



ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОЦЕССОВ ИМПУЛЬСНОЙ ДВУХДУГОВОЙ СВАРКИ В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ (Обзор)

Н. М. ВОРОПАЙ, д-р техн. наук, **В. М. ИЛЮШЕНКО**, канд. техн. наук, **В. А. МИШЕНКОВ**, инж.
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Импульсная двухдуговая сварка отличается отдельной подачей импульсов тока на электрически изолированные плавящиеся электроды, дуги которых образуют общую сварочную ванну. В результате обеспечиваются относительно большой (до 30 кг/ч) коэффициент расплавления электродных проволок, высокая (до 120 м/ч) скорость сварки и благоприятное формирование стыковых и угловых швов. Показаны перспективы дальнейшего развития тандем-процессов дуговой сварки.

Ключевые слова: двухдуговая сварка, импульсы тока, синергетическое управление, защитные газы, источники питания, режимы сварки, формирование швов, свойства сварных соединений

С целью повышения производительности дуговых способов соединения используют многоэлектродную и многодуговую сварку под флюсом [1]. При первом способе сварки электроды подключены к одному источнику питания, при втором — каждый из электродов подсоединен к отдельному источнику питания и электроды электрически изолированы друг от друга. Многодуговая сварка под флюсом широко применяется для получения продольных швов на трубах повышенного диаметра [2–5]. Для улучшения формирования швов при дуговой сварке под флюсом с повышенной скоростью сварочные трансформаторы подключают по схеме, обеспечивающей сдвиг фаз дуговых токов на 120° [4]. Предпринимались попытки достичь стабильности процесса двухэлектродной сварки за счет защиты дуг углекислым газом и питания их от одного источника [6, 7]. Однако из-за электромагнитного взаимодействия между дугами и интенсивного разбрызгивания электродного металла такой способ сварки широкого распространения не получил.

В случае синергетического управления параметрами режимов импульсной двухдуговой сварки для любой скорости подачи электродной проволоки амплитуда и длительность импульсов тока и пауз, а также значения базового тока строго соответствуют скорости плавления электрода [8]. При этом имеет место мелкокапельный перенос электродного металла и минимальное его разбрызгивание. Для реализации этого процесса используют инверторные источники питания. Благодаря синергетическому управлению существенно сокращается время, необходимое для выбора оптимальных режимов сварки. Отметим, что параметры импульсов тока предварительно запрограммированы не только с учетом диаметра и марки проволоки, но и состава защитного газа.

В настоящей работе на основании обобщенных литературных данных и результатов собственных

исследований рассмотрены особенности и технологические возможности процессов импульсной двухдуговой сварки в защитных газах.

Схемы процессов двухэлектродной и двухдуговой сварки в инертных и активных газах и их смесях представлены на рис. 1. В первом случае (рис. 1, а) обе электродные проволоки соединены общим токоподводом и питаются от одного источника; а во втором (рис. 1, б) — электродные проволоки 1 и 2 имеют отдельный токоподвод и питаются от двух самостоятельных источников с устройством для синхронизации их работы. Основой импульсных двухдуговых процессов, разработанных в последние годы [9–15], являются универсальные инверторные источники питания, базирующиеся на микропроцессорном управлении параметрами импульсов тока и скоростью подачи электродных проволок; последние располагаются в общем газозащитном сопле.

В современном оборудовании для импульсной двухдуговой сварки предусмотрен прецизионный

