

# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГОЛОВОК СВАРОЧНЫХ АВТОМАТОВ ДЛЯ ОРБИТАЛЬНОЙ СВАРКИ TIG ТРУБОПРОВОДОВ ЭНЕРГОБЛОКОВ АЭС

Л.М. Лобанов<sup>1</sup>, Н.М. Махлин<sup>2</sup>, В.Е. Водолазский<sup>2</sup>, В.Е. Попов<sup>2</sup>, Д.С. Олияненко<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины. 03150, г. Киев, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: [office@paton.kiev.ua](mailto:office@paton.kiev.ua)

<sup>2</sup>ГП «НИЦ СКАЭ ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины».

03150, г. Киев, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: [electro@paton.kiev.ua](mailto:electro@paton.kiev.ua)

К точности и надежности исполнительных механизмов современных автоматов для орбитальной сварки (GTAW) неповоротных стыков трубопроводов энергоблоков АЭС предъявляется ряд специфических требований, в частности, к наибольшему диаметрам планшайб головок сварочных таких автоматов, на которых размещаются, как правило, все или большинство этих механизмов. В настоящей работе описаны разработанные в НИЦ СКАЭ конструкции исполнительных механизмов современных автоматов для GTAW неповоротных стыков трубопроводов АЭС. Разработаны механизмы зажима (фиксации) головок сварочных на свариваемой трубе, механизм стабилизации длины дуги, механизм вращения (вращателя) планшайбы вокруг оси свариваемых труб, механизм автоматического регулирования напряжения дуги, механизм колебаний неплавящегося электрода (поперек сварного шва) и механизм подачи присадочной проволоки. Приведены результаты промышленной эксплуатации некоторых разработанных в НИЦ СКАЭ автоматов для GTAW, в которых использованы описанные механизмы. Цель настоящей работы – представление результатов работ, проведенных в НИЦ СКАЭ в направлении создания составных частей автоматов для GTAW неповоротных стыков тонкостенных трубопроводов из сталей аустенитного, перлитного классов, углеродистых сталей и сплавов цветных металлов (кроме алюминия и его сплавов). Библиогр. 11, табл. 2, рис. 6.

*Ключевые слова:* дуговая автоматическая орбитальная сварка, неплавящийся электрод, инертные газы, головка сварочная, планшайба, механизмы исполнительные, вращатель планшайбы, колебатель неплавящегося электрода, присадочная проволока

Одним из основных требований к головкам сварочным накидного типа автоматов для GTAW является минимально возможный диаметр их вращающихся частей (планшайб), что объясняется необходимостью обеспечения осуществления GTAW неповоротных стыков трубопроводов в условиях реальных межтрубных расстояний, существующих на АЭС. Поэтому создание головок сварочных, способных функционировать в широком диапазоне наружных диаметров свариваемых трубопроводов, не представляется возможным, что заставляет прибегнуть к разбивке этого диапазона на поддиапазоны с учетом диаметров трубопроводов, применяемых в отрасли атомной энергетики Украины.

Ранее проведенными в НИКИМТ (г. Москва) исследованиями [1, 2] было установлено, что для сварки неповоротных стыков тонкостенных трубопроводов (широко используемых при монтаже, ремонте и модернизации энергоблоков АЭС) способом GTAW наиболее приемлемы методы автоопрессовки, последовательного проплавления или

\*В разработке механизмов головок сварочных автоматов для GTAW принимали участие Н.С. Федоренко, В.Л. Кобрянский, В.М. Гавва, А.Д. Чередник, А.В. Ткаченко, В.Ю. Буряк и Э.В. Кункина (НИЦ СКАЭ).

