



ОДНО- И МНОГОПОСТОВЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ НЕПОВОРОТНЫХ СТЫКОВ ТРУБОПРОВОДОВ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ*

Н. М. МАХЛИН, инж., **А. Е. КОРОТЫНСКИЙ**, д-р техн. наук, **В. А. БОГДАНОВСКИЙ**, инж.
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),
И. А. ОМЕЛЬЧЕНКО, инж. (Экспертный центр «Транссервисинжиниринг», г. Киев),
А. А. СВИРИДЕНКО, инж. (ОАО «ЧеЗаРа», г. Чернигов)

Описаны работы, выполненные в ИЭС им. Е. О. Патона, по созданию и производству орбитальных комплексов для автоматической сварки стыков трубопроводов диаметром 8...76 мм. Комплексы нашли применение при ремонтах оборудования энергоблоков атомных электростанций Украины.

Ключевые слова: дуговая сварка, сварка TIG, неплавящийся электрод, присадочная проволока, неповоротные стыки трубопровода, одно- и многопостовые системы, автоматическая сварка, системы управления

Трубопроводы энергоблоков АЭС являются базовыми элементами технологических цепочек АЭС [1]. Согласно правилам и нормам в атомной энергетике трубопроводы, работающие преимущественно в условиях воздействия на них (во многих случаях одновременного) высоких температур, остаточных напряжений и повышенного давления коррозионно-агрессивного теплоносителя, выделены в отдельную группу устройств по их влиянию на надежность и безопасность АЭС [1, 2]. Выполняемые трубопроводами энергоблоков АЭС функции, сложность условий их эксплуатации, затесненность в местах проведения сварочных работ и ограниченность доступа к этим местам обуславливают высокие требования к качеству, прочности и коррозионной стойкости сварных соединений таких трубопроводов [1–3]. Трудозатраты на сварку стыков трубопроводов энергоблоков АЭС составляют до 40 % всех трудозатрат на монтаж АЭС и до 60 % общих трудозатрат на сварочные работы при монтаже энергоблоков. Основной объем работ (до 80 %) приходится на сварку стыков трубопроводов диаметром менее 100 мм. До 60 % общего количества стыков составляют стыки трубопроводов из аустенитных сталей [1, 4, 5].

Большинство сварных соединений трубопроводов энергоблоков АЭС представляет собой не-

поворотные стыки, доминирующими способами сварки которых являются ручная аргодуговая сварка (TIG) с использованием присадочного материала и автоматическая орбитальная сварка неплавящимся электродом с подачей присадочной проволоки или без нее.

Ручная сварка TIG с использованием присадочного материала характеризуется относительно высокой технологической гибкостью, благодаря чему этот способ сварки нашел применение при монтаже и особенно при ремонте трубопроводов энергоблоков АЭС. Для осуществления ручной сварки TIG трубопроводов и другого оборудования энергоблоков в основном используют многопостовые сварочные системы (МСС) и значительно реже однопостовые специализированные установки для сварки TIG. Вместе с тем ручной сварке TIG присущ ряд существенных недостатков:

— привлечение большого количества высококвалифицированных сварщиков для выполнения значительного объема сварочных работ в сжатые сроки (например, при монтаже только одного энергоблока с реактором типа ВВЭР необходимо провести сварку не менее 41000...60000 стыков трубопроводов диаметром не более 100 мм) [5];

— не достигается требуемый уровень качества сварных соединений, вследствие чего уровень их дефектности при сдаче с первого предъявления составляет 15...45 %, что обуславливает необходимость ремонта дефектных стыков и в связи с этим неизбежность существенных дополнительных трудозатрат [4–6];

— машинное время при сварке TIG стыков трубопроводов (продолжительность горения дуги) обычно составляет не более 20 %, что не позволяет достигнуть необходимой производительности сварочного поста [6].

* Настоящая работа выполнена в рамках и при поддержке научно-технического проекта НАН Украины (2008) «Розробка та виготовлення орбітальних комплексів для автоматичного зварювання стиків трубопроводів діаметром 8...76 мм для планового ремонту ядерних реакторів атомних електростанцій (АЕС) України».



В отличие от ручной сварки TIG способ автоматической орбитальной сварки неплавящимся электродом (GTAW) обеспечивает:

- стабильно высокое качество и эксплуатационную надежность сварочных соединений трубопроводов (при GTAW без присадочной проволоки уровень дефектности при сдаче с первого предъявления не превышает 4 %, с присадочной проволокой — 7 %);

- повышение не менее чем в 4 раза производительности сварочных работ;

- значительное сокращение продолжительности обучения оператора автоматической сварки (несколько месяцев) по сравнению с продолжительностью подготовки высококвалифицированного сварщика ручной сварки TIG (несколько лет) [4–7].

Опыт эксплуатации выполненных с помощью орбитальных автоматов ОДА (разработки НИКИМТ) сварных соединений, водяных и пароводяных коммуникаций реакторов РБМК-1000, давно отработавших свой расчетный срок службы без единого ремонта, убедительно свидетельствует о том, что наибольший эффект от применения сварки GTAW достигается в результате многократного сокращения затрат на ремонт сварных соединений трубопроводов в период их эксплуатации [7].

Наиболее успешно сварка GTAW с использованием орбитальных автоматов серии ОДА и других моделей разработки НИКИМТ была применена при монтаже и ремонте трубопроводов энергоблоков АЭС с канальными реакторами типа РБМК, при этом уровень автоматизации сварочных работ достигал 60 % [1, 4, 6, 7].

В настоящее время в России, Украине и ряде других стран сооружаются и в обозримом будущем будут сооружаться энергоблоки АЭС в основном с реакторами типа ВВЭР и БН, при монтаже которых уровень автоматизации сварки трубопроводов пока не превышает нескольких процентов, что объясняется рядом объективных и субъективных причин. Среди них — отсутствие или недокомплект современных орбитальных автоматов, рассчитанных на типоразмеры трубопроводов, применяемых в конструкциях отечественных энергоблоков АЭС, а также оборудования, приспособлений и оснастки для качественной подготовки стыков трубопроводов под GTAW сварку; сложившиеся технологии монтажа трубопроводов диаметром до 100 мм, в соответствии с которыми такие трубопроводы в отсутствие их рабочих чертежей монтируются по месту, без укрупнения в блоки; недостаточное распространение таких прогрессивных технологий монтажа трубопроводов, как пакетный и кассетный способы монтажа, предварительная обвязка трубопроводами монтируемого теплотехнического оборудо-

вания и др., при которых применение сварки GTAW монтажных стыков наиболее эффективно; отсутствие промышленного изготовления оборудования для сварки GTAW, рассчитанного на питание от широко используемых на монтаже систем централизованного энергоснабжения сварочных постов [1, 4, 5, 8].

