

ГИБРИДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ДУГИ С ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ И СЖАТОЙ ДУГИ*

А. А. ГРИНЮК^{2,3}, В. Н. КОРЖИК^{1,2}, В. Е. ШЕВЧЕНКО^{1,2}, А. А. БАБИЧ², С. И. ПЕЛЕШЕНКО⁴

¹Китайско-украинский институт сварки им. Е. О. Патона

(Гуандунский Генеральный Институт промышленных технологий, Гуанчжоуский научно-исследовательский институт цветных металлов), Changxing Road, Tianhe, Guangzhou, 510650, China. E-mail: vnkorzhyk@gmail.com

²ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03680, г. Киев, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

³НТУУ «Киевский политехнический институт». 03056, Киев, ул. Дашавская 6/2.

E-mail: andrey_grinyuk@ukr.net

⁴Южно-Китайский технологический университет, КНР. 510641, Гуанжоу. E-mail: sviatoslav@qq.com

Проанализированы основные этапы создания оборудования и разработки технологии гибридной плазменно-дуговой сварки плавящимся электродом алюминиевых сплавов. Показаны основные конструкторские решения при разработке горелок для гибридной плазменно-дуговой сварки плавящимся электродом — т.е. переход от стержневого анода плазменной части гибридной горелки к кольцевому. Использование кольцевого анода упрощает конструкцию гибридной горелки для плазменно-дуговой сварки плавящимся электродом и улучшает контакт дуг. В статье представлены преимущества процесса гибридной плазменно-дуговой сварки плавящимся электродом с коаксиальной подачей проволоки по сравнению с традиционной сваркой плавящимся электродом в среде инертных газов. Библиогр. 23, рис. 15.

Ключевые слова: гибридная плазменно-дуговая сварка, плавящийся электрод, коаксиальная подача проволоки, алюминиевые сплавы, сжатая дуга

Интенсивное развитие скоростных транспортных средств наземного, воздушного и морского базирования обуславливают развитие эффективных и экономически обоснованных технологий получения сварных соединений алюминиевых сплавов. В последнее десятилетие интенсивно развиваются гибридные технологии дуговой сварки, совмещающие в одной сварочной ванне энергию сжатой дуги неплавящегося электрода и дугу с плавящимся электродом. Данную технологию называют гибридной плазменно-дуговой сваркой плавящимся электродом. Этот процесс за рубежом получил название Plasma-MIG.

Патенты на первый гибридный плазматрон с одновременным использованием в одной сварочной ванне сжатой дуги с неплавящимся электродом и дуги плавящегося электрода принадлежит фирме Philips Corproation [1]. Дуга с плавящимся электродом горит внутри сжатой дуги неплавящегося электрода. Схема гибридного плазматрона, разработанного фирмой Philips Corproation, представлена на рис. 1. Электродная проволока подавалась коаксиально к сжатой дуге. Сварку выполняли на постоянном токе обратной полярности, в качестве катода выступал вольфрамовый элект-

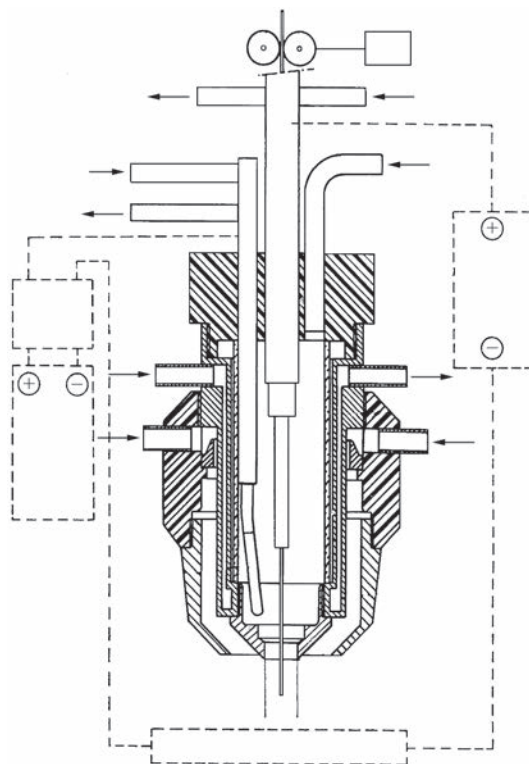


Рис. 1. Плазматрон для гибридной плазменно-дуговой сварки плавящимся электродом, разработанный фирмой Philips Corporation [2]

* Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках программы иностранных экспертов в КНР № WQ20124400119, проекта R&D инновационной группы провинции Гуандун (КНР) № 2011101CO104901263 и международного проекта Министерства науки и техники КНР № 2013DFR70160.