Л.М. Лобанов — <http://orcid.org/0000-0001-9296-2335>

© Л.М. Лобанов, Н.М. Махлин, В.Е. Водолазский, В.Е. Попов, Д.С. Олияненко, 2019

антиопрессовки, что позволяет значительно упростить построение соответствующего сварочного оборудования, в том числе головок сварочных. Опыт НИКИМТ и других организаций с учетом влияния предельно допустимых отклонений параметров режима автоматической дуговой орбитальной сварки GTAW неповоротных стыков труб на качество сварных соединений [3, 4] послужил базой для разработок в НИЦ СКАЭ отечественных орбитальных автоматов для GTAW и их механизмов. Следует отметить, что в направлении разработки и изготовления орбитальных автоматов для GTAW значительных успехов достигли такие известные фирмы, как ARC MACHINES, INC и DIMETRICS, INC (США), «POLYSOUDE» (Франция), ESAB (Швеция), «SIEMENS» и «GES. M.V.H» (ФРГ), «RTA» (Италия), НИКИМТ (Россия) и др.

В табл. 1 приведены некоторые основные сравнительные параметры и характеристики предлагаемых рынком головок сварочных автоматов для GTAW тонкостенных металлических трубопроводов энергоблоков АЭС, получившие широкое распространение в Украине и России методами автоопрессовки, последовательного проплавления или антиопрессовки, разработки и производства различных компаний.

**Таблица 1.** Некоторые основные параметры и характеристики головок сварочных автоматов для GTAW методами автоопрессовки, последовательного проплавления или антиопрессовки

Номер п/п	Наименование параметра, характеристика	Головка сварочная (марка или обозначение и разработчик/производитель)			
		АДЦ 627.03.00.000 (для сварки в среде аргона), Украина, НИЦ СКАЭ	АДЦ 627.03.00.000-01 (для сварки в среде гелия), Украина, НИЦ СКАЭ	АДЦ 625.03.00.000 (для сварки в среде аргона), Украина, НИЦ СКАЭ	АДЦ 626.03.00.000 (для сварки в среде аргона), Украина, НИЦ СКАЭ
1	Минимальный диаметр свариваемой трубы, мм	7	7	18	42
2	Максимальный диаметр свариваемой трубы, мм	24	24	42	76
3	Максимальный сварочный ток, А	140	140	160	200
4	Диапазон регулирования скорости сварки, м/ч	0,42...48,80		1,9...33,5	4,0...39,6
5	Диаметр неплавящегося (вольфрамового) электрода, мм	1,6		2,0...3,0	
6	Радиус вращающихся частей, мм, не более	50		70	86
7	Охлаждение электрода	Газовое			
8	Система стабилизации напряжения дуги	Механический копир-стабилизатор (СДЦ)		Автоматический регулятор напряжения дуги (АРНД)	
9	Габаритные размеры: длина, мм, не более ширина, мм, не более высота, мм, не более	110 285 280		142 285 357	178 330 357
10	Масса головки (без коммуникационных кабелей и шлангов), кг, не более	3,00		3,50	4,30

Продолжение табл. 1.

Номер п/п	Наименование параметра, характеристика	Головка сварочная (марка или обозначение и разработчик/производитель)			
		ОДА-1с (для сварки в среде аргона), Россия, НИКИМТ	ОДА-2с (для сварки в среде аргона), Россия, НИКИМТ	ОДА-3с (для сварки в среде аргона), Россия, НИКИМТ	MU –IV 8/38 P (для сварки в среде аргона), Франция, POLYSOUDE
1	Минимальный диаметр свариваемой трубы, мм	8	20	42	8
2	Максимальный диаметр свариваемой трубы, мм	26	42	76	38
3	Максимальный сварочный ток, А	100	160	200	180
4	Диапазон регулирования скорости сварки, м/ч	6,0...23,0	6,0...30,0		0,5...40,0
5	Диаметр неплавящегося (вольфрамового) электрода, мм	2,0...3,0		2,0...4,0	
6	Радиус вращающихся частей, мм, не более	40	55	90	63
7	Охлаждение электрода	Водяное			
8	Система стабилизации напряжения дуги	СДЦ	АРНД		
9	Габаритные размеры: длина, мм, не более ширина, мм, не более высота, мм, не более	81 146 235	100 180 250	155 190 355	112 152 282
10	Масса головки (без коммуникационных кабелей и шлангов), кг, не более	3,70	5,70	11,70	3,25

