

ГИБРИДНАЯ ПЛАЗМЕННО-ДУГОВАЯ СВАРКА ТОНКОСТЕННЫХ ПАНЕЛЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА

В. Н. КОРЖИК

ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03680, г. Киев-150, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Актуальность данной работы связана с необходимостью разработки доступной высокопроизводительной технологии сварки тонкостенных судовых панелей из сплавов системы Al–Mg, которая позволит минимизировать характерный для традиционных дуговых способов сварки эффект ухудшения прочностных характеристик получаемых соединений, а также уменьшать ширину сварных швов и погонную энергию их сварки без существенного увеличения стоимости сварочного оборудования. На основании проведенных автором исследований предложена технология гибридной плазменно-дуговой сварки плавящимся электродом с осевой подачей проволоки через полый кольцевой электрод, позволяющая получать соединения тонкостенных (5...8 мм) судовых панелей из алюминиевых сплавов системы Al–Mg, с прочностью свыше 80 % прочности основного металла и на 3...6 % выше прочности, обеспечиваемой импульсно-дуговой сваркой плавящимся электродом. Разработанная технология позволяет повышать производительность изготовления судовых панелей толщиной 5...8 мм по сравнению с применяемой в настоящее время импульсно-дуговой сваркой плавящимся электродом за счет повышения скорости сварки на 25...40 % и устранения необходимости в выполнении разделки кромок. Показано, что использование гибридной плазменно-дуговой сварки по сравнению с традиционной сваркой дугой с плавящимся электродом при одинаковой скорости ведения процесса позволяет уменьшить ширину шва примерно на 20 % и снизить на 10...15 % количество используемой для формирования шва проволоки. При этом на 20...30 % уменьшается величина погонной энергии сварки, что способствует повышению прочностных характеристик и уменьшению ширины зоны разупрочнения основного металла под воздействием тепла сварочной дуги. Библиогр. 10, табл. 3, рис. 5.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, плазма прямого действия, дуга с плавящимся электродом, гибридная сварка, режим сварки, твердость швов, прочность соединений

Алюминий и его сплавы широко применяются в современном судостроении. Из них изготавливают корпуса кораблей, палубные надстройки, коммуникационные системы и различного рода судовое оборудование [1]. Основное преимущество, получаемое при этом, снижение массы судов до 50...60 % по сравнению с применением стали. В результате появляется возможность повысить грузоподъемность судна или улучшить его тактико-технические характеристики (маневренность, скорость и т. д.).

Наиболее широкое применение среди алюминиевых сплавов для изготовления конструкций речного и морского флота находят сплавы системы Al–Mg (например, 1530 (AMg3), 1550 (AMg5), 1560 (AMg6) и 1561 (AMg61)). Эти сплавы характеризуются хорошей свариваемостью. С повышением содержания магния коэффициент трещинообразования при сварке уменьшается. Однако сварные соединения этих сплавов, полученные традиционными дуговыми способами сварки, ослаблены по сравнению с основным материалом [2]. Это, в первую очередь, относится к характеристикам прочности и пластичности, что может привести к негативным последствиям при изготовлении морских судов. Целесообразно разработать доступную высокопроизводительную сварочную технологию, позволяющую минимизировать эф-

фект ухудшения прочностных характеристик получаемых соединений сплавов системы Al–Mg, а также уменьшать ширину сварных швов и погонную энергию их сварки без существенного увеличения стоимости сварочного оборудования.

Одним из сварочных процессов, позволяющих решить поставленную задачу, является гибридная плазменно-дуговая сварка дугой с плавящимся электродом [3]. Этот процесс впервые был представлен в апреле 1972 г. Вильгельмом Эссером и другими в исследовательском центре Philips (Нидерланды) [4]. При таком способе сварки образуется гибридный источник нагрева, состоящий из сжатой дуги прямого действия, охватывающей дугу с плавящимся электродом. Дополнительное сжатие последней обеспечивает высокую скорость плавления проволоки и значительное снижение разбрызгивания. Применение такого процесса для изготовления конструкций из алюминиевых сплавов может обеспечить формирование мелкозернистых структур швов, а также высокие качество и производительность сварки [5].