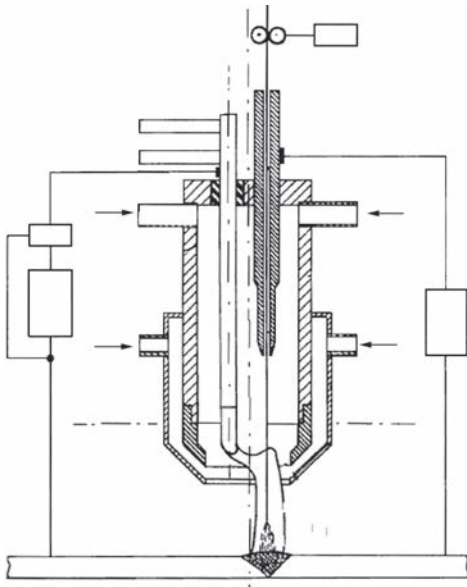


Рис. 2. Плазматрон для гибридной плазменно-дуговой сварки плавящимся электродом с вольфрамовым катодом и электродной проволокой, которые смещены относительно оси плазматрона

род, который располагался сбоку от оси плазмообразующего сопла. В последующие годы усилия сотрудников корпорации Philips Corporation были направлены на усовершенствование конструкции гибридного плазматрона с боковым расположением вольфрамового катода [3].

Для обеспечения компактности размеров гибридного плазматрона его катод и электродную проволоку смещали в разные стороны от оси самого плазматрона (рис. 2) [4].

Рассматривалось использование сжатой дуги не только прямого, но и косвенного действия. Предлагались разные варианты получения сжатой дуги косвенного действия: между вольфрамовым катодом и сжимающим соплом; между двумя

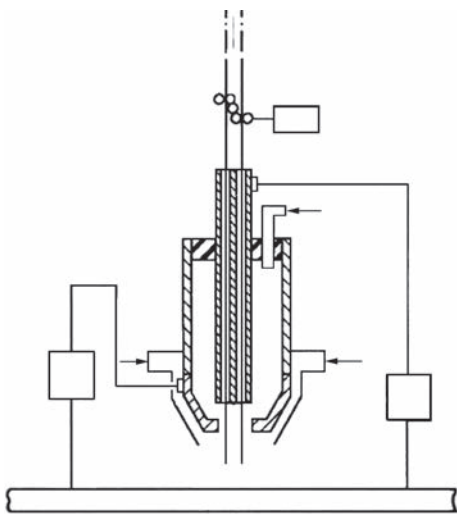


Рис. 3. Плазматрон для гибридной плазменно-дуговой сварки плавящимся электродом с коаксиальной подачей расщепленного электрода сквозь полый медный катод, работающий в режиме обычной несжатой дуги

расположенными рядом вольфрамовыми электродами; между двумя вольфрамовыми электродами, расположенными на равном расстоянии от электродной проволоки [5].

Возможность использования косвенной дуги рассматривалась не только для сжатой дуги, но и для дуги с плавящимся электродом [6]. В дальнейшем использование как косвенной сжатой дуги неплавящегося электрода, так и косвенной дуги с плавящимся электродом не получило широкого распространения и упоминание о них остается только в патентных публикациях.

Прорабатывалось использование двух электродных проволок для процесса гибридной плазменно-дуговой сварки плавящимся электродом [7]. Предлагалась конструкция с боковым размещением вольфрамового катода и подводом тока к двум электродным проволокам от двух разных источников питания постоянного тока, боковое расположение вольфрамового катода и коаксиальное расположение расщепленного плавящегося электрода с его питанием от одного источника постоянного тока, с расположением вольфрамового катода между проволоками расщепленного плавящегося электрода, а также использование расщепленного плавящегося электрода и медного полого катода, работающего в режиме генерации обычной дуги постоянного тока обратной полярности (рис. 3). Такие схемы расположения электродов также не получили дальнейшего развития.