К особенностям разработанных в НИЦ СКАЭ головок сварочных АДЦ 627.03.00.000, АДЦ 627.03.00.000-01, АДЦ 625.03.00.000 и АДЦ 626.03.00.000 для GTAW тонкостенных металлических трубопроводов методами автоопрессовки, последовательного проплавления или антиопрессовки можно отнести возможность с их помощью осуществлять шагоимпульсную сварку и сварку модулированным током при поддержании неизменной скорости вращения их планшайб (скорости сварки), что существенно расширяет технологические возможности разработанных отечественных автоматов для GTAW. Другая особенность этих головок сварочных заключается в возможности использовать одну и ту же систему управления с контроллерами приводов механизмов, позволяющую не только обеспечивать пред-

варительную установку и плавное регулирование (программирование) значений параметров циклов и режимов сварки, но и задавать количество полнокольцевых проходов сварочной дуги (от 1 до 4), а также реверсирование направления вращения планшайб после осуществления определенного количества таких проходов [5–9].

Головка сварочная АДЦ 627.03.00.000-01 предназначена для работы в контролируемой среде (преимущественно в среде гелия) с наклоном оси на 15° (градусов угловых) неплавящегося электрода относительно вертикали к свариваемому изделию и отличается от головки сварочной АДЦ 627.03.00.000 только изолятором, через который крепится горелка АДЦ 627.03.02.000 с неплавящимся электродом, типом электрических вилок и газового штуцера токогазоподвода, обеспечива-

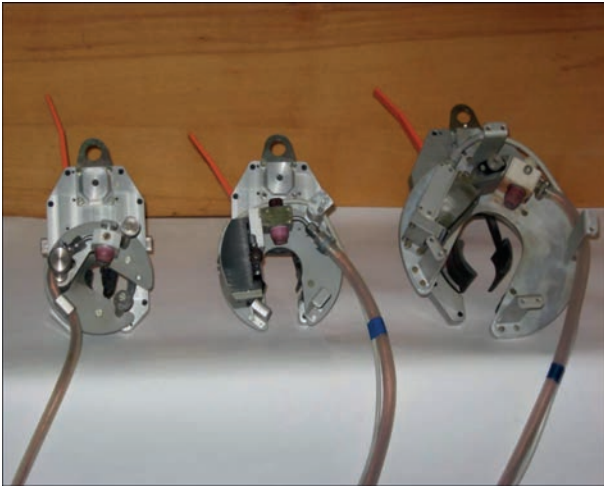


Рис. 1. Общий вид головок сварочных АДЦ 627.03.00.000, АДЦ 625.03.00.000 и АДЦ 626.03.00.000 со стороны их планшайб

ющим подключение головки для ее работы внутри герметичной камеры с контролируемой средой.

На рис. 1 представлен общий вид головок сварочных АДЦ 627.03.00.000, АДЦ 625.03.00.000 и АДЦ 626.03.00.000. Более подробно общий вид головок сварочных АДЦ 627.03.00.000 и АДЦ 627.03.00.000-01 приведен на рис. 2. На выходной шестерне редуктора вращателя 1 головки установлена планшайба 5. На ней закреплены рычаг 2 копира-стабилизатора, горелка с неплавящимся электродом, фиксация пространственного положения которого (включая «вылет») производится с помощью маховичка 3, копир 8, две стойки 6 для укладки токогазопровода и стойка 7 для его закрепления («заневоливания»). Рычаг 2 включает винт-копир 8, собственно рычаг 9, гайку с выполненным из электроизоляционного материала маховичком 10, корпус 11, а также закрепленную на планшайбе и взаимодействующую с гайкой 10 ось, втулку и пружину. Корпус 11 обеспечивает крепление в нем горелки с неплавящимся электродом и ее электрическую изоляцию от потенциала планшайбы 5, а, следовательно, от потенциала свариваемого трубопровода. Входящая в состав рычага 2 ось дает возможность его поворота на некоторый угол в плоскости планшайбы 5, что обеспечивает дополнительные удобства при выполнении операций установки головки сварочной АДЦ 627.03.00.000 (АДЦ 627.03.00.000-01) на свариваемый трубопровод и ее снятия с него, а также при наладке и техническом обслуживании горелки с неплавящимся электродом. Гайка 10 предназначена для осуществления фиксации рычага 2 в рабочем положении или его расфиксации при необходимости выполнить его поворот. Винт — копир 8 обеспечивает установление (задание) требуемой для процесса сварки длины межэлектродного промежутка (длины сварочной дуги) и ее поддержание (с помощью пружины рычага 2) с