В ранних конструкциях головок для гибридной плазменно-дуговой сварки дугой с плавящимся электродом применялся обычный штыревой неплавящийся электрод. В современных конструкциях для повышения стабильности процесса сварки его заменили на полый — трубчатый или кольцевой [6]. Современный модифици-

Таблица 1. Химический состав свариваемых образцов ($\delta = 5$ и 8 мм), мас. %

Сплав	Нормативный документ	Mg	Mn	Cu	Fe	Si	Cr	Zn	Ti	Zr	Be
5083	EN 573-3	4,0...4,9	0,4...1,0	0,1	0,4	0,4	0,05...0,25	0,25	0,10...0,15	-	0,005
1561 (AMг61)	ОСТ 1 92014-90	5,5...6,5	0,7...1,1	0,1	0,4	0,4	-	0,2	-	0,02...0,12	0,0001...0,003

Таблица 2. Химический состав электродной проволоки (диаметром $1,2$ и $1,6$ мм), мас. %

Марка	Mg	Mn	Cu	Fe	Si	Cr	Zn	Ti	Zr	Be
ER5356	4,5...5,5	0,08...0,2	0,1	0,4	0,4	0,05...0,25	0,1	0,06...0,20	-	0,0005
Св-AMг61	5,8...6,8	0,5...0,8	0,1	0,4	0,25	-	0,2	0,02...0,10	-	0,0002...0,005
Ok. Autrod 18.22	5,5...6,2	0,8...0,9	0,05	0,2	0,4	-	0,2	0,02...0,20	0,02...0,10	0,005

рованный процесс гибридной плазменно-дуговой сварки еще не получил достаточно широкого распространения, однако активно изучается исследователями [7]. Технологии сварки различных материалов этим способом также находятся на стадии разработки.

Целью данной работы послужило создание такой технологии изготовления тонкостенных ($5...8$ мм) судовых панелей из алюминиевых сплавов системы Al-Mg на основе гибридной плазменно-дуговой сварки плавящимся электродом с осевой подачей проволоки, которая позволит устранить характерное для дуговых способов разупрочнение металла сварных соединений.

Для достижения поставленной цели был проведен ряд технологических исследований процессов гибридной плазменно-дуговой сварки (Плазма-МИГ) и импульсной сварки плавящимся электродом на токе обратной полярности (МИГ), в которых использовали алюминиево-магниевого сплавы марок 5083 и 1561 толщиной 5 и 8 мм с прочностью до 370 МПа. В качестве электродных проволок применяли проволоки из сплавов марки 5356 (для сплава 5083), а также Св-AMг61 или ее европейский аналог Ok. Autrod 18.22 (производство фирмы «ESAB») (для сварки сплава 1561). Химические составы указанных сплавов приведены в табл. 1, 2.

Режимы подбирали на образцах размером $400 \times 200 \times \delta$ мм, выполненных из указанных в табл.1 сплавов. Отрабатывали режимы сварки стыковых соединений листов толщиной $\delta = 5$ и 8 мм. Для предварительной подборки режимов выполняли наплавочные швы, после выбора параметров режима проводили сварку стыков. Для толщины 5 мм разделку кромок не выполняли. Для толщины 8 мм выполняли Y-образную разделку кромок с углом раскрытия 60° и притуплением 2 мм только в случае импульсной сварки плавящимся электродом, поскольку гибридный процесс и в этом случае обеспечивал качественную сварку без разделки. Для формирования нижнего валика усиления использовали удаляющиеся подкладки из немагнитной аустенитной стали

— для сварки образцов $\delta = 5$ мм размер канавки в подкладке составлял $6,0 \times 2,0$ мм, а для сварки образцов $\delta = 8$ мм — $8,0 \times 3,0$ мм.

Для проведения экспериментов применяли разработанный в ИЭС им. Е. О. Патона специализированный комплекс оборудования, в состав которого входили [8]: инверторный сварочный источник питания для аргонодуговой сварки неплавящимся электродом ТИГ AC-DC EVO 450/T Robot, плазменный модуль FPM, EVO Speed Star 520 TS Robot, блоки автономного охлаждения, плазмотрон для машинной гибридной плазменно-дуговой сварки плавящимся электродом с осевой подачей проволоки, многопозиционный лабораторный манипулятор на базе сварочной колонны и вращателя, общая система управления комплексом гибридной сварки. Сварку выполняли согласно технологической схеме, приведенной на рис. 1, а. При этом достигался эффект дополнительного обжаривания дуги с плавящимся электродом сжатой дугой полого неплавящегося электрода рис. 1, б [9].