Предлагались варианты совместного горения в общую ванну обычных дуг плавящегося и неплавящегося электродов с коаксиальным расположением проволоки и полым анодом [8, 9]. На рис. 4

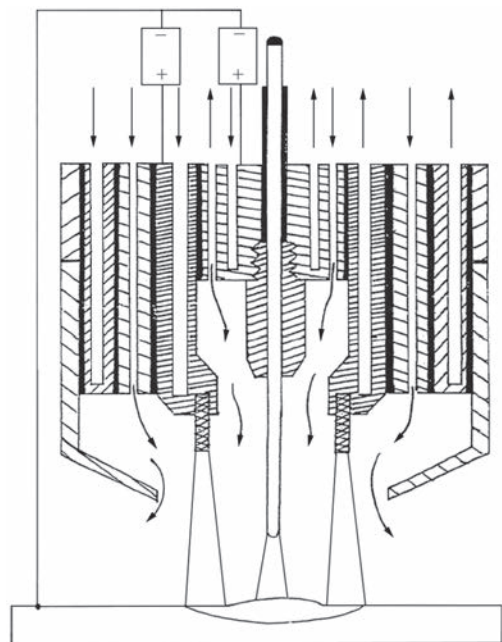


Рис. 4. Гибридная горелка для сварки плавящимся и неплавящимся электродами с коаксиальной подачей проволоки сквозь кольцевой катод



Рис. 5. Установка PZ 4302/10 для гибридной плазменно-дуговой сварки плавящимся электродом

представлена схема гибридной горелки для сварки плавящимся и неплавящимся электродом. Такая схема реализации гибридного процесса сварки алюминиевых сплавов плавящимся электродом не получила широкого распространения.

Для реализации процесса гибридной плазменно-дуговой сварки плавящимся электродом фирмой Philips Corporation была разработана и серийно выпускалась установка PZ 4302/10 (рис. 5). Установка состоит из источника питания для плазменно-дуговой сварки постоянным током прямой и обратной полярности, источника питания постоянного тока для сварки плавящимся электродом (оба источника питания размещены в одном корпусе), механизма подачи электродной проволоки и системы управления. Данная установка обеспечивала максимальный ток 400 А для плаз-

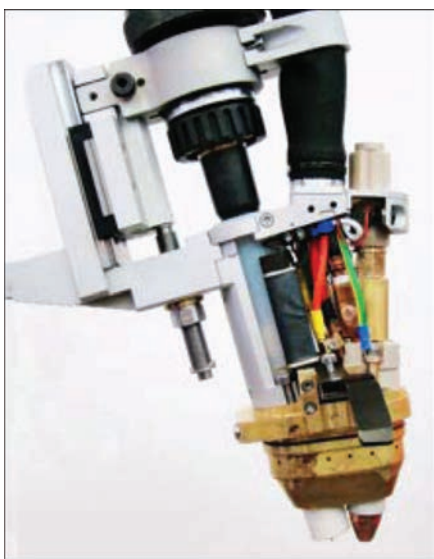


Рис. 6. Гибридная горелка фирмы Plasma Laser Technologies Ltd для плазменно-дуговой сварки плавящимся электродом алюминиевых сплавов

менно-дуговой сварки постоянным током и 630 А для сварки плавящимся электродом. Информация о гибридном плазматроне, которым комплектовалась данная установка, отсутствует.

Рассматривался также вопрос совместного горения в одну сварочную ванну сжатой дуги с неплавящимся электродом и дуги плавящегося электрода, расположенных последовательно одна за другой [10, 11]. Основным разработчиком оборудования для гибридной плазменно-дуговой сварки плавящимся электродом с последовательным расположением сжатой дуги с неплавящимся электродом и дуги плавящегося электрода является компания Plasma Laser Technologies Ltd (PLT). Процесс гибридной плазменно-дуговой сварки плавящимся электродом разработки этой компании получил запатентованное название Super-MIG. Горелка плавящегося электрода и плазматрон располагаются в одном корпусе и имеют одно общее защитное сопло. Для сварки материалов, которые не имеют на своей поверхности оксидов, температура плавления которых выше температуры плавления основного металла, используют сжатую дугу с неплавящимся электродом постоянного тока прямой полярности и дугу с плавящимся электродом постоянного тока обратной полярности. Для предотвращения электромагнитного взаимодействия между дугами в состав гибридного плазматрона дополнительно введен так называемый электромагнитный щит. Для гибридной сварки алюминиевых сплавов разработана специальная горелка, которая обеспечивает плазменно-дуговую сварку разнополярным асимметричным током до 200 А и сварку плавящимся электродом на постоянном токе обратной полярности до 550 А (рис. 6). В состав комплекса оборудования для гибридной плазменно-дуговой сварки плавящимся электродом Super-MIG входит также плазменный модуль с системой управления комплексом оборудования. Система управления позволяет подключаться к контроллерам сварочных роботов.

