

DOI: 10.15593/2224-9877/2015.3.01

УДК 621.791.755

А.М. Баженов, А.И. Панов, И.А. ГилевПермский национальный исследовательский
политехнический университет, г. Пермь, Россия

ПЛАЗМЕННАЯ СВАРКА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ МАЛЫХ ТОЛЩИН

Представлены результаты разработки технологии плазменной сварки плазменной дугой током обратной полярности с одновременной подачей присадочной проволоки, алюминиевых сплавов АМг5 толщиной 2 мм. Алюминиевые сплавы обладают уникальными свойствами, что обуславливает их широкое применение в авиа- и судостроении, производстве химической аппаратуры, строительстве. Однако существует ряд факторов, которые значительно усложняют процесс сварки алюминия. Стоит отметить, что при сварке алюминиевых сплавов малых толщин появляются дополнительные трудности в технологии изготовления конструкций. Это в первую очередь связано с правильным выбором параметров режима и недопущением прожога, а также применением специальных подкладных приспособлений. В данной статье представлен анализ современных методов сварки алюминия малых толщин. Приведен вариант сварки алюминиевых сплавов плазменной дугой при работе плазматрона на обратной полярности тока. Применение плазменной дуги позволяет использовать высококонцентрированный источник энергии, получить бездефектный сварной шов. Показано, что использование тока обратной полярности обеспечивает качественную очистку поверхности металла от загрязнений и оксидной пленки, процесс плазменной сварки значительно увеличивает производительность процесса. Установлена зависимость геометрии шва от скорости подачи проволоки.

Ключевые слова: плазменная сварка, плазматрон, алюминиевые сплавы, прямая полярность, обратная полярность, катодная очистка, вольфрамовые включения, геометрия шва, пористость, автоматизация.

A.M. Bazhenov, A.I. Panov, I.A. Gilev

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

PLASMA WELDING OF ALUMINUM ALLOYS OF SMALL THICKNESSES

The results of the development of technologies for plasma welding, plasma arc current of reverse polarity with simultaneous supply of welding wire, aluminum alloys АМg5 2 mm thick. Aluminum alloys have unique properties that make them a wide application in aircraft and shipbuilding, chemical equipment, construction. However, aluminum has a number of factors which greatly complicate the process of welding. It should be noted that when welding aluminum alloy of small thickness have additional difficulties in manufacturing technology. This is primarily due to the right choice of parameters and preventing burn-through mode, as well as the use of special devices backer. This article presents an analysis of modern methods of welding aluminum small thicknesses. A version of welding of aluminum alloys at the plasma arc torch to reverse the polarity of the current. The use of the plasma arc

enables highly concentrated source of energy, to obtain defect-free weld. It is shown that the use of the current reverse polarity provides quality clean metal surface from dirt and oxide film, plasma welding process significantly increases the productivity of the process. The dependence of the geometry of the weld wire feed speed.

Keywords: plasma welding, plasma torch, aluminum alloys, direct polarity, reverse polarity, cathodic cleaning, tungsten inclusions, the geometry of the weld seams, porosity, automation.

Современные условия развития промышленности, высокая мировая конкуренция диктуют новые подходы к повышению качества продукции и производительности труда. Малая плотность при сравнительно высокой прочности, хорошая обрабатываемость режущим инструментом, высокая коррозионная стойкость обуславливают широкое применение алюминиевых сплавов в авиа- и судостроении, производстве химической аппаратуры, строительстве и других отраслях [1]. Во всех перечисленных случаях используются различные по своему составу и механическим свойствам алюминиевые сплавы, а конструктивные решения зачастую связаны со сваркой [2].

Ряд факторов значительно усложняют сварку алюминиевых сплавов: 1) высокая теплопроводность; 2) повышенная жидкотекучесть алюминия при высоких температурах; 3) наличие тугоплавкой оксидной пленки на поверхности изделия; 4) высокое сродство расплавленного алюминия к газам. Все эти факторы диктуют применение специальных технологических мер, что снижает производительность процесса сварки и повышает себестоимость изготовления продукции [3]. Стоит отметить, что сварка алюминиевых сплавов малых толщин также представляет значительную трудность. Это в первую очередь связано с правильным выбором параметров режима и недопущением прожога, а также применением специальных подкладных приспособлений [4].

На сегодняшний день применение находят традиционные способы сварки алюминиевых сплавов: ручная дуговая сварка, механизированная сварка плавящимся электродом, аргонодуговая сварка неплавящимся электродом в среде защитных газов [5]. Однако эти методы имеют ряд указанных выше проблем при сварке и не удовлетворяют современным требованиям промышленности [6].