Диаметр плазмообразующего сопла изменяли в пределах $6...10$ мм. Конструкция анода была составной, представляющей собой медный корпус со вставкой из вольфрама диаметром $6,0$ мм. Для подачи электродной проволоки в вольфраме было выполнено отверстие диаметром $4,0$ мм. Во всех опытах расстояние между плазмообразующим соплом и образцом составляло $6,0$ мм. Это расстояние выбрано из условия обеспечения вылета электрода (расстояния от токоподводящего накопника для электродной проволоки) в диапазоне $16...18$ мм. При этом достигается минимальное забрызгивание плазмообразующего и защитных сопел гибридного плазмотрона.

Критерием пригодности швов для последующих механических испытаний являлось соответствие требованиям к допустимым поверхностным дефектам согласно результатам внешнего осмотра и измерений согласно требований [10] и ГОСТ 14806–80.

После выполнения наплавочных швов были выбраны режимы гибридной плазменно-дуго-

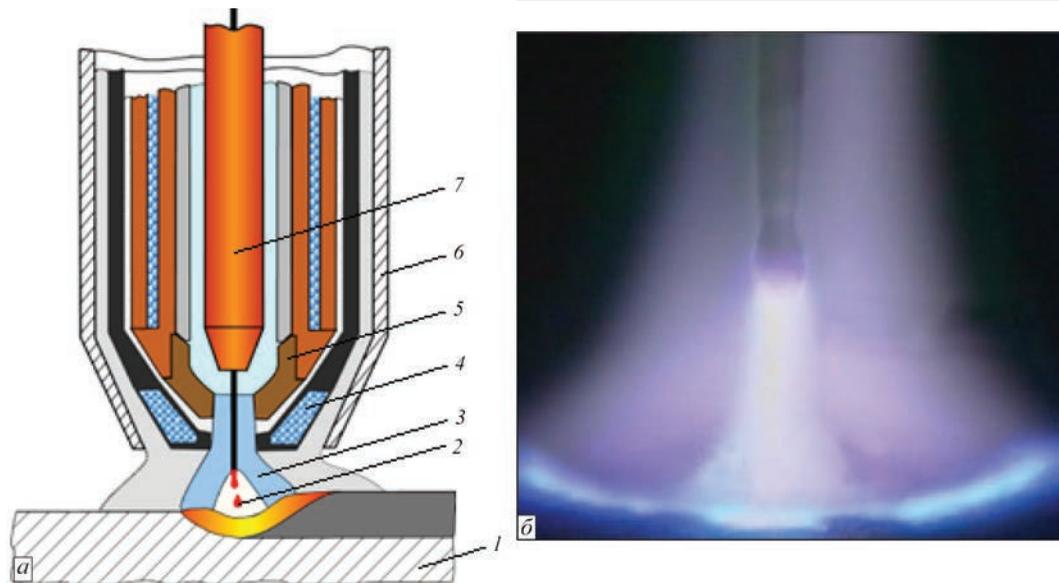


Рис. 1. Технологическая схема процесса (а) гибридной плазменно-дуговой сварки: 1 — свариваемый образец, 2 — дуга с плавящимся электродом, 3 — сжатая дуга прямого действия, 4 — плазмообразующее сопло, 5 — трубчатый электрод плазмотрона (анод), 6 — защитное сопло, 7 — подающий мунштук плавящегося электрода; фотография совместного действия сжатой дуги и дуги с плавящимся электродом (б)

вой сварки, на которых затем проводилась встык сварка образцов для механических испытаний. Аналогичные образцы были получены традиционной импульсно-дуговой сваркой с использованием дуги с плавящимся электродом (табл. 3). Сварку вели в нижнем положении в защитной среде аргона с расходом 25...30 л/мин при скоростях 0,3...0,6 м/мин. Сравнивали результаты применения обоих методов (рис. 2, 3).