Процесс Super-MIG позволяет упростить конструкцию гибридного плазматрона по сравнению со схемой с коаксиальной подачей электродной проволоки, но при этом дуга с плавящимся электродом дополнительно не обжимается сжатой дугой неплавящегося электрода, что вызывает более сильное разбрызгивание металла и меньшую проплавленную способность. Дальнейшее развитие гибридных горелок для плазменно-дуговой сварки плавящимся электродом пошло по пути внедрения полого анода [12–15]. Анод выполнялся составным со вставкой из тугоплавкого материала.

По схеме использования кольцевого полого анода и коаксиальной подачи электродной про-



Рис. 7. Составной анод гибридной горелки фирмы Merkle для плазменной сварки плавящимся электродом с коаксиальной подачей проволоки

волокни построен и гибридный плазматрон фирмы Merkle [16]. В качестве источников питания для генерирования плазмы и дуги с плавящимся электродом использовались серийные источники питания фирмы Merkle (ФРГ) для сварки плавящимся электродом. Отличительной особенностью гибридной горелки для плазменной сварки плавящимся электродом фирмы Merkle является биметаллический составной анод (рис. 7). Нижняя часть анода выполнена из тугоплавкого материала и припаяна к медной водоохлаждаемой части.

В Техническом университете города Хемниц (Германия) было разработано устройство, обеспечивающее включение и совместную работу источников питания для плазменно-дуговой сварки неплавящимся электродом на постоянном токе при обратной полярности и источника питания для сварки плавящимся электродом на постоянном токе при обратной полярности [17]. Исследования такой же направленности проводятся и в SLV Muenchen (Германия). Аналогичные исследования проводятся в Пермском государственном университете (Россия) [18, 19]. В Украине вопросы плазменно-дуговой сварки плавящимся электро-

дом занимались в Приазовском техническом университете [20]. Особенности процесса плазменно-дуговой сварки плавящимся электродом также изучались в Китае и Бразилии [21, 22].

Фирма TBI (Германия) выпускает по индивидуальным заказам горелки PLM 500 и PLM 600 с кольцевым анодом для плазменно-дуговой сварки плавящимся электродом, которые выдерживают суммарную токовую нагрузку до 500 и 600 А постоянного тока при обратной полярности соответственно (рис. 8). Особенностью конструкции горелки для гибридной плазменно-дуговой сварки плавящимся электродом фирмы TBI является цельный медный анод. Плазмообразующее сопло и защитное газовое сопло в данной конструкции выполнены как одна неразборная деталь, что усложняет конструкцию и увеличивает стоимость.

Установка Hybrid 8000 MR (AMT Maschinen- und Gerätetechnik GmbH, ФРГ) обеспечивает одновременное генерирование постоянного тока на обратной полярности для сжатой дуги неплавящегося электрода и для дуги плавящегося электрода (рис. 9). Регулировка сварочного тока для каждой из дуг выполняется индивидуально в диапазоне от 15 до 400 А. Также данную установку можно использовать как обычный источник питания для сварки плавящимся электродом. Сжатая дуга неплавящегося электрода при использовании данной установки возбуждается без помощи дежурной дуги. Использование данной установки для плазменно-дуговой сварки постоянным током неплавящимся электродом несколько затруднено, так как не предусмотрено наличие дежурной дуги и осциллятора для ее поджига.

Установка DigiPlus A7PM (IMC Soldagem, Бразилия) обеспечивает аналогичный набор сварочных функций, как и установка фирмы AMT. При этом данную установку также невозможно использовать

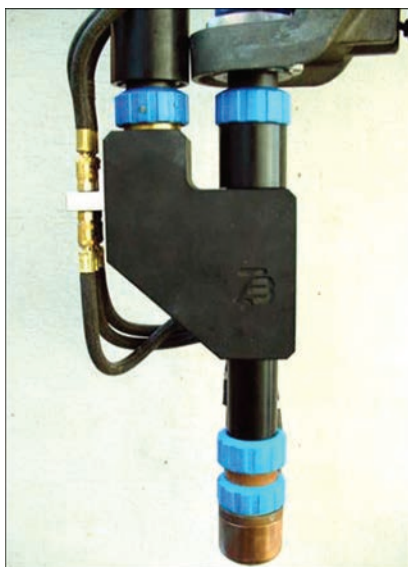


Рис. 8. Горелка PLM 500 фирмы TBI для гибридной плазменно-дуговой сварки плавящимся электродом