Сегодня на рынке сварочного оборудования имеется широкий выбор орбитальных автоматов, разработанных и изготавливаемых фирмами из стран дальнего зарубежья, например, «POLYSUUDE» (Франция), ESAB (Швеция) и др. Однако они требуют значительных эксплуатационных расходов и, по мнению ведущих специалистов в области автоматической орбитальной сварки, заметно уступают даже ранее разработанным НИКИМТом автоматам (например, серии ОДА) по ресурсу машинного времени, адаптированности к размерам и межтрубным расстояниям трубопроводов отечественных энергоблоков, технологическим возможностям (в дальнем зарубежье до сих пор не освоены способы сварки стыков тонкостенных трубопроводов малых диаметров методами автоопрессовки или последовательного проплавления), способу охлаждения горелочного узла (все зарубежные модели орбитальных автоматов предполагают жидкостное охлаждение), ремонтпригодности составных частей автоматов [1].

Принимая во внимание масштабы развития атомной энергетики за счет модернизации и продления ресурса действующих и строительства новых энергоблоков АЭС с реакторами типа ВВЭР, применение сварки GTAW для выполнения более 120 тыс. сварных соединений трубопроводов на каждом энергоблоке представляется безальтернативным, а разработка и освоение промышленного производства современных отечественных орбитальных автоматов, особенно для сварки трубопроводов малых (до 100 мм) диаметров, и оснащение монтажных организаций и ремонтных подразделений АЭС такими автоматами и оборудованием для подготовки под сварку становятся все более актуальными задачами.

Определенную часть этих задач позволяют решить разработанные в ИЭС им. Е. О. Патона однопостовые автоматы АДЦ 625 УЗ.1, АДЦ 626 УЗ.1 и АДЦ 627 УЗ.1 для орбитальной сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов без присадочной проволоки неповоротных стыков трубопроводов диаметром от 8 до 76 мм с толщиной стенки до 4 мм из сталей аустенитного или перлитного классов и высоколегированных сплавов в условиях монтажа и ремонта объектов энергетики, в том числе АЭС и ТЭС, а также в других отраслях промышленности.

Основные технические характеристики автоматов АДЦ 625УЗ.1, АДЦ 626УЗ.1 и АДЦ 627УЗ.1 приведены в таблице, а структурная схема авто-



Основные технические характеристики автоматов АДЦ 625 УЗ.1, АДЦ 626 УЗ.1 и АДЦ 627 УЗ.1

Параметр	Значение		
	Обозначение автомата		
	АДЦ 627 УЗ.1	АДЦ 625 УЗ.1	АДЦ 626 УЗ.1
Диаметр свариваемых труб, мм	8...24	18...42	42...76
Пределы регулирования скорости сварки, м/ч	1...20		
Диаметр вольфрамового электрода (марок ВЛ, ВИ или ВТ), мм	1,6	2,0; 3,0	
Наибольшее радиальное перемещение горелки, мм	15	16	20
Наибольшее перемещение горелки поперек стыка, мм	±0,10	±5,0	
Охлаждение горелки	Газовое		
Пределы регулирования сварочного тока, А	8...250		
Пределы регулирования напряжения дуги, В	9...18		
Точность поддержания сварочного тока, %, не хуже	±0,2		
Точность поддержания напряжения дуги, В, не хуже	±0,20	±0,15	
Расположение электропривода вращения планшайбы	Параллельно продольной оси трубы		
Радиус вращающихся частей, мм, не более	60	65	80
Способ стабилизации длины дуги	Механический копир	АРНД	
Количество проходов дуги	1...4		
Масса головки сварочной, кг, не более			
Потребляемая электрическая мощность (при сварочном токе 250 А), кВт·А, не более	5,7		

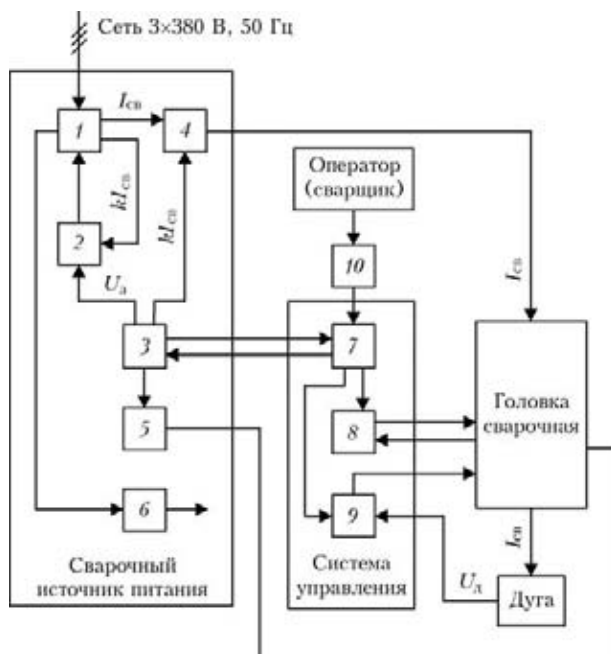


Рис. 1. Структурная схема орбитальных автоматов АДЦ 625 УЗ.1, АДЦ 626 УЗ.1 и АДЦ 627 УЗ.1: 1 — силовой блок сварочного источника питания; 2 — ШИМ-контроллер; 3 — блок управления сварочного источника питания; 4 — блок возбуждения дуги; 5 — газовая аппаратура; 6 — блок питания цепей управления; 7–9 — соответственно контроллер цикла сварки, привода вращения и АРНД; 10 — пульт управления выносной (пульт оператора)

матов — на рис. 1. В состав каждого из автоматов входят многофункциональный источник питания ИЦ 616 УЗ.1 для сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов, блок контроллера (система управления) ИЦ 616.20.00.000, пульт управления выносной (пульт оператора) ИЦ 616.30.00.000, одна из головок сварочных АДЦ 627.03.00.000, АДЦ 625.03.00.000 или АДЦ 626.03.00.000 соответственно и коллектор АДЦ 625.07.00.000.