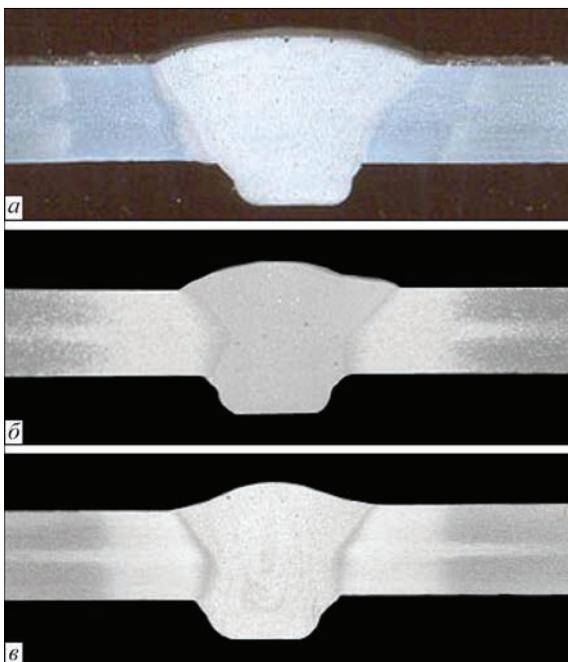


Рис. 2. Поперечные шлифы сварных соединений листов из сплава 1561 ($\delta = 5,0$ мм), выполненных импульсно-дуговой сваркой плавящимся электродом (а) и гибридной плазменно-дуговой сваркой с электродной проволокой диаметром 1,2 (б) и 1,6 мм (в)

Сравнение погонных энергий сварки плавящимся электродом и гибридной плазменно-дуговой сварки алюминиевых сплавов толщиной 5 мм, выполненных с одинаковой скоростью, показывает снижение этого параметра во втором случае примерно на 20...30 % (табл. 3). Сварка гибридным способом сплава 1561 ($\delta = 5,0$ мм) без разделки кромок позволила повысить скорость процесса до 1,0 м/мин, что на 40 % превосходит традиционную импульсно-дуговую сварку плавящимся электродом (табл. 3). В случае сварки образцов толщиной 8 мм примерное соответствие погонных энергий в обоих случаях делает правомочным сравнение результатов этих процессов, несмотря на различные скорости сварки (табл. 3).

Сварные швы, полученные сваркой плавящимся электродом образцов из сплава 5083 ($\delta = 8,0$ мм), имели пористость в верхней части швов, при этом их ширина составляла 18,0 мм при

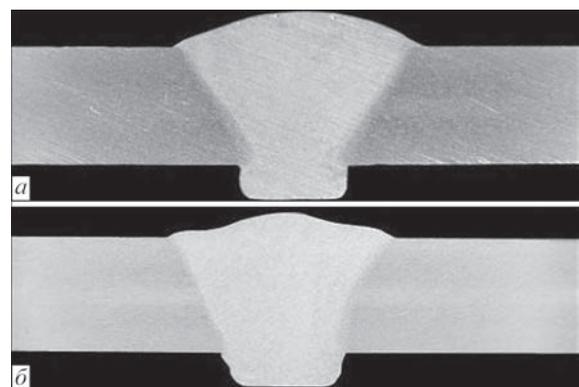


Рис. 3. Поперечные шлифы сварных соединений листов из сплава 1561 ($\delta = 8,0$ мм), выполненных импульсно-дуговой сваркой плавящимся электродом (а) и гибридной плазменно-дуговой сваркой плавящимся электродом (б)

Таблица 3. Параметры режимов сварки плавящимся электродом (МИГ) и гибридной плазменно-дуговой сварки (Плазма-МИГ) сплавов 5083 и 1561