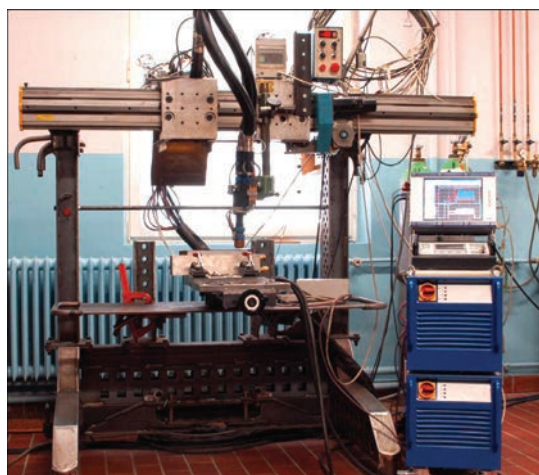


Рис. 9. Установка Hybrid 8000 MR для гибридной плазменно-дуговой сварки плавящимся электродом с аксиальной подачей электродной проволоки фирмы AMT Maschinen- und Gerätetechnik GmbH (ФРГ)



Рис. 10. Универсальный комплекс оборудования PLAZER PW-HYBRID TC для плазменно-дуговой сварки неплавящимся электродом, комбинированной и гибридной плазменно-дуговой сварки плавящимся электродом в разных пространственных положениях

для обычной плазменно-дуговой сварки неплавящимся электродом по причинам отсутствия блока поджига и генерирования дежурной дуги.

В рамках сотрудничества ИЭС им. Е. О. Патона по проектам Китайско-украинского Института сварки (КНП) разработан ряд универсальных комплексов оборудования для плазменно-дуговой, комбинированной и гибридной сварки производства ООО «Научно-производственный центр «ПЛАЗЕР», Украина. Главной концепцией разработки данных комплексов является доработка и адаптация серийно-выпускаемых источников питания для сварки неплавящимся и плавящимся электродами. Данные комплексы оборудования позволяют реализовать широкий спектр плазменных и дуговых процессов: выполнять плазменно-дуговую сварку с присадочной проволокой постоянным током при прямой полярности и разнополярным асимметричным током, гибридную плазменно-дуговую сварку плавящимся электродом с кольцевым анодом плазмотрона и аксиальной подачей электродной проволоки, комбинированную сварку сжатой дугой и плавящимся электродом, сварку в режиме «мягкая плазма» (Soft Plasma Arc Welding), автоматическую сварку плавящимся и неплавящимся электродами [23]. Для реализации такого набора технологических возможностей данное оборудование выполнено в блочно-модульном исполнении.

Кроме того, в функциях данного оборудования заложена возможность работы в комплексе как со сварочными манипуляторами разного типа (установка для сварки продольных швов, колонны, вращатели и т.п.), так и со сварочными роботами. Для этого в системе управления имеется интерфейс для подключения к роботу с протоколами связи, применяемыми для сварочных роботов основных производителей.

Комплекс оборудования PLAZER PW-HYBRID TC (рис. 10) позволяет выполнять швы в нижнем



Рис. 11. Универсальный сборочно-сварочный стол разработки фирмы ООО «НПЦ «ПЛАЗЕР» для сварки швов в нижнем положении, вертикальных и горизонтальных швов на вертикальной и наклонной плоскостях

положении, вертикальные и горизонтальные швы на вертикальной и наклонной плоскостях. Наличие в его составе поворотного сварочного вращателя позволяет выполнять сварку кольцевых швов.

Для укомплектования исследовательского сварочного участка фирмой ООО «НПЦ «ПЛАЗЕР» по техническому заданию ИЭС им. Е. О. Патона был разработан универсальный сборочно-сварочный стол. Особенностью конструкции данного стола является то, что перемещается сама деталь, а не сварочные горелки. При этом исключается фактор колебания горелки, что позволяет более точно оценивать влияние электрических параметров на горение дуги. С помощью специальных механизмов обеспечивается возможность перевода стола в пространственные положения для выполнения вертикальных и горизонтальных швов на вертикальной и наклонной плоскостях (рис. 11).