Источник питания ИЦ 616 УЗ.1 обеспечивает:

- формирование необходимых для процесса сварки ТИГ вертикальных («штыковых») внешних вольт-амперных характеристик (ВАХ);

- предустанов значений сварочного тока и временных составляющих цикла сварки по сварочному току и подаче инертного газа (длительностей интервалов времени «газ до сварки», «плавное нарастание сварочного тока», «прогрев», «плавный спад сварочного тока», «газ после сварки»);

- бесконтактное возбуждение сварочной дуги высоковольтным пробоем дугового промежутка;

- стабилизацию заданных значений сварочного тока и временных параметров цикла сварки при воздействии внешних возмущений (колебаний напряжения питающей сети, изменений длины дугового промежутка и т. п.);

— возможность реализации режимов автоматической шагоимпульсной сварки, ручной и автоматической сварки модулированным током, а также циклов сварки в режимах 2Т, 4Т и в специальном режиме 4Т-I;

— возможность дистанционного управления.

Силовой блок 1 (рис. 1) источника питания включает силовой разделительный трансформатор и силовой низковольтный выпрямитель, регулируемый преобразователь постоянного тока понижающего типа (конвертор DC-DC) и датчик сварочного тока. Основным узлом тракта управления конвертора DC-DC является ШИМ-контроллер 2, на управляющий вход которого с блока управления 3 поступает сигнал, пропорциональный напряжению задания (установки) сварочного тока, а на информационный вход — сигнал, пропорциональный сварочному току. Сварочный ток регулируется путем изменения напряжения задания (уставки), при этом сварочный ток и напряжение его задания связаны прямой линейной зависимостью. Стабилизация заданного значения сварочного тока обеспечивается за счет использования отрицательной обратной связи по сварочному току.

Блок управления 3 сварочного источника питания вырабатывает сигналы, с помощью которых осуществляется управление включением и автоматическим выключением блока возбуждения дуги 4 источника питания; формирование, регулирование и поддержание в процессе сварки заданных значений всех уставок и временных параметров токовой составляющей цикла сварки для режимов и стадий процесса сварки; управление газовой аппаратурой 5 источника питания, что обеспечивает управление и регулирование временных параметров газовой составляющей цикла сварки; формирование сигналов управления, необходимых для функционирования входящего в состав системы управления автомата контроллера цикла сварки 7.

Блок возбуждения дуги 4 представляет собой вольтдобавочное устройство, выходная цепь которого включена последовательно в сварочный контур между выходом силового блока источника питания 1 и электродом горелки, установленной в головке сварочной автомата, и предназначен для генерирования импульсов высокого напряжения, инжектируемых в дуговой промежуток для осуществления бесконтактного возбуждения сварочной дуги в начальной стадии процесса сварки.

Блок питания 6 источника питания обеспечивает формирование стабилизированных и нестабилизированных напряжений постоянного тока, а также пониженных напряжений переменного тока, необходимых для питания цепей, узлов и блоков управления источника питания, системы управления автомата, пульта управления выносного (пульта оператора), газовой аппаратуры, приводов механизмов головки сварочной.

Источник питания ИЦ 616УЗ.1 относится к сварочным источникам питания «чопперного» типа, которые имеют такие же высокие динамические характеристики и возможности управления, как и сварочные источники питания инверторного типа, при этом источники питания чопперного типа по массогабаритным показателям несколько уступают сварочным инверторам, однако существенно превосходят последние по показателям функциональной и эксплуатационной надежности и ремонтпригодности. Это объясняется тем, что по сравнению со сварочными инверторами источниками питания чопперного типа присущи меньшее количество стадий преобразования потока энергии, передаваемой от питающей сети к сварочной дуге, размещение регулятора сварочного тока в низковольтной части этого потока, минимизация опасности лавинообразного развития невосстанавливаемых отказов при возникновении аварии.

При необходимости источник питания ИЦ 616УЗ.1 может быть эффективно использован для реализации процессов ручной сварки TIG, в том числе с применением режимов сварки модулированным током.

Система управления автомата предназначена для:

— формирования сигналов управления включением, отключением и длительностью функционирования составных частей и механизмов автомата в соответствии с заданными алгоритмами осуществления сварки GTAW неповоротных стыков трубопроводов;

— обеспечения регулирования, обработки сигналов обратных связей и поддержания в процессе сварки запрограммированных значений скорости сварки (скорости перемещения горелки с неплавящимся электродом), длины дугового промежутка и количества проходов дуги;

— автоматического осуществления изменений параметров цикла сварки (сварочного тока, скорости сварки, направления вращения планшайбы головки сварочной) в зависимости от номера прохода дуги, а также стадии цикла сварки.

Основными функциональными блоками системы управления автомата являются контроллеры цикла сварки 7, привода вращения 8 и автоматического регулятора напряжения дуги (АРНД) 9.

Контроллер цикла сварки 7 обеспечивает задание временных параметров цикла сварки GTAW, а также значений сварочного тока, скорости сварки, количества проходов дуги, направления ее перемещения в зависимости от диаметра, материала и толщины стенки свариваемого трубопровода.

Контроллер привода вращения 8 предназначен для регулирования и поддержания в процессе сварки заданных значений скорости вращения

планшайбы головки сварочной вокруг свариваемого трубопровода путем стабилизации скорости вращения мотор-редуктора привода вращателя головки сварочной за счет обратной связи с помощью сигналов, вырабатываемых энкодером мотор-редуктора.

Контроллер АРНД 9 обеспечивает поддержание в процессе сварки заданного значения длины дугового промежутка за счет автоматической компенсации ее отклонений от запрограммированного значения путем коррекции вертикального положения электрода горелки сварочной относительно поверхности свариваемого трубопровода. Примененный в автомате АРНД непрерывного типа представляет собой замкнутую систему автоматического регулирования, построенную на использовании пропорциональности напряжения дуги ее длине при сварке неплавящимся электродом [9, 10].

Система управления автомата функционирует совместно с выносным пультом управления (пультом оператора), содержащим органы управления, сигнализации и индикации, обеспечивающими:

- выбор рода работы автомата;
- выбор вида режима управления;
- выбор вида режима сварки;
- задание направления вращения планшайбы головки сварочной;
- задание для наладочного режима направления радиального перемещения электрода головки сварочной;
- предварительный контроль расхода инертного газа;
- включение/выключение цикла сварки.
- задание значения напряжения дуги;
- задание значения скорости сварки;
- подрегулировку в процессе сварки значения сварочного тока (на $\pm 10\%$);
- цифровую индикацию предварительно задаваемых и текущих значений сварочного тока, напряжения дуги, скорости вращения планшайбы головки сварочной вокруг свариваемого трубопровода (скорости сварки) и расхода инертного газа в амперах, вольтах, оборотах/минуту и литрах/минуту соответственно.

Внешний вид источника питания ИЦ 616 УЗ.1, системы управления и пульта управления автоматов АДЦ 625 УЗ.1, АДЦ 626 УЗ.1 и АДЦ 627 УЗ.1 приведен на рис. 2.