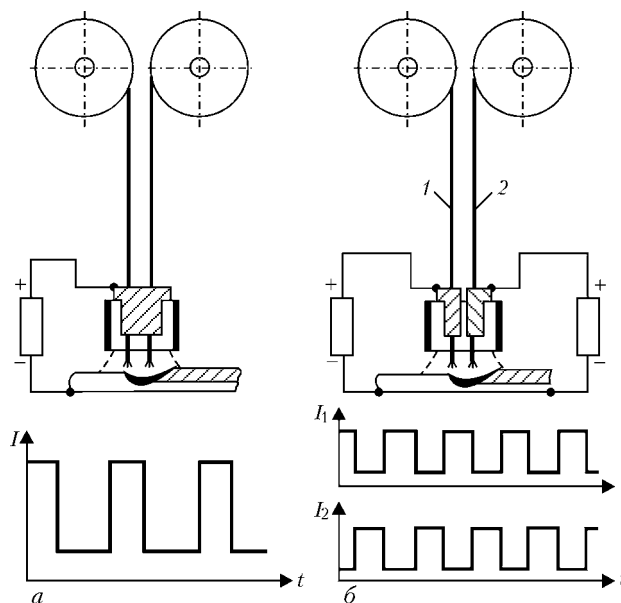


Рис. 1. Схема импульсных процессов сварки расщепленным электродом (а) и двумя дугами (б): 1, 2 — см. объяснения в тексте

принцип поджига обеих дуг [9–14]. Сначала импульс тока подают на один электрод. Возбуждение второй дуги происходит позже. При необходимости процесс сварки может начинаться двумя дугами, горящими одновременно. Такие же технологические возможности имеются и при прекращении сварки. Параметры режимов сварки с момента поджига дуг до окончания процесса непрерывно контролируют и записывают. Управление основными блоками оборудования производят по тридцати и более программам. Инверторные источники питания при двухдуговой сварке и продолжительности включения ПВ = 100 % обеспечивают номинальный сварочный ток до 1000 А. Скорость подачи электродных проволок достигает 800 м/ч.

Коэффициент расплавления электродных проволок $K_{р.э}$ при двухдуговой сварке под флюсом равен 20...23 кг/ч на токах 800...1000 А (рис. 2, область 1) [15]. В случае импульсной двухдуговой сварки в защитных газах он достигает 25 кг/ч и более при токах 800 А (рис. 2, область 2). Существенно меньшие значения коэффициентов расплавления электродных проволок сплошного сечения и порошковых имеют место при однодуговой сварке в защитных газах (рис. 2, области 3 и 4). Так, $K_{р.э}$ для проволоки сплошного сечения составляет 10...15 кг/ч при токах 300...500 А. При таком же значении $K_{р.э}$ для порошковых проволок требуется меньший сварочный ток [15].

За счет продольного расположения электродных проволок (рис. 3, а) уменьшается ширина швов и увеличивается глубина проплавления основного металла [14]. Противоположные результаты получены в случае поперечного расположения электродных проволок (рис. 3, в). При расположении электродных проволок под углом 45° к оси шва (рис. 3, б) получают швы средней ширины и глубины проплавления, кроме того, уменьшается вероятность образования прожогов в стыковых и нахлесточных соединениях.

Фирма «Клосс» (Германия) разработала горелку для сварки плавящимся электродом в инертном и активном газах двумя проволоками [16]. Сварочный ток подают от источника GLC 853 с компьютерной системой управления на импульсном и постоянном режимах (соответственно $I_{св} \leq 1500$ и $I_{св} \leq 850$ А). Скорость подачи обеих проволок регулируют отдельно. Скорость сварки металла толщиной 2...3 мм достигает 360 м/ч. На металле большей толщины при производительности расплавления 24 кг/ч возможно выполнение углового шва катетом 8 мм в один проход со скоростью 48 м/ч.

Система фирмы «Кука» (Германия) для дуговой роботизированной сварки в активном газе двумя электродными проволоками позволяет в 2 раза увеличить скорость сварки [17]. При этом одна из используемых проволок должна быть большего диаметра.

Эффективность дуговой сварки плавящимся электродом в инертном и активном газах авторы [18] связывают с использованием двух расщепленных электродных проволок. Их одновременное расплавление увеличивает производительность сва-