Скорость сварки, м/мин	Ток сжатой дуги, А	Напряжение сжатой дуги, В	Расход плазмообразующего газа, л/мин	Ток дуги с плавящимся электродом, А	Напряжение дуги с плавящимся электродом, В	Скорость подачи электродной проволоки, м/мин	Расход центрального газа, л/мин	Толщина образца δ , мм	Погонная энергия (Плазма-МИГ) + МИГ, кДж/м	Диаметр электродной проволоки, мм
Сплав 5083										
0,6	--	--	--	280	26,5	8,4	--	5,0	0+740	1,6
0,6	115	26	5,0	165	18	7,6	7,0	5,0	300+297	
0,3	--	--	--	251	27,0	9,5	--	8,0	0+1350	
0,4	168	22,8	5,0	213	23,0	7,0	7,0	8,0	570+730	
Сплав 1561										
0,6	--	--	--	253	25,8	8,0	--	5,0	0+650	1,6
0,6	100	25,4	5,0	155	17,4	12,5	7,0	5,0	255+270	1,2
0,6	100	24,6	5,0	165	17,4	7,4	7,0	5,0	246+287	1,6
1,0	178	29,2	3,5	154	18,2	7,5	6,5	4,5	311+170	1,6
0,3	--	--	--	251	27,0	9,5	--	8,0	0+1350	1,6
0,4	155	21,8	5,0	213	23,0	7,0	7,0	8,0	505+730	

высоте усиления 3,0 мм. Уменьшение геометрических размеров швов при выбранной разделке свариваемых кромок было невозможным из-за того, что для достижения соответствующей проплавляющей способности дуги необходим был сварочный ток порядка 250 А, напрямую связанный со скоростью подачи электродной проволоки и, соответственно, определенным количеством вводимого в сварочную ванну металла.

При гибридной плазменно-дуговой сварке плавящимся электродом за счет подбора соотно-

шения величин погонных энергий каждой из составляющих имеется возможность дозировать скорость подачи проволоки так, чтобы обеспечить формирование верхнего и нижнего валиков усиления. При этом необходимая для сквозного проплавления соединяемых листов погонная энергия обеспечивается за счет действия сжатой дуги с неплавящимся электродом. Это позволило при гибридной плазменно-дуговой сварке листов

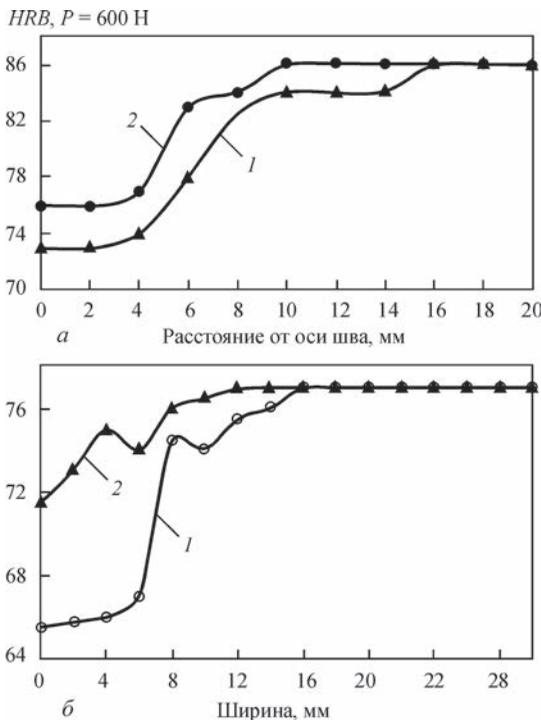


Рис. 4. Распределение твердости в поперечном сечении сварных соединений, полученных сваркой МИГ (1) и Плазма-МИГ (2) образцов: а — из сплава 1561 ($\delta = 5,0$ мм) при скорости сварки 0,6 м/мин; б — из сплава 5083 ($\delta = 8,0$ мм) при скоростях сварки 0,3 и 0,4 м/мин, соответственно