Головки сварочные АДЦ 627.03.00.000, АДЦ 625.03.00.000 и АДЦ 626.03.00.000 для сварки GTAW трубопроводов диаметрами 8...24 мм, 18...42 мм, 42...76 мм соответственно выполнены по конструктивной схеме, характерной для головок накидного типа (рис. 3), с применением унифицированных узлов и механизмов. Конструкция головки позволяет осуществлять ее быструю установку на свариваемом трубопроводе, снятие одним сварщиком-оператором и надежное закрепление корпуса головки на трубопроводе (что исключает ее смещение вследствие толчков или вибрации), а также обеспечивает точность установки головки на трубопроводе (непараллельность оси горелки сварочной по отношению к радиальной оси трубопровода не превышает 3°), реверс направления вращения планшайбы по команде системы управления автомата, возможность поперечного корректирования положения электрода горелки относительно оси стыка трубопровода, ламинарное истечение инертного газа из горелки и надежную защиту зоны сварки, быструю замену изношенного вольфрамового электрода горелки.

Каждая из головок сварочных включает корпус

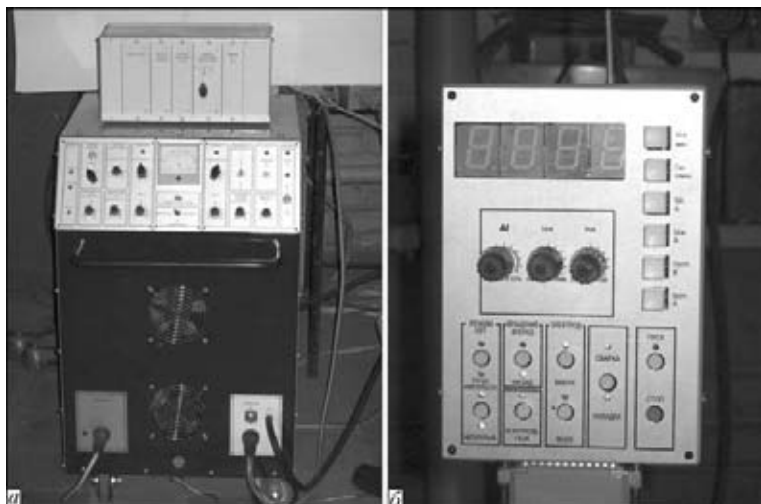


Рис. 2. Источник питания ИЦ 616 УЗ.1, система управления ИЦ 616.20.00.000 (а) и пульт управления выносного ИЦ 616.30.00.000 (б) автоматов АДЦ 625 УЗ.1, АДЦ 626 УЗ.1 и АДЦ 627 УЗ.1

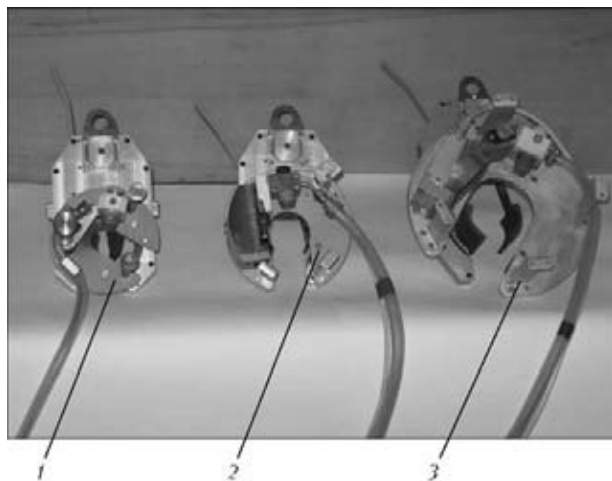


Рис. 3. Внешний вид головок сварочных: 1 — АДЦ 627.03.00.000; 2 — АДЦ 625.03.00.000; 3 — АДЦ 626.03.00.000



облегченной конструкции, механизм зажима головки на трубопроводе, вращающуюся вокруг оси трубопровода планшайбу, механизм вращения планшайбы (вращатель), установленные на планшайбу горелку сварочную и исполнительный механизм вертикального перемещения горелки сварочной системы АРНД в головках АДЦ 625.03.00.000, АДЦ 626.03.00.000 и системы стабилизации длины дуги с помощью копира в головке АДЦ 627.03.00.000.

Неподвижный корпус каждой головки сварочной является несущей конструкцией для механизма зажима головки на свариваемом трубопроводе и вращателя планшайбы. Закрепление головки на свариваемом трубопроводе или ее расфиксация осуществляется с помощью двух охватывающих часть цилиндрической поверхности трубопровода захватов механизма зажима, которые кинематически связаны с управляющим рычагом. Вращатель планшайбы состоит из размещенного внутри неподвижного корпуса редуктора и рукоятки с встроенным в нее приводом, представляющим собой мотор-редуктор с энкодером. Рукоятка вращателя параллельна оси трубопровода и может закрепляться в неподвижном корпусе головки в любом из двух противоположных направлений относительно плоскости планшайбы. Размеры и конструкция рукояток, а также электродвигатели и энкодеры приводов вращателей всех трех головок унифицированы, приводы вращателя каждой из головок отличаются лишь коэффициентом редукции мотор-редукторов. Вращатели головок выполнены по единой кинематической схеме.

На выходной шестерне редуктора вращателя установлена планшайба, на которой в головках АДЦ 625.03.00.000 и АДЦ 626.03.00.000 закреплен исполнительный механизм АРНД, а в головке АДЦ 627.03.00.000 — рычаг с копиром-стабилизатором длины дуги и горелкой с неплавящимся электродом. Исполнительный механизм АРНД содержит реверсируемый мотор-редуктор, выходной вал которого через зубчатую передачу соединен с устройством типа «винт-гайка», при этом гайка встроена в перемещающийся вдоль винта ползун. Ползун жестко связан с кронштейном, к которому прикреплен изолятор с установленной в нем горелкой. В состав конструктива «механизм АРНД – горелка» также входит механизм поперечного перемещения, позволяющий корректировать пространственное положение электрода поперек свариваемого стыка.

Горелки головок АДЦ 625.03.00.000 и АДЦ 626.03.00.000 по составу и конструкции полностью унифицированы и отличаются только длиной защитного керамического сопла, горелка головки АДЦ 627.03.00.000 отличается от этих горелок размерами, формой корпуса, цангой для фиксации электрода и местом расположения в нем

патрубка для подсоединения токогазоподвода головки.

Любая из головок сварочных АДЦ 627.03.00.000, АДЦ 625.03.00.000 и АДЦ 626.03.00.000 к источнику питания ИЦ616 УЗ.1, системе управления ИЦ 616.20.00.000, пульту управления выносному ИЦ 616.30.00.000 и системе газоснабжения подключается с помощью коллектора АДЦ 625.07.00.000, который может быть удален от головки на расстояние до 15 м.

