектродный промежуток [3].

Авторами разработаны, изготовлены и опробованы в промышленных условиях специальные флюсографы многократного использования, при помощи которых флюс-паста наносится на поверхность свариваемой стали тонким равномерным слоем заданной ширины. В ИЭС им. Е. О. Патона разработаны также специальные флюсовые карандаши, которые изготавливаются из смеси легкоплавкого связующего и активирующего флюса методом выплавки или прессования. При помощи карандаша флюс наносится на шершавую после пескоструйной обработки или на предварительно подогретую до 40...50 °С прихватками поверхность.

В 1980-х гг. авторами совместно с сотрудниками лаборатории сварки треста Центроэнергомонтаж (Москва) были разработаны состав, технологии хранения и использования флюса в аэрозольной упаковке, используемые при монтаже трубопро-

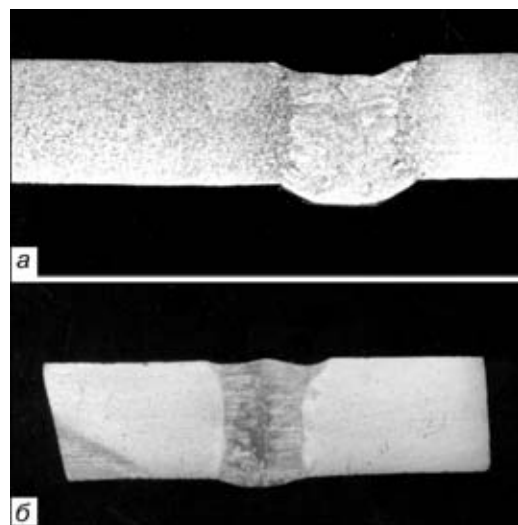


Рис. 3. Макрошлифы поперечных сечений сварных соединений низколегированной (а) и высоколегированной стали (б), полученные при сварке в аргоне с активирующим флюсом

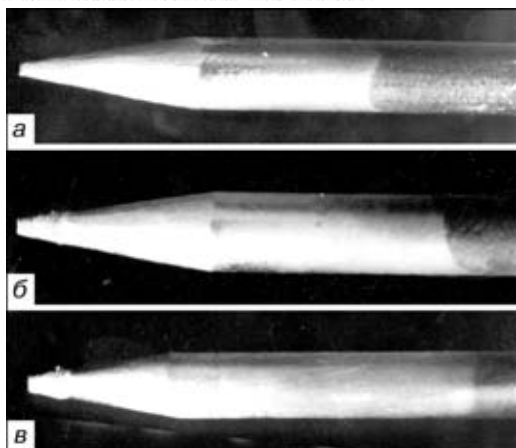


Рис. 4. Форма рабочего конца вольфрамового электрода после заточки (а) и сварки в аргоне с флюсом (б) и без него (в)

водов энергоблоков Курской и Смоленской АЭС [5]. Опыт показал, что применять флюсы в виде аэрозолей можно только на открытом воздухе либо в больших помещениях с мощной искусственной вентиляцией. В цехах или сварочных кабинках это способствует запылению рабочего пространства, поскольку большое количество флюса распыляется в окружающую среду. Если же распылитель приблизить к стыку, то это приведет к проникновению флюса в зазор, что может в процессе сварки вызвать образование шлаковых включений и пор в металле шва.

Активирующие флюсы в различном исполнении, предназначенные для сварки сталей, содержат тугоплавкие оксиды, для расплавления которых необходимо определенное количество тепла. Поэтому режимы сварки могут зависеть от толщины слоя активирующего флюса, нанесенного на свариваемые кромки образца. Для оценки этой зависимости на кромки наносился активирующий флюс слоями различной толщины, после чего выполняли сварку. Толщина такого слоя контролировалась специальными калибрами. В процессе опытов менялась через 0,025 мм — от 0,05 до 0,50 мм. Было установлено, что при сварке на токе до 300 А изменение толщины слоя активирующего флюса от 0,05 до 0,30 мм практически не влияет на глубину проплавления стали. С увеличением толщины слоя (более 0,3 мм) для получения такой же глубины проплавления необходимо значение сварочного тока увеличить