В последнее время, с развитием техники и появлением новых видов высококонцентрированных источников энергии, для решения задачи сварки тонколистовых алюминиевых сплавов всё более широко используют лазерные технологии. Но их применение сдерживается

высокой стоимостью оборудования и рядом специфических трудностей: высоким коэффициентом отражения лазерного излучения, малой температурой плавления алюминия. Одними из основных дефектов при лазерной сварке являются горячие трещины и газовая пористость [2].

Таким образом, основной задачей исследователей при разработке технологии сварки тонколистовых конструкций из алюминиевых сплавов является обеспечение качественной очистки поверхности от оксидной пленки, применение высококонцентрированного источника энергии с возможностью автоматизации процесса сварки, снижение себестоимости погонного метра шва [7].

Одним из путей решения этой задачи видится использование технологии плазменной сварки током обратной полярности. Применение плазменной дуги позволяет использовать высококонцентрированный источник энергии, получить высококачественный сварной шов. Использование тока обратной полярности обеспечивает качественную очистку поверхности металла от загрязнений и оксидной пленки, процесс плазменной сварки поддается 100%-ной автоматизации [8].

Известной является разработка с использованием плазмотрона, работающего на переменном токе, для плазменной сварки алюминия. Дежурная дуга постоянного тока загорается между электродом-катодом плазмотрона и плазмообразующим соплом-анодом, а вторая дуга переменного тока горит между электродом плазмотрона и изделием (рис. 1) [9]. После того как основная дуга зажигается, дежурная размыкается. Сварка ведется на переменном токе с модуляцией. В момент включения обратной полярности происходит очистка поверхности металла, а при работе прямой полярности происходит плавление металла.

У данного способа есть несколько недостатков: необходимость использования двух источников питания дуг, возможность появления вольфрамовых включений в металле шва в период работы плазмотрона на обратной полярности, газовая пористость металла шва, недолговечность конструкции плазмотрона.

Целью данной работы являлась разработка технологии плазменной сварки плазменной дугой током обратной полярности с одновременной подачей присадочной проволоки алюминиевых сплавов АМг5 толщиной 2 мм.

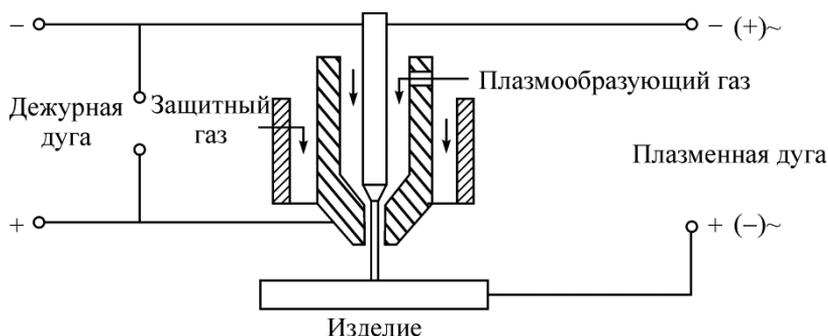


Рис. 1. Схема подключения двухдугового плазмотрона

Сварку можно производить как с подачей, так и без подачи присадочной проволоки. Однако при сварке конструкций больших толщин может наблюдаться некоторое провисание лицевой стороны сварного шва. Несмотря на то что провисание имеет незначительную величину, в ряде случаев, особенно для конструкций, работающих в условиях динамического нагружения, требуется выполнение второго прохода для наложения «декоративного» валика, заполняющего провисание [10]. При сварке алюминия малых толщин существует ряд трудностей: возможность прожога при высокой производительности процесса, провисание корня шва, трудность удаления оксидов из сварного шва в процессе сварки.

Кроме того, использование присадочной проволоки позволяет управлять процессом легирования швов, что благотворно сказалось на повышении их прочности. Варьируя режимы подачи проволоки, получаем возможность управлять геометрией шва.

При сварке проволока должна обязательно касаться поверхности изделия, в противном случае не происходит ее катодной очистки и качественного сплавления со сварочной ванной.

Режимы сварки представлены в таблице. Соединение под сварку стыковое без зазора. Выполнено два различных варианта сварки – с усилением и без усиления шва.

Режимы сварки

Номер образца	$Q_з$, л/мин	$Q_п$, л/мин	I_d , А	$d_{пс}$, мм	$h_{с.и}$, мм	$v_{п.п}$, м/мин	$v_{св}$, м/ч
1	5	3	65	3	5	0,9	36
2						1,1	

Внешний вид швов представлен на рис. 2, 3.