Автоматы АДЦ 627 УЗ.1, АДЦ 625 УЗ.1 и АДЦ 626 УЗ.1 обеспечивают возможность двух видов работы — «Наладка» и «Сварка», двух способов управления — «Ручное» и «Автоматическое» и трех типов режимов сварки — «Непрерывный», «Импульсный» и «Сварка модулированным током».

Вид работы автомата «Наладка» используется для контроля функционирования вращателя головки сварочной и проверки ее центровки, проверки траектории вращения горелки вокруг стыка свариваемого трубопровода, проверки и регулировки вылета неплавящегося электрода и технологически обоснованной длины дугового промежутка, предварительной установки (задания) скорости вращения горелки с неплавящимся электродом. Особенностью вида работы «Наладка» является отсутствие в сварочной цепи сварочного тока. При виде работы автомата «Наладка» и способе управления «Ручное» моменты начала и останова вращения горелки задаются командами оператора с помощью кнопок «Пуск» и «Стоп» в пульте управления выносном ИЦ 616.30.00.000. При виде работы автомата «Наладка» и способе управления «Автоматическое» момент начала вращения горелки также задается оператором, а останов вращения происходит автоматически в момент завершения заданной длительности цикла в соответствии с выбранным количеством оборотов и с некоторым «перекрытием» участка начала вращения.

Вид работы автомата «Сварка» при типе режимов «Непрерывный» позволяет выполнять все стадии цикла сварки по всем его составляющим при поддержании в течение каждого прохода дуги (каждого полного оборота планшайбы) неизменными заданных для этого прохода значений сварочного тока, напряжения дуги и скорости вращения планшайбы (скорости сварки).

При виде работы автомата «Сварка» и типе режимов «Импульсный» обеспечивается процесс шагоимпульсной сварки, который осуществляется на двух следующих друг за другом с заданной периодичностью энергетических уровнях сварочного тока — «высоком», называемом импульс, и «низком», называемом пауза, причем перемещение горелки (вращение планшайбы) с заданной скоростью происходит только в течение интерва-



лов времени, соответствующих длительности пауз сварочного тока.

Режим «Сварка модулированным током» реализуется при виде работы автомата «Сварка» и типе режимов «Непрерывный» с помощью режима «Модуляция» источника питания ИЦ 616 УЗ.1, при этом обеспечивается модуляция сварочного тока, а скорость вращения планшайбы в течение каждого прохода поддерживается неизменной на заданном для этого прохода уровне.

Для осуществления любого из трех видов режимов сварки возможно использование, как и при виде работы автомата «Наладка», одного из двух способов управления — «Ручное» или «Автоматическое». При способе управления «Ручное» начало и завершение цикла сварки задаются командами оператора. При способе управления «Автоматическое» начало цикла сварки также задается оператором, а завершение цикла происходит автоматически, причем вращение планшайбы головки сварочной осуществляется в течение интервала времени, продолжительность которого представляет собой сумму длительностей всех заданных проходов дуги (полных оборотов планшайбы вокруг свариваемого трубопровода), длительности «перекрытия» места начала сварки и длительности плавного спада сварочного тока («заварки кратера»).

В ходе ранее проведенных исследований [11, 12] установлено, что при сварке GTAW без присадочной проволоки стыков трубопроводов существуют области режимов, в которых соответствующие соотношения между значениями сварочного тока, напряжения дуги, скорости сварки и расхода защитного газа обеспечивают возможность получения высокого и стабильного качества сварных соединений. Этими же исследованиями также установлено, что для достижения высокого качества сварных швов максимально допустимое отклонение в процессе сварки одного из параметров режима сварки GTAW неповоротных стыков трубопроводов от заданных значений не должно превышать $\pm 14\%$ для сварочного тока, $\pm 13\%$ для напряжения дуги, $\pm 10\%$ для скорости сварки и $\pm 20\%$ для расхода защитного газа, а при одновременном внесении возмущений по всем параметрам режима максимально допустимые отклонения по каждому параметру не должны превышать $\pm 2,5\%$.

В автоматах АДЦ 627 УЗ.1, АДЦ 625 УЗ.1 и АДЦ 626 УЗ.1 приведенные выше требования по точности поддержания в процессе сварки заданных параметров ее режима выполняются в полной мере. Это, а также схематехнические и конструктивные решения автоматов и их функциональные возможности позволяют осуществлять реализацию всех известных технологий, включая импульсные процессы, сварку GTAW неповоротных сты-

ков трубопроводов диаметром от 8 до 76 мм с толщиной стенки до 4 мм, а также сварку способами автоопрессовки, последовательного проплавления и сравнительно новым способом, получившим название антиопрессовки [12]. В 2008–2009 гг. в Украине было освоено промышленное изготовление автоматов АДЦ 627 УЗ.1, АДЦ 625 УЗ.1 и АДЦ 626 УЗ.1, что позволило начать оснащение ими предприятий отрасли атомной энергетики и ремонтных подразделений АЭС. Примером успешного применения автоматов этой серии служит их использование при сварке GTAW в среде гелия герметизирующих соединений трубы с наконечником и заглушкой (серийное производство) в ОП «Атомэнергомаш» НАЭК «Энергоатом» поглощающих элементов для контейнеров системы сухого хранения отработанного ядерного топлива.

Опытно-промышленное опробование автоматов АДЦ 627 УЗ.1, АДЦ 625 УЗ.1 и АДЦ 626 УЗ.1 показало, что они могут эффективно применяться для сварки GTAW неповоротных стыков тонкостенных трубопроводов как при ремонте действующих, так и при монтаже сооружаемых энергоблоков АЭС и других объектов энергетики, при этом на монтаже наивысшая эффективность использования автоматов достигается при укрупнении трубопроводов в блоки.