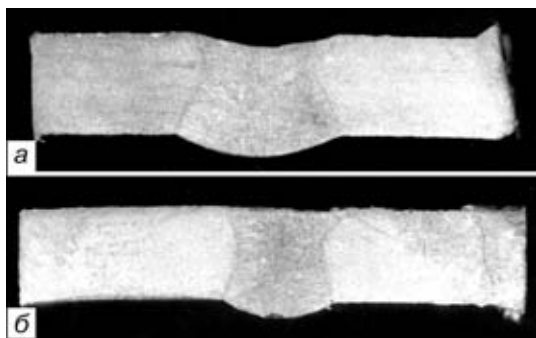


Рис. 5. Изменение формы и размеров швов в зависимости от межэлектродного расстояния L_d при постоянном значении тока: а — $L_d = 2,5$; б — 0,5 мм

на 10...15 %, что связано с ростом затрат тепла, необходимого для плавления избытка флюса.

Оптимальная толщина слоя активирующего флюса на поверхности кромок обычно не превышает 0,1...0,2 мм при ширине слоя примерно 8...10 мм. При этом расход флюса составляет около 1 г на погонную длину шва 1 м.

Стабильность проплавления металла и формирования швов при сварке с активирующими флюсами так же, как и без них, зависит от стойкости вольфрамового электрода. При быстром износе и разрушении его рабочего конца дуга горит неустойчиво и «блуждает» по поверхности катода и анода, что приводит к образованию непроваров, несплавлений и включений вольфрама в металле шва. Поэтому важно оценить насколько флюс, содержащий такие мощные окислители, как фтор или кислород, может повлиять на стойкость вольфрамового катода в короткой сварочной дуге. С этой целью была выполнена непрерывная сварка погонной длины шва 3 м на следующем режиме: $v_{св} = 100$ мм/мин; $I_{св} = 200$ А; $U_d = 9,8$ В; расстояние между катодом и анодом составляло около 1 мм. Эксперимент проводился на четырех образцах из стали X18H10T и стали 20 по следующим вариантам: сварка стали X18H10T без активирующего флюса и с активирующим флюсом.

Вид электродов до и после сварки приведен на рис. 4. Как видно из рисунка, характер износа рабочего конца электрода при сварке стали с активирующим флюсом и без него несколько различается. Однако притупление рабочего конца не разрушается и не изменяется стабильность проплавления.

Одной из важных характеристик стабильности процесса плавления металла и качественного формирования шва является постоянное напряжение горения дуги с вольфрамовым катодом. При механизированной сварке это регулируется с помощью различных устройств, в случае ручной сварки обеспечить стабильность процесса намного труднее. Поэтому представлялось важным определить, в каких пределах можно допустить колебания напряжения на дуге без существенного изменения формирования шва. Зависимость между напряжением на дуге и качеством формирования шва при постоянном токе, а также между током и напряжением исследовалась в ходе серии опытов. В первом случае АТIG сварку выполняли в нижнем положении на наклонной плоскости, при этом изменяли длину дуги на 2 мм. Сварка выполнялась с полным проплавлением, ток в процессе эксперимента не изменялся ($I_{св} = 120$ А), напряжение на дуге в начале сварки составляло 8,2 В, в конце — $U_d = 11,4$ В. Как видно из рис. 5, с увеличением напряжения на дуге геометрические размеры швов несколько изменялись. Это прежде всего касалось ширины шва и величины обратного усиления, но при этом достаточное проплавление металла наблюдалось по всей длине шва. Можно сделать вывод, что изменение (увеличение) напряжения на дуге приблизительно на 2 В при сварке с активирующим флюсом влияет на проплавление и формирование шва незначительно.