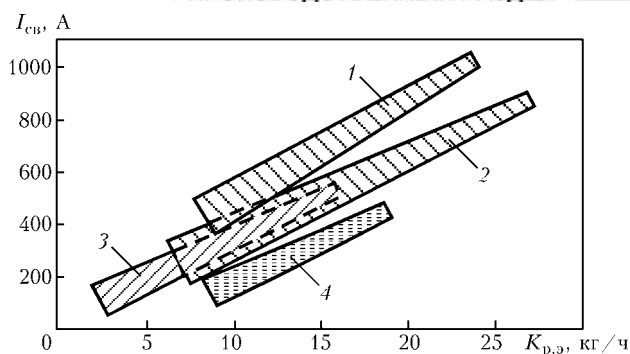


Рис. 2. Зависимости коэффициента расплавления электродных проволок $K_{р.э}$ от сварочного тока: 1, 2 — двухдуговая сварка под флюсом (1) и в защитных газах (2); 3, 4 — однодуговая сварка в защитных газах соответственно проволокой сплошного сечения и порошковой

рочного процесса в 2 раза. Однако при этом возникает ряд серьезных проблем. Если вместо двухэлектродной сварки применить двухдуговую от двух отдельных источников тока, то разбрызгивание металла уменьшается. Кроме того, при высокой скорости сварки можно улучшить внешний вид соединений. В качестве источников питания рекомендуют два инвертора TPS 450 (сварочный ток составляет 900 А при ПВ = 100 %).

Для импульсной двухдуговой сварки плавящимися электродами в защитных газах создана установка на базе источника питания ОИ-126, состоящая из сварочного трансформатора, тиристорного силового блока, блока управления, панелей переключения режимов работы и распределения импульсов тока [19]. Электрическая схема установки позволяет осуществлять отдельную подачу по заданной программе одно- и разнополярных импульсов тока на оба электрода и обеспечивает плавное нарастание и снижение сварочного тока. Подачу электродных проволок диаметром 1,2...2,0 мм выполняют с помощью отдельных приводов. По сравнению с традиционными тех-

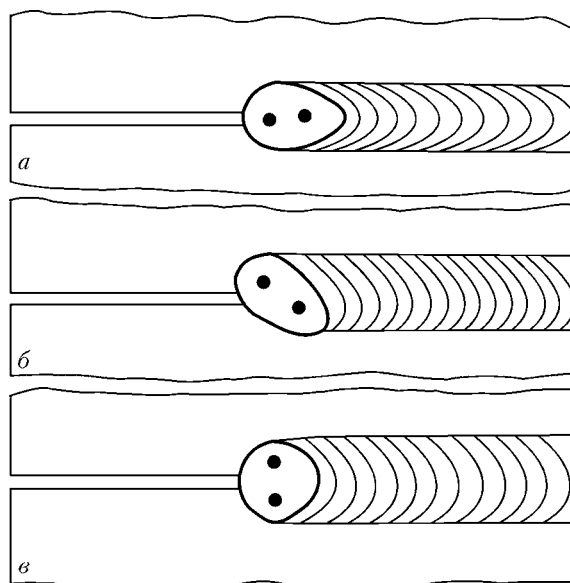


Рис. 3. Схема расположения электродных проволок при двухдуговой сварке: а — продольное; б — под углом 45°; в — поперечное



нологиями выявлены следующие преимущества рассматриваемого процесса сварки: полное исключение электромагнитного взаимодействия между дугами, образующими общую ванну; уменьшение ширины зоны термического влияния (ЗТВ); качественное формирование швов без технологических подкладок; повышение хладостойкости металла сварных соединений низколегированных сталей повышенной прочности.

Технологические особенности двухдуговой сварки алюминиевых сплавов плавящимися электродами с применением двух импульсных источников питания TPS 2700 и TPS 450 производства австрийской фирмы «Фрониус» описаны в работе [20]. Показано, что при одинаковом сварочном токе на каждом из электродов двухдуговая сварка алюминиевых сплавов по сравнению с обычной однодуговой позволяет повысить глубину проплавления металла и уменьшить высоту выпуклости шва. По мнению авторов, двухдуговую импульсную сварку следует применять с целью предотвращения прожогов тонколистового металла при скоростной автоматизированной однопроходной сварке стыковых и замковых соединений. Этот способ сварки приемлем также для выполнения тавровых и нахлесточных соединений, когда необходимо получить большие катеты швов и требуется глубокое проплавление металла.