Вместе с тем до настоящего времени широкое применение сварки GTAW при сооружении объектов энергетики сдерживается рядом факторов, в том числе особенностями монтажа теплотехнического оборудования и трубопроводов энергоблоков АЭС, в частности, сжатými сроками монтажа, необходимостью концентрации и одновременной работы десятков индивидуальных сварочных постов на ограниченной производственной площадке, специфическими потенциально опасными условиями выполнения работ, исключая использование для энергоснабжения сварочного и другого технологического оборудования разводок питающих сетей переменного тока напряжением 220 и 380 В [13]. Это обуславливает преимущественное применение при монтаже энергоблоков АЭС систем централизованного энергоснабжения постов ручной дуговой сварки (сварки MMA) и ручной сварки TIG. В состав каждой из таких МСС входят мощный многопостовой сварочный выпрямитель с жесткой внешней ВАХ, индивидуальные сварочные посты и соединяющие их магистральные разводки. В большинстве случаев режимы сварки MMA и TIG регулируются балластными реостатами в цепи каждого индивидуального поста [9, 14]. Преимуществами существующих МСС являются относительно безопасный уровень напряжения в магистральных разводках, значение которого не превышает значения напряжения холостого хода многопос-

того сварочного выпрямителя (т. е. не более 80 В), а также простота, надежность и мобильность постового сварочного оборудования, существенными недостатками — резко выраженная зависимость сварочного тока каждого индивидуального поста от длины дугового промежутка и колебаний напряжения питающей многопостовой выпрямитель сети, взаимное влияние сварочных постов при их одновременной работе, отсутствие возможности поддерживать с необходимой точностью заданные параметры технологических режимов и программировать цикл сварки, высокая энергозатратность сварочных работ.

Отмеченные недостатки существующих МСС полностью лишены МСС, построенные на базе электронных регуляторов сварочного тока для сварки MMA и TIG, которые обеспечивают не только значительное повышение коэффициента полезного действия МСС (с 41 % до не менее 83 % при MMA сварке и с 21 % до не менее 84 % при TIG сварке), но и существенное расширение технологических возможностей, что является предпосылкой повышения качества сварных соединений [15, 16]. Свойства и характеристики электронных регуляторов сварочного тока для МСС сварки MMA и TIG обуславливают возможность создания МСС для сварки GTAW неповоротных стыков трубопроводов при монтаже и ремонте объектов энергетики.

Одна из таких МСС, структурная схема которой приведена на рис. 4, разработана в ИЭС им. Е. О. Патона на базе составных частей автоматов АДЦ 627 УЗ.1, АДЦ 625 УЗ.1 и АДЦ 626 УЗ.1 и модернизированных регуляторов сварочного тока РДГ-201 УЗ.1 для сварки TIG.

В качестве централизованного источника питания в МСС для сварки GTAW используется многопостовой сварочный выпрямитель 1 серий ВДМ, ВКСМ, ВМГ или им аналогичный из числа, как правило, имеющихся на действующих энергоблоках АЭС и ТЭС и широко применяемых при монтаже сооружаемых объектов энергетики. Каждый индивидуальный пост содержит запитываемые от магистральных разводов электронный регулятор сварочного тока 2 и блок питания цепей управления 3, блок возбуждения дуги 4, систему управления 5, пульт управления выносной (пульт оператора) 6, головку сварочную 7.

Применяемый в МСС модернизированный регулятор сварочного тока РДГ-201 УЗ.1 имеет такие же внешние ВАХ, динамические свойства и функциональные возможности (за исключением обеспечения возбуждения дуги), что и источник питания ИЦ 616 УЗ.1 для сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов, а по построению силовой части и тракта управления регулятор сварочного тока РДГ-201 УЗ.1 практически не отличается от конвертора DC-DC силового бло-

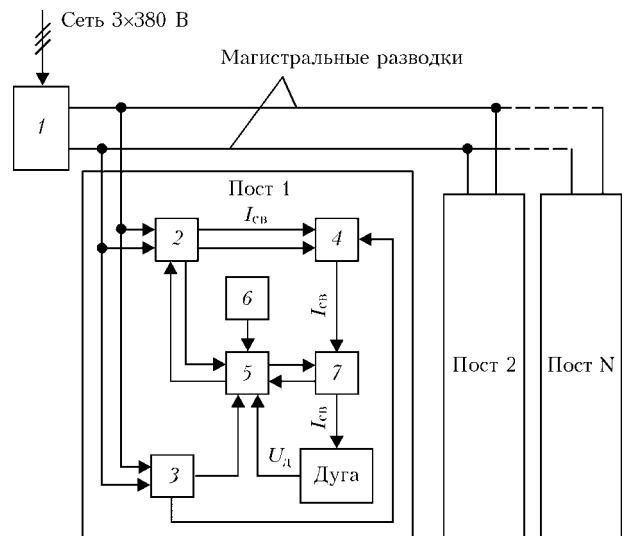


Рис. 4. Структурная схема многопостовой сварочной системы для автоматической орбитальной сварки: 1 — многопостовой сварочный выпрямитель; 2 — регулятор сварочного тока; 3 — блок питания цепей управления; 4 — блок возбуждения дуги; 5 — система управления; 6 — пульт управления выносной (пульт оператора); 7 — головка сварочная

ка этого источника питания. В составе постового оборудования МСС регулятор сварочного тока РДГ-201 УЗ.1 обеспечивает предустанов значений параметров и реализацию токовой и газовой составляющей сварки GTAW при всех типах режимов сварки (непрерывный, шагоимпульсный, сварка модулированным током). Техническая характеристика модернизированного регулятора сварочного тока РДГ-201 УЗ.1 приведена ниже, а его внешний вид — на рис. 5.

При необходимости входящий в состав постового оборудования МСС для GTAW сварки регулятор сварочного тока РДГ-201 УЗ.1 может быть использован и для ручной TIG сварки (например, для выполнения прихваток, ремонта дефектов и т. п.).

Многоканальный блок питания цепей управления 3 (рис. 4) осуществляет преобразование напряжения магистральных разводов в стабилизированные и нестабилизированные напряжения постоянного тока, необходимые для питания блока возбуждения дуги 4, системы управления 5, пульта управления выносного (пульта оператора) 6 и приводов исполнительных механизмов головки сварочной 7. Основные каналы блока питания цепей управления представляют собой обратноходовые преобразователи DC-DC понижающего типа с повышенной частотой преобразования (до 132 кГц), что позволило миниатюризировать их конструктивные размеры и массу.

Блок возбуждения дуги (БВД) 4 выполнен по схеме тиристорного генератора высоковольтных импульсов с резонансной накачкой [9], вторичная обмотка выходного импульсного трансформатора которого включена последовательно в сварочную



цепь. Вырабатываемые БВД импульсы высокого напряжения вызывают пробой промежутка между электродом головки сварочной и поверхностью свариваемого трубопровода, что создает условия для возникновения в этом промежутке устойчивого дугового разряда.