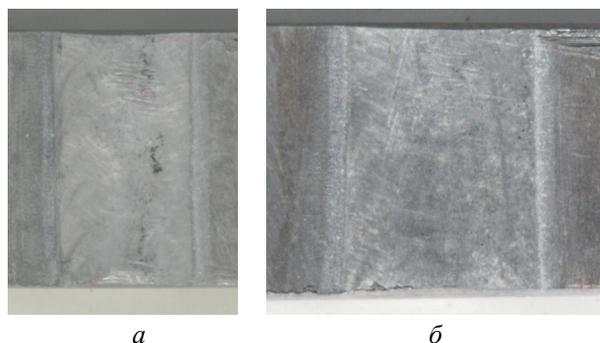


Рис. 2. Внешний вид лицевой стороны шва: *a* – образец 1; *б* – образец 2

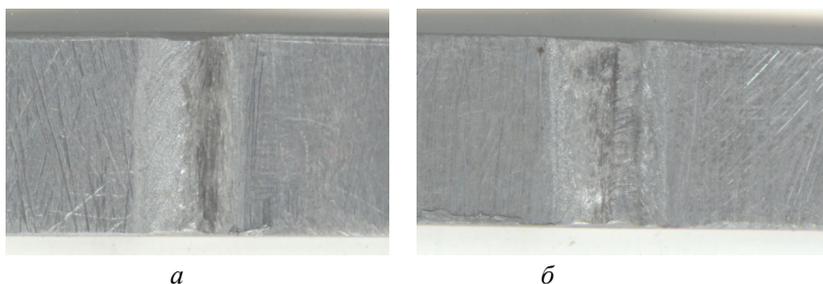


Рис. 3. Внешний вид корня шва: *a* – образец 1; *б* – образец 2

Макрошлифы поперечного сечения шва представлены на рис. 4.



Рис. 4. Макрошлиф шва ($\times 2$)

По результатам визуального осмотра видно, что шов с лицевой стороны имеет ровную поверхность. Чешуйчатость, усиление шва отсутствуют. В обоих случаях обеспечивается равномерное формирование корня шва без провисания и других дефектов. Образец № 1: ширина 6,4 мм, высота 0,3 мм, высота корня шва 1,5 мм. Образец № 2: ширина 6,2 мм, высота 1,5 мм, высота корня шва 1,5 мм.

Макрографическое исследование показало, что формирование шва равномерное, геометрия симметрична. Отсутствуют дефекты в виде пор и трещин.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Установлены режимы плазменной сварки проникающей дугой током обратной полярности с одновременной подачей присадочной проволоки алюминиевого сплава АМг5 толщиной 2 мм.

2. Получены бездефектные сварные соединения при сварке встык без зазора.

3. Плазменная сварка при работе плазмотрона на токе обратной полярности позволяет встроить механизм очистки поверхности непосредственно в процесс сварки, что значительно повышает качество и производительность.

4. Плазменная сварка проникающей дугой позволяет сваривать тонколистовые конструкции из алюминиевых сплавов без применения специальных подкладных приспособлений.

Список литературы

1. Рабкин Д.М., Игнатъев В.Г., Довбищенко И.В. Дуговая сварка алюминия и его сплавов. – М.: Машиностроение, 1982. – 95 с

2. Сидорец В.Н., Бушма А.И., Хаскин В.Ю. Лазерно-микроплазменная сварка алюминиевых сплавов // Збірник наукових праць наук. – 2012. – № 3–4. – С. 26–31.

3. Сравнительный анализ качества тонкостенных сварных соединений из алюминиевых сплавов, выполненных ручной и полуавтоматической аргонодуговой сваркой / Ю.П. Аганаев, Б.Д. Лыгденов, Н.Г. Бильтриков, Д.Ж. Байдаев, Д.С. Фильчаков // Ползуновский альманах. – 2014. – № 2. – С. 63–67.

4. Фридляндер И.Н. Алюминиевые деформируемые конструкционные сплавы. – М.: Металлургия, 1979. – 208 с.

5. Николаев В.А., Фридляндер И.Н., Арбузов Ю.П. Свариваемые алюминиевые сплавы. – М.: Металлургия, 1990. – 296 с.

6. Руссо В.Л. Сварка алюминия и его сплавов. – Л.: Судпромгиз, 1956. – 140 с

7. Рабкин Д.М., Лозовская А.В. Металловедение сварки алюминия и его сплавов. – Киев: Наук. думка, 1992. – 160 с.

8. Щицын Ю.Д. Плазменные технологии в сварочном производстве / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2004. – Ч. 1. – 73 с.