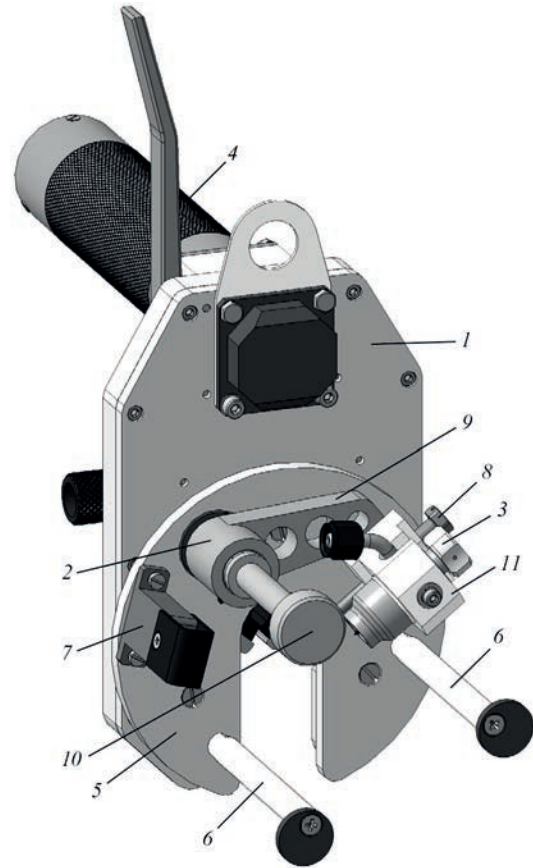


Рис. 2. Общий вид головки сварочной АДЦ 627.03.00.000 (АДЦ 627.03.00.000-01) со стороны планшайбы (4 — рукоятка поляя, остальные обозначения см. в тексте)

точностью не хуже  $\pm 0,2$  мм при вращении планшайбы 5 вокруг свариваемого трубопровода.

Механизмы вращения и механизмы зажима (фиксации) всех сварочных головок, разработанных в НИЦ СКАЭ, а также механизмы АРНД головок построены по единым унифицированным схемам и отличаются для механизмов вращения только мощностью мотор-редуктора и коэффициентом редукции для каждой модели головки, а для механизмов зажима (фиксации) на свариваемой трубе — геометрией и площадью захватов. Механизмы вращения ряда головок приводятся в движение с помощью унифицированных регулируемых реверсивных электроприводов, выполненных на мотор-редукторах 2657 W 024 CR 30/1 фирмы «Faull Haber» и энкодерах (датчиках скорости вращения вала электродвигателей) фирмы «Kübler», вырабатывающих 125 или 128 импульсов за один полный оборот вала электродвигателя. Управление подобными приводами подробно рассмотрено в работе [8]. На рис. 3 показан общий вид вращателей всех разработанных в НИЦ СКАЭ моделей головок. Передача крутящего момента от выходного вала мотор-редуктора привода 2 к шестерне приводной 3 редуктора 1 головки сварочной осуществляется с помощью вала 4.