Техническая характеристика модернизированного регулятора сварочного тока РДГ-201 УЗ.1

Напряжение питания (напряжение магистральных разводок), В	52...88
Номинальный сварочный ток, А	200
Пределы регулирования сварочного тока, А, не более:	
нижнее значение	8
верхнее значение	260
Наибольшее отклонение сварочного тока от заданного значения при изменениях напряжения питания (напряжения магистральных разводок) до ±25 % номинального значения 70 В, %, не более	2
Пределы регулирования длительностей, с:	
плавного нарастания сварочного тока	1...5
«прогрева» места сварки	1...5
импульсов (пауз) сварочного тока в режиме сварки модулированным током	0,10...2,25
плавного спада сварочного тока (заварки «кратера»)	1...5
продувки газа (интервала времени «газ до сварки»)	5...25
обдува газом (интервала времени «газ после сварки»)	5...25
Коэффициент полезного действия (при номинальном сварочном токе), %, не менее	80
Габаритные размеры, мм, не более	515×281×353
Масса, кг, не более	24

В качестве системы управления 5, пульта оператора 6 и головки сварочной 7 постового оборудования МСС используют систему управления ИЦ 616.20.000, пульт управления ИЦ 616.30.00.000 и в зависимости от диаметров свариваемых трубопроводов одну из головок сварочных АДЦ 627.03.00.000, АДЦ 625.03.00.000 или АДЦ 626.03.00.000.

Входящие в состав постового оборудования МСС для сварки GTAW модернизированный регулятор сварочного тока РДГ-201У 3.1, система управления ИЦ 616.20.00.000, пульт управления



Рис. 5. Внешний вид регулятора сварочного тока РДГ-201 УЗ.1 для сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов

ИЦ 616.30.00.000 и коллектор для подключения коммуникаций головки сварочной выполнены в виде моноблочных конструкций, при этом в конструктив системы управления встроены блок питания цепей управления, а в конструктив коллектора — БВД и датчик расхода инертного газа. Для обеспечения компактности, мобильности, удобства использования и хранения постового оборудования одним из возможных компоновочных решений может быть размещение и закрепление регулятора сварочного тока и системы управления в передвижной конструкции, представляющей собой оснащенную колесами аппаратную стойку.

Максимальная длина сварочного контура для индивидуальных постов МСС для сварки GTAW и автоматов АДЦ 627 УЗ.1, АДЦ 625 УЗ.1 и АДЦ 626 УЗ.1, при которой обеспечивается качественный процесс автоматической орбитальной сварки неповоротных стыков трубопроводов, составляет 60 м.

Особенностью МСС для автоматической орбитальной сварки неплавящимся электродом является возможность одновременной работы индивидуальных постов для сварки GTAW и постов ручной сварки TIG при условии, что ток нагрузки многопостового сварочного выпрямителя не превышает допустимого значения, при этом в постах для ручной сварки TIG для регулирования сварочного тока могут применяться как электронные регуляторы, так и балластные реостаты.

Нагрузочную способность многопостового сварочного выпрямителя при использовании в качестве постовых регуляторов балластных реостатов определяют по соотношению [9]

$$N = \frac{I_{2\text{ ном}}}{k_0 I_{d\text{ ном}} \sqrt{\text{ПН}/100}}, \quad (1)$$

где N — наибольшее количество постов, которые могут быть подключены к многопостовому выпрямителю; $I_{2\text{ ном}}$ — номинальный вторичный ток (ток нагрузки) многопостового выпрямителя; k_0 — коэффициент одновременной работы постов; $I_{d\text{ ном}}$ — номинальный сварочный ток индивидуального поста; ПН — продолжительность нагрузки индивидуального поста, %.

При использовании в МСС электронных регуляторов сварочного тока нагрузочную способность многопостового выпрямителя определяют по формуле [16]

$$N = \frac{\eta I_{2\text{ ном}} U_{2\text{ ном}}}{k_0 I_{d\text{ ном}} U_{d\text{ ном}} \sqrt{\text{ПН}/100}}, \quad (2)$$

где η — коэффициент полезного действия электронного регулятора; $U_{2\text{ ном}}$ — номинальное вторичное рабочее напряжение многопостового выпрямителя; $U_{d\text{ ном}}$ — номинальное напряжение дуги (напряжение сварки).

Если в состав МСС входят индивидуальные посты как с электронными регуляторами сварочного тока, так и посты с балластными реостатами, определение нагрузочной способности многопостового выпрямителя проводят по выражению

$$N = \frac{\eta(I_{2\text{ ном}} - nI_{d\text{ ном}}^1 \sqrt{\frac{\text{ПН}}{100}} U_{2\text{ ном}})}{k_0 I_{d\text{ ном}} U_{2\text{ ном}} \sqrt{\frac{\text{ПН}}{100}}}, \quad (3)$$

где n — количество постов с балластными реостатами; $I_{d\text{ ном}}^1$ — номинальный сварочный ток поста с балластным реостатом.

Сравнительные характеристики нагрузочной способности МСС могут быть проиллюстрированы следующим примером. При использовании в МСС многопостового сварочного выпрямителя ВДМ-1001, у которого номинальный вторичный ток $I_{2\text{ ном}} = 1000$ А, а номинальное вторичное рабочее напряжение $U_{2\text{ ном}} = 60$ В, при $k_0 = 0,65$, номинальном сварочном токе индивидуального поста $I_{d\text{ ном}} = 200$ А и ПН = 60 %, нагрузочная способность составляет:

— 10 постов сварки TIG или MMA в варианте применения в качестве постовых регуляторов сварочного тока балластных реостатов;

— 26 постов ручной сварки TIG или сварки GTAW при использовании электронных регуляторов сварочного тока;

— 10 постов ручной сварки TIG или GTAW в случае, если в состав МСС входят четыре поста с балластными реостатами и шесть постов сварки TIG или GTAW при наличии в составе МСС пяти постов с балластными реостатами.

Выводы

1. Создание и освоение промышленного изготовления автоматов АДЦ 627 УЗ.1, АДЦ 625 УЗ.1 и АДЦ 626 УЗ.1 для орбитальной сварки без присадочной проволоки позволяет оснастить монтажные организации и ремонтные подразделения и предприятия отрасли энергетики современным отечественным оборудованием, обеспечивающим возможность реализации как опробованных, так и новых технологий автоматической сварки неповоротных стыков тонкостенных трубопроводов диаметром от 8 до 76 мм из сталей аустенитного и перлитного классов и высоколегированных сплавов при монтаже и ремонте объектов энергетики.

2. Применение промышленно изготавливаемых электронных регуляторов сварочного тока в МСС не только существенно расширяет технологические возможности и улучшает технико-экономические показатели таких систем, но и является необходимым условием, выполнение которого обеспечивает возможность построения МСС

для автоматической орбитальной сварки, в том числе путем модернизации существующих МСС, что открывает перспективы значительного повышения уровня автоматизации сварки неповоротных стыков трубопроводов при монтаже сооружаемых и ремонте действующих энергоблоков АЭС, ТЭС и других крупных объектов энергетики.