Импульсная двухдуговая сварка алюминиевых сплавов имеет следующие технологические особенности [20]: расход защитного газа-аргона до 15 л/мин; диаметр электродных проволок 1,2 мм; расстояние между проволоками 8...10 мм; частота импульсов тока 45...200 Гц; их длительность 1...3 мс и амплитуда 380...520 А; скорость подачи проволоки 780 м/ч.

Для сварки и наплавки литейных алюминиевых сплавов используют одновременно проволоки двух разных марок — СвАК5 и Св-1201.

Трехдуговую сварку в защитных газах одним расщепленным вертикальным и одним наклонным электродами выполняли от двух отдельных источников питания (рис. 4). Такой процесс целесообразно применять при сварке стыковых швов для уменьшения глубины провара при выполнении первого слоя или наплавочных работ. Минимальное расстояние между дугами определяет длину и ши-

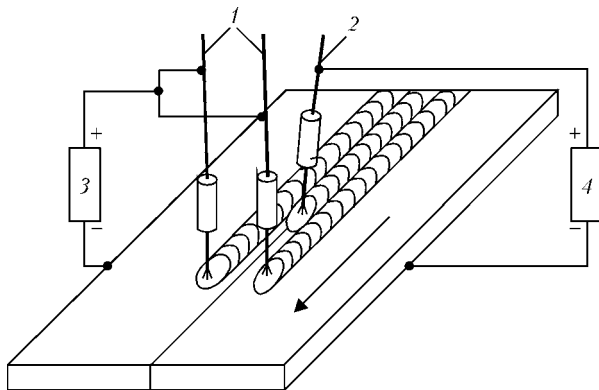


Рис. 4. Схема комбинированного процесса сварки в смеси газов $Ar + 20\% CO_2$ расщепленным (1) и наклонным (2) электродами от двух источников питания (3, 4)

рину сварочной ванны, а максимальное — качество формирования швов и наплавленного металла. Различают две разновидности трехдуговой сварки — в общую сварочную ванну и в отдельные ванны. В последнем случае соседняя дуга расплавляет уже закристаллизовавшийся слой, полученный с помощью предыдущей дуги.

Для повышения экономических показателей при строительстве нефте- и газопроводов в условиях севера Научно-техническим центром сварки Кренфильдского университета в Англии использована импульсная двухдуговая сварка плавящимся электродом в защитных газах [21]. Специалисты университета в качестве сварочного оборудования для данных целей выбрали систему, разработанную фирмой «Фрониус». Она включает источники питания TPS-4000R, устройства для подачи проволоки VR1500 и специальные сварочные программы. Сварочные источники обеспечиваются питанием от дизель-генератора. Каждая сварочная установка оснащена двумя горелками с дугами, последовательно расположенными и находящимися друг от друга на расстоянии 70 мм. Сварка с использованием двух пар дуг позволяет выполнять кольцевые швы на скорости до 20 м/ч, в частности, при строительстве Аляскинского трубопровода. Для осуществления традиционной технологии однодуговой сварки требовалось 19 сварочных станций. Для выполнения двухдуговой сварки с использованием оборудования фирмы «Фрониус» необходимо только четыре станции, что обеспечивает экономию в 150 млн дол. США.

Сущность комбинированного плазменно-дугового процесса, предложенного в работе [22], состоит в том, что при подключении дополнительной дуги между плазмой и плавящимся электродом происходит перераспределение тока от источника питания плавящегося электрода, в результате чего увеличивается ток в плавящемся электроде, уменьшается тепловложение в основной металл и происходит более интенсивное расплавление электродной проволоки. При наличии дежурной дуги повышается стабильность горения промежуточной дуги между плазмотроном и проволокой. Однако для указанного процесса характерны нестабильная скорость плавления электродной проволоки, повышенное разбрызгивание металла и неблагоприятное формирование швов.

Перечисленных недостатков лишен процесс точечной плазменно-дуговой сварки с отдельным регулированием проплавления изделия и заварки кратера [23]. Установлено [24], что оптимальные параметры режима сварки (сварочный ток, напряжение на дуге, расход плазмообразующего газа, время горения плазмы и дуги) должны быть заранее запрограммированы в зависимости от толщины свариваемого металла, диаметра электродной проволоки, расхода и типа защитного газа. Качественные нахлесточные соединения металла толщиной до 5 мм можно получить в результате сквозного проплавления верхнего листа плазмой и последующего сплавления его с нижним элементом за счет использования дуги с плавящимся элект-

тродом. Длительность чередующихся импульсов тока плазмы и дуги составляет 3...12 с.