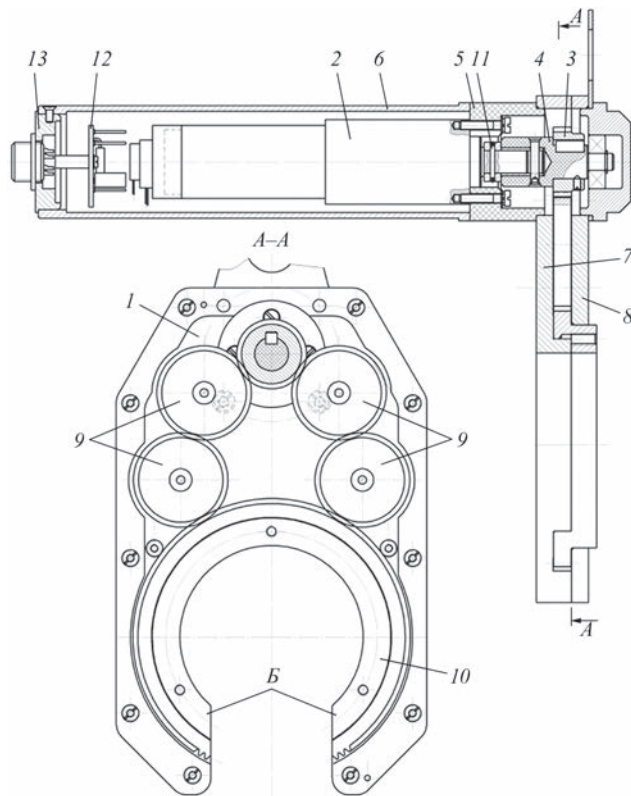


Рис. 3. Общий вид вращателя всех разработанных в НИЦ СКАЭ моделей головок сварочных (со стороны их механизма зажима (обозначения см. в тексте)

Защита привода 2 от воздействия электрических потенциалов, которые могут возникать на узлах и деталях редуктора 1, обеспечивается как с помощью вала 4, так и выполненной из электроизоляционного материала проставки 5, а защита от воздействия механических факторов внешней среды — с помощью рукоятки цилиндрической 6, в которой, кроме привода 2, размещены фильтр-ограничитель 12 и вилка 13 для подключения к вращателю коммуникационного кабеля. Редуктор 1 головки сварочной включает корпус 7, крышку 8 этого корпуса, набор шестерен 9 и шестерню выходную 10. С целью обеспечения возможности установления головок сварочных на трубы «бесконечной» длины корпус 7, крышка 8 и шестерня выходная 10 и планшайба выполнены с пазом Б. Шестерня выходная 10 редуктора 1 находится в зацеплении с двумя шестернями набора шестерен 9, что обеспечивает плавное и непрерывное вращение шестерни выходной 10 независимо от ее углового положения относительно своих двух ортогональных осей (осей плоскости, перпендикулярной продольной оси свариваемого трубопровода). Две другие шестерни набора шестерен 9 находятся в зацеплении с шестерней приводной 3, закрепленной на вале 4 с помощью шпоночного соединения. Вал 4 выполнен в виде цилиндрического тела вращения из электроизоляционного материала, которое с помощью внутренней стальной

штулки и штифта 11 скреплено с валом выходным привода 2. Штифт 11 обеспечивает защиту привода 2 от превышения максимально допустимого значения нагрузки — при достижении или превышении такого значения штифт 11 срезается и подлежит замене после устранения причин чрезмерной нагрузки. На шестерне выходной 10 установлена планшайба.