3. Достижение высокого уровня унификации составных частей автоматов АДЦ 627 УЗ.1, АДЦ 625 УЗ.1 и АДЦ 626 УЗ.1 для сварки GTAW и использование этих составных частей в постовом оборудовании МСС для автоматической орбитальной сварки обеспечивают возможность эффективной и гибкой эксплуатации таких автоматов, сужения номенклатуры и уменьшения количества единиц оборудования, необходимого для выполнения сварочных работ при монтаже и ремонте объектов энергетики, снижения эксплуатационных расходов на это оборудование, ускорения подготовки обслуживающего персонала.

4. Дальнейшим развитием одно- и многопостовых систем сварки GTAW является расширение их функциональных и технологических возможностей путем совершенствования системы управления автоматов и постового оборудования МСС за счет создания банка типовых режимов сварки и применения микропроцессоров и энергонезависимой памяти.

В заключение авторы считают необходимым отметить, что в разработке и конструировании описанных выше одно- и многопостовых систем для автоматической орбитальной сварки активное и непосредственное участие приняли инженеры В. Ю. Буряк, Н. С. Федоренко, В. Л. Кобрянский, А. Г. Скирта, Э. В. Кункина, Д. С. Оляненко, в отработке технологических процессов сварки GTAW и доводке разработанного оборудования — инженеры В. М. Гавва, А. Д. Чередник, А. В. Ткаченко, а в освоении производства этого оборудования — инженеры О. И. Коркач, В. Н. Андрейченко, В. Е. Иванов, А. У. Мнухин, В. П. Тищенко, Г. И. Писарев, В. М. Золотов, В. С. Павловский.

1. К вопросу об автоматизации сварки монтажных стыков трубопроводов атомных электростанций / В. И. Гриненко, В. В. Рошин, В. А. Хаванов, С. И. Полосков // *Технология машиностроения*. — 2008. — № 8. — С. 48–51.
2. ПН АЭ Г-7-008–89. Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок.
3. ПН АЭ Г-7-009–90 и ПН АЭ Г-7-010–90. Оборудование и трубопроводы атомных энергетических установок. Сварка и наплавка. Основные положения.
4. Белкин С. А., Шефель В. В. Автоматическая аргонодуговая сварка при монтаже трубопроводов АЭС // *Энерг. стр-во*. — 1985. — № 11. — С. 43–46.
5. Гальшев В. К. Применение автоматической сварки на монтаже трубопроводов Запорожской АЭС // Там же. — 1988. — № 3. — С. 9–10.

6. Белкин С. А. О ходе выполнения программы механизации работ по сварке стыков трубопроводов диаметром до 150 мм // Там же. — 1988. — № 3. — С. 3–4.
7. Шефель В. В. Состояние и перспективы разработки нового малогабаритного трубосварочного оборудования // Там же. — 1988. — № 12. — С. 3–4.
8. Сидоренко В. Ф., Кусков М. Ф., Зубова Н. Ф. Повышение мобильности трубосварочных автоматов // Там же. — 1988. — № 6. — С. 42–43.
9. Оборудование для дуговой сварки: Справ. пособ. / Под ред. В. В. Смирнова. — Л.: Энергоатомиздат, 1986. — 656 с.
10. Гладков Э. А. Управление процессами и оборудованием при сварке: Учеб. пособ. — М.: Академия, 2006. — 432 с.
11. Полосков С. И., Букаров В. А., Иценко Ю. С. Влияние отклонений параметров режима аргонодуговой сварки неповоротных стыков труб на качество сварных соединений // Сварка и смежные технологии. Всерос. науч.-техн. конф.: Сб. докл. — М.: МЭИ (ТУ), 2000. — С. 22–25.
12. Букаров В. А. Технология дуговой автоматической сварки в защитных газах // Сварка в атомной промышленности и энергетике. Тр. НИКИМТ. — М.: ИздатАТ, 2002. — Т.1. — С. 149–210.
13. Сварка при монтаже оборудования и металлоконструкций реакторных установок / В. В. Рошин, В. А. Хаванов, Л. И. Акулов, В. А. Букаров // Там же. — М.: ИздатАТ, 2002. — Т.1. — С. 81–118.
14. Бункин П. Я., Донской А. В. Многопостовые сварочные системы. — Л.: Судостроение, 1985. — 228 с.
15. Коротынский А. Е., Махлин Н. М., Богдановский В. А. К расчету электронных регуляторов систем сварочного тока для многопостовых сварочных систем // Автомат. сварка. — 2002. — № 12. — С. 19–27.
16. Электронные регуляторы сварочного тока для многопостовых сварочных систем / Н. М. Махлин, А. Е. Коротынский, В. А. Богдановский и др. // Свароч. пр-во. — 2004. — № 5. — С. 13–18.

The paper describes PWI activities on development and manufacture of orbital complexes for automatic welding of butts of 8...76 mm pipelines. These complexes became accepted for repair of equipment of nuclear reactors of Ukrainian nuclear power plants.

Потупила в редакцию 05.09.2011

Новые расходные детали для высокоточной резки и резки на низких токах с разделкой кромки

Компания «Thermal Dynamics» запустила в производство новый спектр расходных деталей, которые позволяют увеличить качество при резке фасок на низких силах тока и при роботизированной резке.

Предприятием спроектированы и запущены в производство два новых набора расходных деталей на 15 и 30 А, обеспечивающих высокое качество при резке тонких материалов на более низких скоростях резки. Их применяют в сочетании с источником тока для высокоточной резки Ultra-Cut и XTR плазматроном для роботизированной резки.

Шариковые опоры защитного наконечника плазматрона, которые позволяют отслеживать кривизну поверхности разрезаемого изделия и поддерживать правильный и постоянный зазор между соплом и деталью, а также установка плазматрона на подпружиненный держатель позволяют достичь качество резки вполне сравнимое с результатами, достигаемыми при лазерной резке.

Качество резки на тонких материалах также может быть улучшено с помощью передовых технологий управления газом, обеспечиваемых **Автоматической Газовой Консолью Thermal Dynamics**. Современные режимы управления газами сокращают время,

необходимое для очистки от предварительного газа (газа на котором поджигается дуга), при этом снижается потребность в чрезмерных требованиях по подводу газов и повышается качество резки на коротких резках.

«Thermal Dynamics» производит оборудование для плазменной резки более пятидесяти лет и предлагает полный спектр систем от портативных однофазных машин «хобби класса» до самых сложных систем высокоскоростной резки.



Контакты: тел.: (44) 1257 261755