В Германии разработана специализированная установка PSW-500 для точечной плазменной и дуговой сварки без использования присадочной проволоки [25]. Установка имеет существенные преимущества по сравнению с оборудованием для контактной точечной и лазерной сварки — меньшая стоимость оборудования и возможность одностороннего подхода к свариваемому изделию. Точечные швы получают за счет расплавления верхнего и нижнего элементов нахлесточного соединения. Плазменная дуга расплавляет деталь чередующимися импульсами тока. Специальная фокусировка дуги позволяет уменьшить ширину ЗТВ. Установка пригодна для сварки углеродистых и легированных сталей, алюминия, меди и их сплавов толщиной до 2,5 мм. Сварку можно производить вручную, автоматами и роботами. Роботизированная установка с устройством для точечной плазменной сварки успешно применяется при серийном изготовлении металлоконструкций, состоящих из полых гнутых и штампованных элементов [26].

В ИЭС им. Е. О. Патона разработан комбинированный способ двухдуговой сварки и наплавки, предусматривающий поочередное и раздельное формирование дуг при неплавящемся и плавящемся электродах с образованием общей ванны расплавленного металла [27]. Дугу с неплавящимся (вольфрамовым) электродом питают импульсами тока разной полярности с преобладанием составляющей прямой полярности. Роль дуги на неплавящемся электроде сводится к проплавлению основного металла на заданную глубину. Под действием импульсов тока обратной полярности происходит расплавление плавящегося электрода и катодная очистка поверхности металла от оксидных плен. Отработана технология импульсной двухдуговой наплавки поршней из алюминиевых сплавов различных систем легирования, применяемых в автомобильных и тракторных двигателях внутреннего сгорания [28]. Легирование наплавленного металла обеспечивает существенное увеличение его износостойкости. Моторесурс наплавленных поршней повышается в 2,0...2,5 раза в сравнении с неупрочненными поршнями.

Предложен также оригинальный способ микроплазменной сварки разнополярными импульсами тока [29]. Он заключается в том, что с целью катодного разрушения оксидных плен на свариваемом металле на сопло плазмотрона подают положительные относительно изделия импульсы напряжения. В промежутке между ними на вольфрамовый электрод поступают отрицательные импульсы, под действием которых между электродом и изделием формируется плазменная дуга прямой полярности. Плазмообразующий газ (аргон) подают в кольцевой зазор между вольфрамовым электродом и соплом; защитный газ (как правило, гелий) — в зазор между плазмообразующим и защитным соплом. Данный способ применяют при сварке алюминиевых сплавов малой толщины. Эффективной оказалась технология высокопроизвод-

ительной широкоослойной наплавки несколькими электродными проволоками и лентами [30].

Перечисленными примерами далеко не ограничиваются технологические возможности и сферы использования импульсной двухдуговой сварки. В перспективе следует ожидать новых разработок в области высокоэффективных тандем-процессов сварки и средств их реализации.

Выводы

1. Особенности процессов импульсной двухдуговой сварки плавящимися электродами в инертных газах и смесях газов определяются независимым и поочередным питанием дуг импульсами тока регулируемой амплитуды, длительности и частоты. Предусмотрена раздельная подача электродных проволок и горение дуг в общей сварочной ванне при продольном, наклонном либо поперечном расположении электродов.

2. Основой процессов импульсной двухдуговой сварки являются инверторные источники питания с синергетической системой управления параметрами режимов и двухэлектродной горелкой. Последнее позволяет плавно регулировать расстояние между осями токоподводящих мундштуков. Оптимальные режимы двухдуговой сварки заранее запрограммированы с учетом марки и диаметра электродной проволоки, расхода и состава защитного газа. Синергетическое управление в настоящее время реализовано только для импульсно-дуговой сварки плавящимися электродами в инертных газах и их смесях без коротких замыканий дугового промежутка.