9. Plasma arc welding: Process, sensing, control and modeling / C.S. Wu, L. Wang, W.J. Ren, X.Y. Zhang // *Journal of Manufacturing Processes*. – 2014. – № 16. – С. 74–85.

10. Совершенствование технологий плазменной сварки проникающей дугой цветных металлов и сложнoleгированных сплавов / Ю.Д. Щицын, И.Л. Синани, Д.С. Белинин, С.Д. Неулыбин // *Известия Самар. науч. центра РАН*. – 2013. – Т. 15, № 4 (2). – С. 427–431.

References

1. Rabkin D.M., Ignat'ev V.G., Dovbishchenko I.V. *Dugovaia svarka aliuminiia i ego splavov* [Arc welding of aluminum and its alloys]. Moscow: Mashinostroenie, 1982. 95 p.

2. Sidorets V.N., Bushma A.I., Khaskin V.Iu. *Lazerno-mikroplazmennai svarka aliuminievykh splavov* [Laser-microplasma welding of aluminum alloys]. *Zbirnik naukovikh prats' nauk*, 2012, no. 3-4, pp. 26-31.

3. Aganaev Iu.P., Lygdenov B.D., Bil'trikov N.G., Baidaev D.Zh., Fil'chakov D.S. *Sravnitel'nyi analiz kachestva tonkostennykh svarnykh soedinenii iz aliuminievykh splavov, vypolnennykh ruchnoi i poluavtomaticheskoi argonodugovoi svarkoi* [A comparative analysis of the quality of thinwalled welded joints of aluminum alloys mademanual and semi-automatic TIG welding]. *Polzunovskii al'manakh*, 2014, no. 2, pp. 63-67.

4. Fridliander I.N. *Aliuminievye deformiruemye konstruksionnye splavy* [Wrought aluminum alloy construction]. Moscow: Metallurgii, 1979. 208 p.

5. Nikolaev V.A., Fridliander I.N., Arbuzov Iu.P. *Svarivaemye aliuminievye splavy* [Weldable aluminum alloys]. Moscow: Metallurgii, 1990. 296 p.

6. Russo V.L. *Svarka aliuminiia i ego splavov* [Welding of aluminum and its alloys]. Leningrad: Sudpromgiz, 1956. 140 p.

7. Rabkin D.M., Lozovskaia A.V. *Metallovedenie svarki aliuminiia i ego splavov* [Metallurgy of welding aluminum and its alloys]. Kiev: Naukova dumka, 1992. 160 p.

8. Shchitsyn Iu.D. *Plazmennye tekhnologii v svarochnom proizvodstve* [Plasma technology for welding]. *Permskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet*, 2004. Part 1. 73 p.

9. Wu C.S., Wang L., Ren W.J., Zhang X.Y. Plasma arc welding: Process, sensing, control and modeling. *Journal of Manufacturing Processes*, 2014, no. 16, pp. 74-85.

10. Shchitsyn Iu.D., Sinani I.L., Belinin D.S., Neulybin S.D. Sovershenstvovanie tekhnologii plazmennoi svarki pronikaiushchei dugoi tsvetnykh metallov i slozhnolegirovannykh splavov [Improved technologies for plasma welding penetrating do goy-ferrous metals and complex alloys]. *Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossiiskoi akademii nauk*, 2013, vol. 15, no. 4(2), pp. 427-431.

Получено 29.06.2015

Об авторах

Баженов Александр Михайлович (Пермь, Россия) – магистрант кафедры «Сварочное производство и технология конструкционных материалов» Пермского национального исследовательского политехнического университета; e-mail: navokain@mail.ru.

Панов Алексей Иванович (Пермь, Россия) – магистрант кафедры «Сварочное производство и технология конструкционных материалов» Пермского национального исследовательского политехнического университета; e-mail: homa2901@gmail.com.

Гилев Иван Александрович (Пермь, Россия) – магистрант кафедры «Сварочное производство и технология конструкционных материалов» Пермского национального исследовательского политехнического университета; e-mail: ivan.giliev@mail.ru.

About the authors

Aleksandr M. Bazhenov (Perm, Russian Federation) – Master Student, Department “Welding technology and Production of Structural Materials”, Perm National Research Polytechnic University; e-mail: navokain@mail.ru.

Alexei I. Panov (Perm, Russian Federation) – Master Student, Department “Welding technology and Production of Structural Materials”, Perm National Research Polytechnic University; e-mail: homa2901@gmail.com.

Ivan A. Gilev (Perm, Russian Federation) – Master Student, Department “Welding technology and Production of Structural Materials”, Perm National Research Polytechnic University; e-mail: ivan.giliev@mail.ru.