Однако в целях обеспечения стабильного качественного формирования шва по всей его длине при выполнении швов первой категории целесообразно поддерживать постоянным напряжение на дуге автоматически с помощью регуляторов. Они должны поддерживать напряжение дуги с высокой точностью, поэтому важно знать насколько активирующие флюсы могут влиять на их работу. В отдельных опытах была определена зависимость напряжения на дуге от тока при различных расстояниях между электродом и основным металлом при TIG и ATIG сварке. Чтобы исключить влияние массы сварочной ванны и поверхностного натяжения металла с обратной стороны, сварку выполняли без полного проплавления металла. При установочном расстоянии 0,5 мм от поверхности образца до электрода по мере увеличения тока в процессе TIG сварки напряжение на дуге сначала снижалось, а затем возрастало. Очевидно, это связано с подъемом жидкого металла в сварочной ванне и отсутствием кратера. По мере дальнейшего увеличения значения сварочного тока давление дуги на жидкий металл усилилось, в ванне образовался кратер, что привело к некоторому увеличению напряжения на дуге. При ATIG сварке кратер образовался сразу же после достижения дугой рабочего режима, а отмеченное выше изменение значений напряжения не наблюдалось. С увеличением межэлектродного расстояния при использовании сварочного тока с теми же значениями напряжение на дуге возрастает, увеличиваются ее мощность и давление на металл, как при ATIG сварке, так и при TIG сварке. Причем в случае ATIG сварки напряжение всегда на 0,25...0,30 В выше, чем при TIG сварке (рис. 6). Очевидно, это обусловлено сжатием дуги и уменьшением проводимости периферийных участков столба дуги под воздействием активирующего флюса. Следует отметить, что характер изменения напряжения на дуге при этом в сопоставляемых случаях сохраняется неизменным. Это дает возможность использовать существующее оборудование (особенно регуляторы сварочных режимов) без дополнительной реконструкции.

Таким образом, применение активирующего флюса при сварке вольфрамовым электродом позволяет без изменения условий существования сварочной дуги на имеющемся оборудовании увеличить проплавление металла до 12 мм при

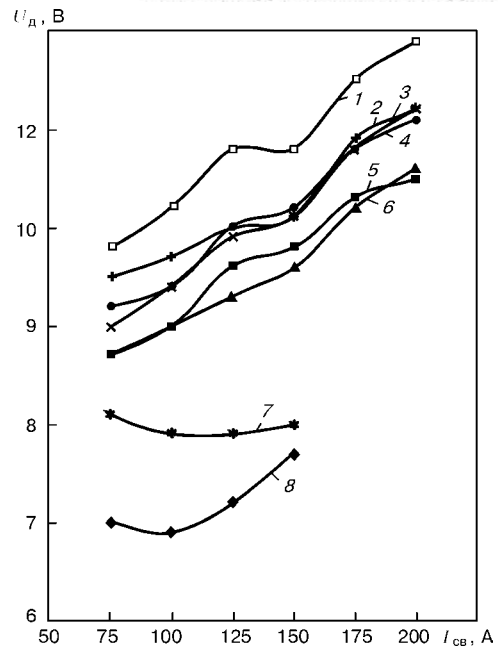


Рис. 6. Зависимость напряжения на дуге от тока при различном межэлектродном расстоянии: 1 — $L_d = 20,0$; 2 — 1,4; 3 — 2,0; 4 — 1,0; 5 — 1,0; 6 — 1,5; 7 — 0,5; 8 — 0,5 мм

односторонней сварке и до 20 мм — при двухсторонней. При этом обеспечивается хорошее качество металла шва и его равнопрочность с основным металлом. Новый способ сварки широко применяется в авиационной промышленности, атомной энергетике и других отраслях промышленности.

1. Савицкий М. М., Куширенко Б. Н., Олейник О. И. Особенности сварки сталей вольфрамовым электродом с активирующими флюсами (ATIG процесс) // Автомат. сварка. — 1999. — № 12. — С. 20–28.
2. Плотность тока в анодном пятне при сварке обычных и рафинированных сталей / М. М. Савицкий, В. С. Гвоздецкий, В. И. Скрышник и др. // Там же. — 1979. — № 7. — С. 17–20.
3. Савицкий М. М., Лесков Г. И. Механизм влияния электроотрицательных элементов на проплавленную способность дуги с вольфрамовым катодом // Там же. — 1980. — № 9. — С. 17–22.
4. Савицкий М. М., Г. М. Мельничук, А. Ф. Лупан. Способы применения активаторов для сварки сталей в инертном газе // Там же. — 2000. — № 3. — С. 48–49.
5. Применение активирующего флюса при автоматической сварке трубопроводов АЭС / И. Я. Станкевич, В. И. Дмитриев, В. Л. Корида и др. // Энергетическое строительство. — 1982. — № 10. — С. 19–20.

Interrelation between welding conditions and weld parameters, electrode service life and stability of process of welded joint formation in welding structural steels is considered for the process of ATIG-welding.

Поступила в редакцию 11.05.2002