3. Применительно к углеродистым и легированным сталям выявлены следующие технологические преимущества импульсной двухдуговой сварки: увеличение глубины проплавления основного металла; уменьшение ширины ЗТВ; улучшение формирования швов на больших скоростях; повышение механических свойств сварных соединений. Недостатком импульсной двухдуговой сварки в защитных газах является повышенная излучательная способность дуг, а также более высокая стоимость сварочного оборудования и значительные затраты на его эксплуатацию и ремонт.

1. *Технология* электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. Б. Е. Патона. — М.: Машиностроение, 1974. — 768 с.
2. *Мандельберг С. Л.* Многодуговая сварка на повышенных скоростях с колебанием электрода поперек шва // *Автомат. сварка.* — 1965. — № 2. — С. 8–13.
3. *Мандельберг С. Л.* Магнитное взаимодействие дуг при двухдуговой сварке с повышенной скоростью // *Там же.* — 1966. — № 4. — С. 30–36.
4. *Патон Б. Е., Мандельберг С. Л., Сидоренко Б. Г.* Некоторые особенности формирования швов при сварке с повышенной скоростью // *Там же.* — 1971. — № 8. — С. 1–6.
5. *Сидоренко Б. Г., Мандельберг С. Л.* Выбор оптимального числа электродов при многодуговой сварке с повышенной скоростью // *Там же.* — 1988. — № 2. — С. 53–55.
6. *Мандельберг С. Л., Богачек Ю. Л.* Двухдуговая сварка в углекислом газе // *Там же.* — 1968. — № 9. — С. 72–73.
7. *Файнберг Л. И., Рыбаков А. А., Мандельберг С. Л.* Двухдуговая сварка в углекислом газе с повышенной скоростью // *Там же.* — 1975. — № 2. — С. 35–38.
8. *Воропай Н. М., Илюшенко В. М., Ланкин Ю. Н.* Особенности импульсно-дуговой сварки с синергетическим уп-

- равлением параметрами режимов (Обзор) // Там же. — 1999. — № 6. — С. 26–32.
9. *TIME TWIN* — высокопроизводительный способ сварки // Там же. — 2003. — № 4. — С. 39–42.
 10. *Новый* технологический процесс фирмы «Фрониус» // Там же. — 1988. — № 2. — С. 69–70.
 11. *MIG/MAG* — Hochleistungsschweissen mit TANDEM Technik // Schweiss. und Prüftechnik. — 1996. — № 9. — С. 150.
 12. *Hackl H.* TIME TWIN — Schneller MSG — Schweißen mit zwei Drahtelektroden // Ibid. — 1997. — № 5. — С. 71–73.
 13. *Технологические* возможности процесса сварки алюминиевых сплавов встречными дугами / А. Я. Ищенко, Н. М. Воропай, В. П. Будник, В. А. Мищенко // Автомат. сварка. — 2000. — № 1. — С. 43–45.
 14. *Killing R.* Das MAG — Mehrdrahtschweissen // Praktiker. — 1997. — № 6. — С. 243–245.
 15. *Andersson I., Tolf I., Hedegard I.* Tandem MIG-MAG Vaxsig starkare // Svetsen. — 2004. — № 2. — P. 7–11.
 16. *Soldadura MIG/MAG con doble hilo* // Met. y elec. — 1996. — № 60, № 6. — P. 44–45.
 17. *Kuka two-wire MAG welding system doubles welding speeds* // Ind. Robot. — 1996. — № 23, № 6. — P. 42.
 18. *Bessere* Schweibqualitat // Stahlmarkt. — 1997. — № 47, № 7. — S. 52.
 19. *Воропай Н. М., Проценко П. П.* Особенности формирования швов в ЗТВ при импульсной двухдуговой сварке в защитных газах низколегированных сталей повышенной прочности // Автомат. сварка. — 2000. — № 8. — С. 41–47.
 20. *Ищенко А. Я., Машиш В. С., Пащуля М. П.* Технологические особенности двухдуговой импульсной сварки плавящимися электродами алюминиевых сплавов // Там же. — 2005. — № 1. — С. 14–18.
 21. *Автоматизированная* сварка трубопроводов // Там же. — 2005. — № 1. — С. 52–56.
 22. *Zhang M., Jiang M., Lu W.* Double electrodes improve GMAW heat input control // Welding J. — 2004. — № 11. — P. 39–41.
 23. *Воропай Н. М.* Особенности процессов дуговой точечной сварки в защитных газах (Обзор) // Автомат. сварка. — 2004. — № 7. — С. 28–33.
 24. *Воропай Н. М., Илюшенко В. М., Мищенко В. А.* Комбинированный процесс точечной плазменно-дуговой сварки // Сварщик. — 2004. — № 4. — С. 26, 27, 29.
 25. *Plasmapunktschweiben* mit dem Plasma Spot Welder // Schweiss. und Schneid. — 2003. — № 5. — S. 224–225.
 26. *Plasmapunktschweiben* im Serieneinsatz // Ibid. — 2004. — № 12. — S. 642–643.
 27. *Воропай Н. М., Лесных В. В., Мищенко В. А.* Двухдуговая наплавка алюминиевых поршней комбинированным неплавящимся и плавящимся электродом // Автомат. сварка. — 1996. — № 6. — С. 21–25.
 28. *Воропай Н. М., Лесных В. В., Мищенко В. А.* Комбинированный процесс двухдуговой сварки и наплавки неплавящимся и плавящимся электродами // Там же. — 1994. — № 4. — С. 56–57.
 29. *Патон В. Е., Воропай Н. М., Гвоздецкий В. С.* Комплекс оборудования для механизированной микроплазменной сварки сотовых алюминиевых металлоконструкций // Там же. — 2002. — № 3. — С. 36–40.
 30. *Рябцев И. А.* Высокопроизводительная широкослойная наплавка электродными проволоками и лентами (Обзор) // Там же. — 2005. — № 6. — С. 36–40.