Так как при конструировании автоматов АДЦ 627 УЗ.1, АДЦ 625 УЗ.1, АДЦ 626 УЗ.1, АДЦ 628 УХЛ4, АДЦ 629 УХЛ4 и АДЦ 630 УХЛ4 для GTAW учитывался наиболее прогрессивный мировой опыт в этом направлении и технологические возможности отечественного производства, механизмы зажима (фиксации) разработанных в НИЦ СКАЭ головок сварочных на свариваемой трубе во многом схожи с механизмами аналогичного назначения фирмы «Polysoude» (Франция). Основой такого технического решения послужили свойства «ломающегося» рычага. Общий вид механизмов зажима головок сварочных, разработанных в НИЦ СКАЭ, приведен на рис. 4. В состав механизма зажима входят винт 1, гайки 2 и 3, оси 4 и 5, маховички 6, стойки 7 и 8, рычаг 9, шатун 10, щеки 11 и 12, захваты 13, вставки 14. Винт 1 выполнен в виде шпильки, имеющей с одного конца правую резьбу, а с другого — левую. Установленная в один из захватов 13 гайка 2 также имеет правую резьбу, а установленная в другой захват 13 гайка 3 — левую. При вращении винта 1 (с помощью маховичков 6) захваты 13 сходятся или расходятся — в зависимости от направления вращения маховичков 6. Помимо этого, захваты 13 с помощью осей 4 связаны с рычагом 9, который, в свою очередь, с помощью оси 5 соединен с шатуном 10. Так как в щеке 12 предусмотрены два паза Г и один паз Д, то при вращении рычага 9 оси 4 приобретают возможность перемещаться в пазах Г, а ось 5 — в пазе Д, при этом захваты 13 поворачиваются вокруг гаек 2 и 3. В одном из возможных крайних положений рычага 9 оси 4 окажутся смещенными вниз (в вертикальном направлении) на 0,5 мм относительно оси 5, в результате чего механизм зажима придет в состояние, при котором он окажется кинематически замкнутым. С учетом конструкции и кинематической схемы механизма зажима для фиксации головки сварочной на свариваемом трубопроводе следует установить эту головку на свариваемый трубопровод, рычаг 9 механизма зажима перевести в крайнее левое положение и вращением маховичков 6 свести захваты 13 до их соприкосновения с наружной поверхностью свариваемого трубопровода, после чего рычаг 9 установить в крайнее правое положение и произвести поворот маховичков 6 на пол-оборота в направлении, обеспечивающем сведение захватов 13, и перевести рычаг 9 (со щелч-