Основой универсальных комплексов оборудования для плазменно-дуговой сварки неплавящимся и плавящимся электродами, разрабатываемых в ИЭС им. Е. О. Патона, является система управления комплексом оборудования на основе программируемого PLC контроллера и соответствующее программное обеспечение. Данное решение позволяет создавать сварочные комплексы на основе серийно выпускаемых источников питания для дуговой сварки плавящимся и неплавящимся электродами. Применение широкой гаммы контроллеров, как с цифровыми, так и с аналоговыми входами-выходами позволяет использовать сварочное оборудование разных производителей, оборудованных разъемами для обмена информацией по цифровым протоколам или имеющих только аналоговые входы-выходы.

Все комплексы универсального оборудования укомплектованы плазмотронами для сварки неплавящимся и плавящимся электродами разработки ИЭС им. Е. О. Патона (рис. 12).

Применение гибридной плазменной сварки плавящимся электродом для сварки алюминиево-

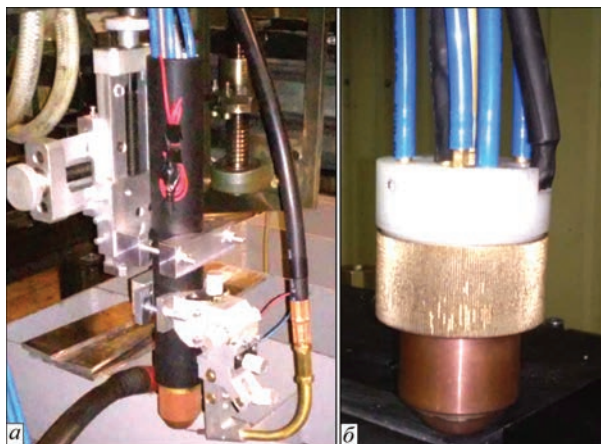


Рис. 12. Плазмотроны разработки ИЭС им. Е. О. Патона для плазменно-дуговой сварки неплавящимся (а) и гибридной плазменно-дуговой сварки плавящимся (б) электродами

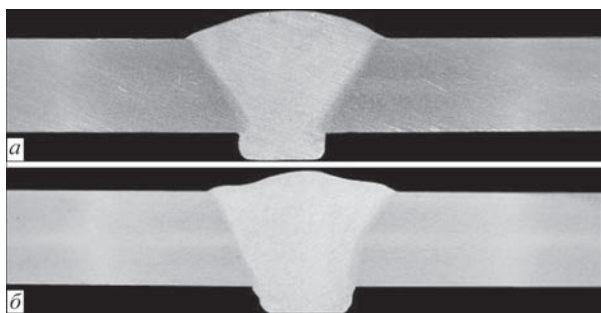


Рис. 13. Поперечные шлифы сварных соединений алюминиевого сплава 5083 толщиной 8 мм, полученные сваркой плавящимся электродом (а) на скорости 5 мм/с и гибридной плазменно-дуговой сваркой (б) плавящимся электродом

го сплава 5083 по сравнению с обычной сваркой плавящимся электродом позволило уменьшить расход сварочных материалов для формирования швов, уменьшить разбрызгивание электродного металла, увеличить скорость сварки, уменьшить ширину шва (рис. 13) и зоны разупрочнения основного металла (рис. 14).

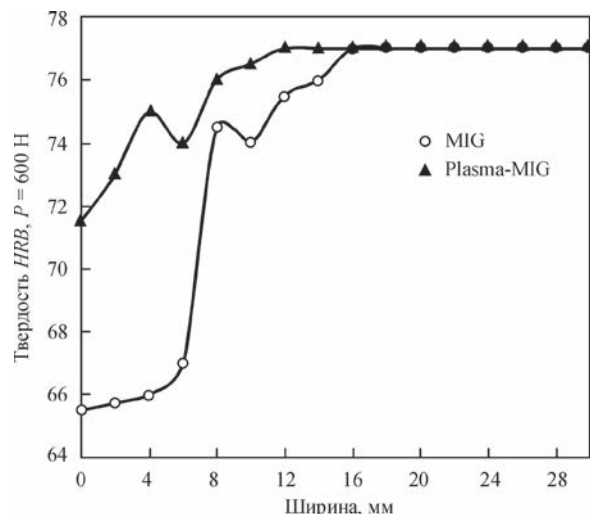


Рис. 14. Распределение твердости в поперечном сечении сварных соединений алюминиевого сплава 5083 толщиной 8 мм, полученных сваркой плавящимся электродом (MIG) на скорости 5 мм/с и гибридной плазменно-дуговой сваркой (Plasma-MIG) плавящимся электродом на скорости 6,7 мм/с