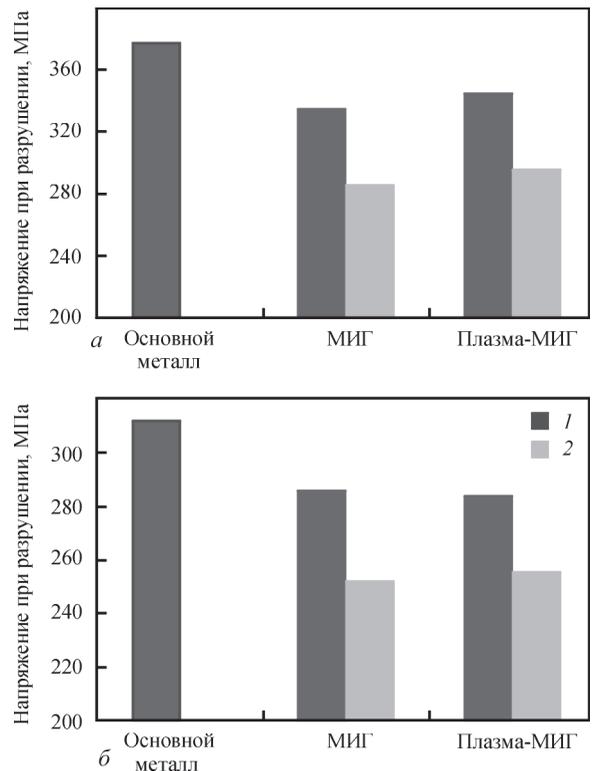


Рис. 5. Показатели прочности при статическом растяжении сварных соединений, полученных сваркой МИГ (1) и Плазма-МИГ (2) образцов: а — из сплава 1561 ($\delta = 5,0$ мм) при скорости сварки 0,6 м/мин; б — из сплава 5083 ($\delta = 8,0$ мм) на скоростях 0,3 и 0,4 м/мин, соответственно (1 — сварное соединение; 2 — металл шва)

из сплава 5083 ($\delta = 8,0$ мм) достичь ширины шва 15,0 мм при высоте усиления шва в 1,7 мм, т. е. уменьшить эти параметры примерно на 20 и 45 % соответственно.

Из стыковых сварных соединений, полученных сравнимаемыми способами, вырезали темплеты для проведения микродиаметрического анализа, а также образцы типа ХПА для испытаний на статическую прочность согласно ГОСТ 6996–66. Сравнение распределений твердости в поперечных сечениях сварных соединений, полученных традиционной импульсно-дуговой сваркой плавящимся электродом в среде аргона и гибридной сваркой плавящимся электродом, представлено на рис. 4. Из него следует, что гибридная сварка приводит к некоторому (до 4 % для сплава 1561 и до 8 % для сплава 5083) увеличению твердости соединений.

Сравнение показателей прочности сварных образцов при статическом нагружении со снятым валиком нижнего усиления шва (проплавом), а также со снятыми нижним и верхним усилениями шва для импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом и гибридной плазменно-дуговой сварки плавящимся электродом, представлены на рис. 5. Из этого сравнения следует, что исследуемый способ сварки по сравнению с традиционным позволяет повышать прочность соединений из сплава 1561 до 3 %, а из сплава 5083 до 6 %.

Выводы

1. На основании проведенных исследований разработана технология гибридной плазменно-дуговой сварки плавящимся электродом с осевой подачей проволоки через полый кольцевой электрод, позволяющая получать соединения тонкостенных (5...8 мм) судовых панелей из алюминиевых сплавов системы Al–Mg, с прочностью выше 80 % прочности основного металла и на 3...6 % выше прочности, обеспечиваемой импульсно-дуговой сваркой плавящимся электродом.

2. Разработанная технология позволяет повышать производительность изготовления судовых панелей толщиной 5...8 мм по сравнению с применяемой в настоящее время импульсно-дуговой сваркой плавящимся электродом за счет повышения скорости сварки на 25...40 % и устранения необходимости в выполнении разделки кромок.

3. Использование гибридной плазменно-дуговой сварки по сравнению с традиционной сваркой дугой с плавящимся электродом при одинаковой скорости ведения процесса позволяет уменьшить ширину шва примерно на 20 % и снизить на 10...15 % количество используемой для формирования шва проволоки. При этом на 20...30 % уменьшается величина погонной энергии сварки, что способствует повышению прочностных харак-

теристик и уменьшению ширины зоны разупрочнения основного металла под воздействием тепла сварочной дуги.

Работа выполнялась при поддержке Программы иностранных экспертов КНР № WQ20124400119 (Chinese Program of Foreign Experts № WQ20124400119), Программы инновационной группы провинции Гуандун, КНР № 201101C0104901263 (Guangdong Innovative Research Team Program No.201101C0104901263, China), проекта Гуандунской ключевой лаборатории современной технологии сварки № 2012A061400011, КНР (Project of Guangdong Provincial Key Laboratory № 2012A061400011, China).