The paper deals with the features of gas-shielded pulsed twin-arc welding processes, which consist in separate feed of current pulses on electrically insulated electrode, the arcs of which form a common weld pool. These processes ensure a high coefficient of electrode wire melting, high welding speed, and favourable weld formation. The processes are based on inverter power sources with a synergic control of mode parameters. Longitudinal arrangement of electrode wires leads to narrower welds and deeper penetration. Opposite results have been achieved at transverse arrangement of electrode wires. Examples are given of practical application of different processes of gas-shielded pulsed twin-arc welding processes.

Поступила в редакцию 22.03.2005

ВЫСОКОПРОЧНАЯ ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННАЯ СТАЛЬ ДЛЯ МОСТОВЫХ И СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В течение ряда лет ИЭС им. Е. О. Патона, Украинский НИИ конструкционных материалов, ОАО «Азовсталь» совместно проводят работу по созданию новой стали для мостовых и других строительных металлоконструкций. С учетом возможности сырьевых ресурсов Украины разработанная безникелевая сталь должна была обеспечить отечественное мостостроение материалом высокой прочности, быть конкурентоспособной на мировом рынке, а также гарантировать показатели на уровне требований зарубежных стандартов.

Комплекс исследований по отработке оптимального химического состава стали позволил понизить в ней содержание углерода (не более 0,09%), ограничить содержание серы и фосфора (в сумме не более 0,03%) и компенсировать отсутствие никеля введением микродобавок карбидо- и нитридообразующих элементов.

В разработанной стали достигнуто сочетание высокой прочности и ударной вязкости, а также хорошей свариваемости за счет ограничения содержания углерода и серы, микролегирувания ниобием, ванадием и молибденом в оптимальном соотношении, модифицирующей обработки кальцийсодержащими реагентами, максимального фрагментирования структуры при термоулучшении или термической обработке.

Контакты: 03680, Украина, Киев-150, ул. Боженко, 11
 Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины
 Отд. № 48, Ковтуненко В. А.
 Тел./факс: (38044) 287 62 13, 529 06 07
 E-mail: paton48@paton.kiev.ua