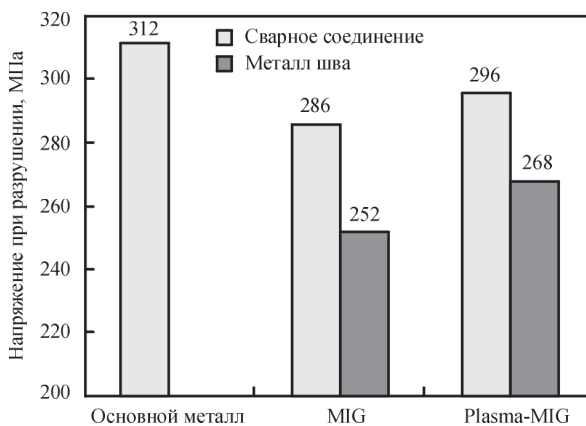


Рис. 15. Прочность плоских образцов основного металла и сварных соединений алюминиевого сплава 5083 толщиной 8 мм, полученных сваркой плавящимся электродом (MIG) на скорости 5 мм/с и гибридной плазменно-дуговой сваркой (Plasma-MIG) плавящимся электродом на скорости 6,7 мм/с

Более концентрированный нагрев и увеличение скорости сварки при гибридной плазменной сварке плавящимся электродом по сравнению со сваркой плавящимся электродом привело к увеличению коэффициента прочности как сварного соединения (с 0,90 до 0,95), так и коэффициента прочности металла шва (с 0,80 до 0,85) (рис. 15).

Выводы

Наиболее перспективным направлением развития плазменно-дуговой сварки алюминиевых сплавов является комбинированное и гибридное использование двух и более источников нагрева при формировании сварного соединения. Это позволяет увеличить скорость сварки, уменьшить разбрызгивание электродного металла, снизить уровень деформаций сварных конструкций. Одним из перспективных направлений является гибридная плазменно-дуговая сварка плавящимся электродом с кольцевым катодом и аксиальной подачей электродной проволоки.

Существует два основных направления создания оборудования для гибридной плазменной сварки плавящимся электродом: создание специализированных установок или создание комплекса оборудования на базе серийно выпускаемых источников питания для сварки неплавящимся и плавящимся электродами. В первую очередь для исследовательских лабораторий перспективно направление создания комплекса оборудования, а не использование специализированных установок. Такой подход позволит более широко использовать заложенные разработчиками возможности источников питания и гибко сочетать разные источники нагрева.

Для заводских условий возможно создание комплекса оборудования исходя из прогнозируемой номенклатуры изделий, т.е. при возможной быстрой смене номенклатуры выпу-

скаемых изделия предоставлять источники питания и программное обеспечение для системы управления с более широкими технологическими возможностями.

Применение гибридной плазменной сварки плавящимся электродом по сравнению с обычной сваркой плавящимся электродом позволяет увеличить производительность процесса, уменьшить расход электродной проволоки, уменьшить ширину зоны разупрочнения основного металла, снизить разбрызгивание и улучшить прочностные характеристики сварных швов.