Список литературы

1. Зусин В. Я., Серенко В. А. (2004) *Сварка и наплавка алюминия и его сплавов*. Мариуполь, Рената.
2. Рабкин Д. М. (1986) *Металлургия сварки плавлением алюминия и его сплавов*. Киев, Наукова думка.
3. Essers W. G., Jelmorini G. U.S. Philips Corporation (1975) *Method of plasma-MIG-welding*, New York, NY, USA, Пат. US3891824.
4. Essers W. G., Liefkens A. C. (1972) Plasma-MIG welding developed by Philips. *Machinery and Production Engineering*, **12**, 632–633.
5. Essers W. G., Willems G. A. (1984) Plasma-MIG – schweissen von Aluminium auftragschweissen und Zweielektadens schweissen, von autahl. *DVS-Berichte*, **90**, 9–14.
6. Дедюх Р. И. (2014) Особенности процесса плазменной сварки плавящимся электродом (Обзор). *Сварочное производство*, **5**, 34–39.
7. Yang Tao, Gao Hongming, Zhang Shenghu et al. (2013) The study on plasma-mig hybrid arc behaviour and droplet transfer for mild steel welding. *Reviews on advanced materials science*, **33**, 459–464.
8. Гринюк А. А., Коржик В. Н., Шевченко В. Е. и др. (2016) Гибридные технологии сварки алюминиевых сплавов на основе дуги с плавящимся электродом и сжатой дуги. *Автоматическая сварка*, **5-6**, 107–113.
9. <http://www.dvs-aft.de/AfT/V/V2/V2.3/V2.3.5>. Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e. V. Ausschuss für Technik. Arbeitsgruppe V 2.3.5 «Plasma-MIG-Schweißen».
10. НД 2-020101-040. (2013) *Правила Технического наблюдения за постройкой судов и изготовлением материалов и изделий для судов*. Т. 2. Санкт-Петербург, Российский морской регистр судоходства.

References

1. Zusin, V.Ya., Serenko, V.A. (2004) *Welding and surfacing of aluminium and its alloys*. Mariupol, Renata.
2. Rabkin, D.M. (1986) *Metallurgy of fusion welding of aluminium and its alloys*. Kiev, Naukova Dumka.
3. Essers, W.G., Jelmorini, G. (1975) *Method of plasma-MIG-welding*. U.S. Philips Corp. Pat. US3891824.
4. Essers, W.G., Liefkens, A.C. (1972) Plasma-MIG welding developed by Philips. *Machinery and Production Engineering*, **12**, 632–633.
5. Essers, W.G., Willems, G.A. (1984) Plasma-MIG-Schweissen von Aluminium Auftragschweissen und Zweielektrodenschweissen. *DVS-Berichte*, **90**, 9–14.
6. Dedyukh, R.I. (2014) Peculiarities of consumable electrode plasma welding (Review). *Svarochn. Proizvodstvo*, **5**, 34–39.
7. Yang Tao, Gao Hongming, Zhang Shenghu et al. (2013) The study on plasma-mig hybrid arc behaviour and droplet transfer for mild steel welding. *Rev. on Advanced Materials*, **33**, 459–464.

8. Grinyuk, A.A., Korzhik, V.N., Shevchenko, V.E. et al. (2016) Hybrid technologies of welding aluminium alloys based on consumable electrode arc and constricted arc. *The Paton Welding J.*, 5-6, 98-103.
9. <http://www.dvs-aft.de/Aft/V/V2/V2.3/V2.3.5>. Deutscher Verband fuer Schweissen und verwandte Verfahren e.V. Ausschuss fuer Technik. Arbeitsgruppe V 2.3.5 *Plasma-MIG-Schweissen*.
10. ND 2-020101-040 (2013) *Rules of technical supervision in construction of ships and manufacture of materials and products for ships*. Vol. 2. St.-Petersburg, Russian Maritime Register of Shipping.

V. M. Коржик

ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України.
03680, м. Київ-150, вул. Казимира Малевича, 11.
E-mail: office@paton.kiev.ua

ГІБРИДНЕ ПЛАЗМОВО-ДУГОВЕ ЗВАРЮВАННЯ ТОНКОСТІННИХ ПАНЕЛЕЙ З АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ

Актуальність даної роботи пов'язана з необхідністю розробки доступної високопродуктивної технології зварювання тонкостінних суднових панелей зі сплавів системи Al-Mg, яка дозволить мінімізувати характерний для традиційних дугових способів зварювання ефект погіршення міцності отриманих з'єднань, а також зменшувати ширину зварних швів і погонну енергію їх зварювання без істотного збільшення вартості зварювального устаткування. На підставі проведених автором досліджень запропоновано технологію гібридного плазмово-дугового зварювання плавким електродом з основою подачею дроту через порожнистий кільцевий електрод, що дозволяє отримувати з'єднання тонкостінних (5...8 мм) суднових панелей із алюмінієвих сплавів системи Al-Mg, з міцністю понад 80 % міцності основного металу і на 3...6 % вище міцності, яка забезпечується імпульсно-дуговим зварюванням плавким електродом. Розроблена технологія дозволяє підвищувати продуктивність виготовлення суднових панелей товщиною 5...8 мм у порівнянні із застосуванням на даний час імпульсно-дуговим зварюванням плавким електродом за рахунок підвищення швидкості зварювання на 25...40 % і усунення необхідності у виконанні обробки кромок. Показано, що використання гібридного плазмово-дугового зварювання в порівнянні з традиційним зварюванням дугою з плавким електродом при однаковій швидкості ведення процесу дозволяє зменшити ширину шва приблизно на 20 % і знизити на 10...15 % кількість використовуваного для формування шва дроту. При цьому на 20...30 % зменшується величина по-

гонної енергії зварювання, що сприяє підвищенню міцності і зменшенню ширини зони знеміцнювання основного металу під впливом тепла зварювальної дуги. Бібліогр. 10, табл. 3, рис. 5.

Ключові слова: алюмінієві сплави, плазма прямої дії, дуга з плавким електродом, гібридне зварювання, режим зварювання, твердість швів, міцність з'єднань

V. N. Korzhik

E.O.Paton Electric Welding Institute of NASU.
11 Kazimir Malevich str., 03680,
E-mail: office@paton.kiev.ua

HYBRID PLASMA-ARC WELDING OF THIN-WALLED PANELS FROM ALUMINIUM ALLOY

The urgency of this work is associated with the need to develop accessible highly efficient technology of welding thin-walled ship panels from Al-Mg system alloys, which will allow minimizing the effect of deterioration of strength characteristics of the produced joints, characteristic for traditional arc welding methods, as well as reducing weld width and welding heat input without any essential increase of welding equipment cost. Research performed by the author was the base to propose the technology of hybrid plasma-MIG welding with axial feed of wire through hollow circular electrode, allowing production of joints of thin-walled (5-8 mm) ship panels from aluminium alloys of Al-Mg system, with strength higher than 80% of that of base metal and by 3 – 6 % higher than strength provided by consumable electrode pulsed-arc welding. Developed technology allows improvement of the efficiency of manufacturing ship panels 5 – 8 mm thick, compared to currently applied consumable electrode pulsed-arc welding due to improvement of welding speed by 25 – 40% and elimination of the need for edge preparation. It is shown that application of hybrid plasma-arc welding, compared to traditional consumable electrode arc welding allows reducing weld width by approximately 20% and decreasing by 10 – 15% the quantity of wire used for weld formation. Here, welding heat input is reduced by 20 – 30% that promotes an improvement of strength characteristics and reduction of the width of base metal softening zone under the impact of welding arc heat. 10 Ref., 3 Tables, 5 Figures.

Keywords: aluminium alloys, direct action plasma, consumable electrode arc, hybrid welding, welding mode, weld hardness, joint strength

Поступила в редакцію 06.04.2017

1-я МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО СВАРКЕ И НЕРАЗРУШАЮЩЕМУ КОНТРОЛЮ 2018 1st ICWNDT-2018

22–24 октября 2018 г.

г. Афины, Греция

Адресс: WGI: Trapezountos & Digeni Akrita, Elefsina 192 00, Attikis, Greece.
Phone (+30) 210 3630050, Fax (+30) 2103636917, Website:www.wgi.gr, E-mail: tzaferis@wgi.gr