1. Pat. 3,612,807 US, B23k9/00. Method of and device for plasma arc welding/ Adrianus Christinus Henricus Jozef Liefkens, Wilhelmus Gerardus Essers // U.S. Philips Corporation, 1971.
2. Pat. 3,891,824 US, B23k9/00. Method of Plasma-MIG-Welding / Wilhelmus Gerardus Essers, Gerardus Jelmorini // U.S. Philips Corporation, 1975.
3. Pat. 4,039,800 US, B23k9/00. Method of and device for arc welding / Wilhelmus Gerardus Essers // U.S. Philips Corporation, 1977.
4. Pat. 4,233,489 US, B23k9/00. Method of and device for Plasma MIG-Welding / Wilhelmus Gerardus Essers // U.S. Philips Corporation, 1980.
5. Pat. 4,174,477 US, B23k9/00. Method of and device for arc welding/ Wilhelmus Gerardus Essers, Gerardus Jelmorini, Gerrit Willem Tichelaar // U.S. Philips Corporation, 1979.
6. Pat. 4,039,800 US, B23k9/00. Method of and device for arc welding / Wilhelmus Gerardus Essers // U.S. Philips Corporation, 1977.
7. Pat. 4,147,919 US, B23k9/00. Method and device for Plasma-MIG-Welding / Gerardus Jelmorini // U.S. Philips Corporation, 1979.
8. Pat. 4,048,465 US, B23k9/00. Method and torch for sustaining multiple coaxial arcs / August Frederic Manz // Union Carbide Corporation, 1977.
9. Pat. 2004/0188406A1 US, B23k9/173. Welding torch / Wilhelmus Antonius Johannes Brabader // Troutman Sanders LLP, 2004.
10. Pat. 6,693,252 US, B23k10/00. Plasma MIG welding with plasma torch and with MIG torch / Lin Zhang, Timm Matus // Illinois Tool Works Inc, 2004.
11. Pat. 2005/0199593A1 US, B23k9/12. MIG-Plasma Welding / Georgiy Ignatchenko, Igor Dykhno // Plasma Laser Technologies Ltd, 2005.
12. Hybrid Welding: An alternative to SAW // Welding Journal. – 2007. – № 10. – P. 42–45.
13. Pat. 0168810A1 EP, B23k28/00. Schweißbrenner zum Plasma-MIG-Schweißen/ Peter Bleichert // Suddeutsche Kuehlerfabrik Julius Behr GmbH & Co, 1985.
14. Пат. 1557833A1 СССР, МКИЗ В23К9/16. Плазмотрон для сварки плавящимся электродом / В. И. Каика, А. С. Кутыр, В. М. Мерхин, О. А. Остиловский // Черкасское научно-производственное объединение по защите металлов от коррозии, сварочному и раскройно-заготовительному производству. – 1992. – Бюл. № 40.
15. Пат. 1816250A3 СССР, МКИЗ В23К10/00. Способ плазменной сварки плавящимся электродом и плазмотрон / В. И. Каика, В. Л. Ронский, Л. Г. Кузьменков, Н. И. Шинкаренко, А. А. Ефименко // Черкасское НПО «Прогресс», 1993. – Бюл. № 18.
16. Pat. 10327911A1 2005.01.20 DE, B23k10/02. Plasma-MIG/MAG-Schweißbrenner/ Wilhelm Merkle // Merkle GmbH, 2005.
17. Matthes K.-J. Plasma-MIG-Schweißen / K.-J. Matthes, M. Kusch // Praktiker. – 2000. – № 5. – S. 182–188.
18. Щицын Ю. Д. Плазменная сварка плавящимся электродом алюминиевых сплавов / Ю. Д. Щицын, Ю. М. Тыткин // Сварочное производство. – 1986. – № 5. – С. 1–2.
19. Плазменная сварка алюминиевых сплавов / Ю. Д. Щицын, В. Ю. Щицын, Х. Херольд, [и др.] // Сварочное производство. – 2003. – № 5. – С. 36–42.
20. Макаренко Н. А. Термические циклы при Плазма-МИГ наплавке / Н. А. Макаренко, В. А. Неведомский // Автоматическая сварка. – 2003. – № 1. – С. 45–47.
21. Bai Yan. Droplet transition for plasma-MIG welding on aluminium alloys / Bai Yan, Gao Hong-Ming, Qiu Ling // Trans. Nonferrous Met. Soc. China. – 2010. – Vol. 20 – P. 2234–2239.
22. Tiago Vieira da Cunha. Processo Plasma-MIG – Contribuição do Arco Plasma na Capacidade de Fusão do Arame / Tiago Vieira da Cunha, Jair Carlos Dutra // Soldagem Insp. São Paulo. – 2007. – Vol. 12, № 2. – P. 89–96.
23. Основные тенденции развития плазменно-дуговой сварки алюминиевых сплавов / А. А. Гринюк, В. Н. Коржик, В. Е. Шевченко [и др.] // Автоматическая сварка – 2015. – № 11. – С. 39–50.

Поступила в редакцию 18.04.2016

НОВАЯ КНИГА

ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СВАРКЕ И ОБРАБОТКЕ МАТЕРИАЛОВ. – Киев: Международная Ассоциация «Сварка», 2016. – 98 с. (электронное издание <http://patonpublishinghouse.com/proceedings/ltwmp2015book.pdf>).

Сборник содержит доклады, представленные на Седьмой международной конференции «Лазерные технологии в сварке и обработке материалов», 14–18 сентября 2015 г., Одесса, Украина, в которых отражены последние достижения в области лазерной сварки, резки, наплавки и других современных технологий лазерной обработки материалов. Рассматриваются перспективы применения лазерных технологий. Авторами докладов являются известные ученые и специалисты из нескольких стран мира.

Архив предыдущих шести конференций «Лазерные технологии в сварке и обработке материалов» на сайте:

<http://patonpublishinghouse.com/proceedings/ltwmp>