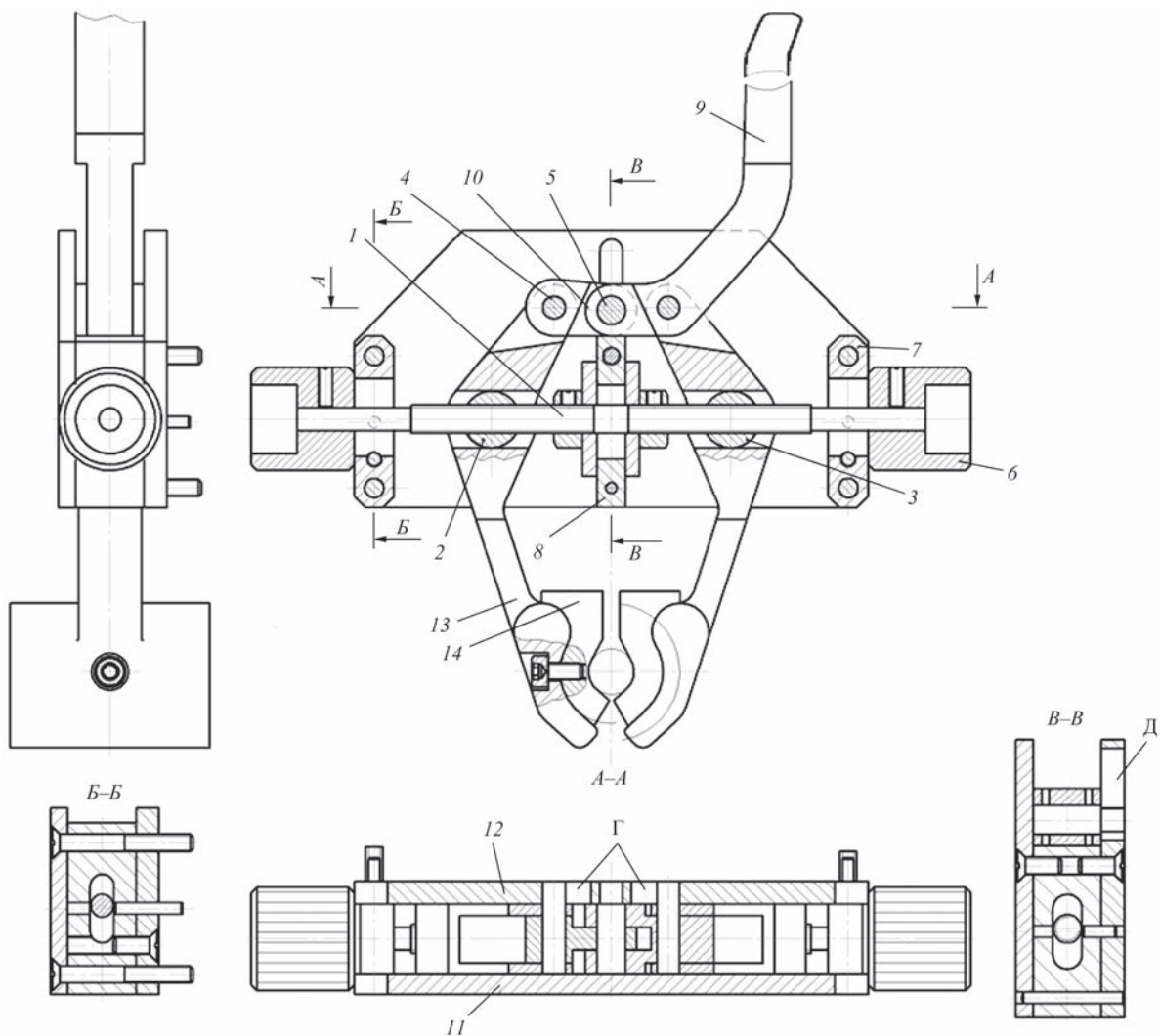


Рис. 4. Общий вид механизма зажима всех разработанных в НИЦ СКАЭ моделей головок сварочных (обозначения см. в тексте)

ком) в крайнее левое положение. Затем необходимо проверить надежность фиксации головки сварочной на свариваемом трубопроводе и в случае обнаружения недостаточности зажима головки повторить в приведенной последовательности все операции по ее фиксации.

Однако в процессе внедрения и опытно-промышленной эксплуатации автоматов АДЦ 627 УЗ.1, АДЦ 625 УЗ.1 и АДЦ 626 УЗ.1 для GTAW выявились и недостатки механизмов зажима головок сварочных, общий вид которых приведен на рис. 4. К наиболее существенным недостаткам таких механизмов зажима можно отнести необходимость их предварительной настройки на образцах, наружный диаметр которых совпадает или очень близок к наружному диаметру подлежащего сварке трубопровода, высокие требования к отсутствию овальности его наружной поверхности, невозможность достижения точности центрирования головки сварочной на свариваемом трубопроводе, обуславливающие необходимость применения АРНД, необходимость для обеспечения

минимально возможного межтрубного расстояния ориентировать определенное пространственное положение головки сварочной из-за наличия в ее механизме зажима рычага 9. В значительной степени отмеченных недостатков лишены разработанные в НИЦ СКАЭ в 2017–2019 гг. с учетом опыта НИКИМТ и других организаций альтернативные механизмы зажима, общий вид которых (типичный) приведен на рис. 5. Как видно из этого рисунка, предложенный механизм зажима состоит из двух базовых пластин 1 и 2, разделенных стойками 3. По направляющим 4 и 5, одна из которых выполнена четырехгранной, с помощью винта 6, имеющего на своих противоположных окончаниях правую и левую резьбу и вращающегося при помощи маховичка 7 с откидывающейся рукояткой, могут перемещаться в двух противоположных направлениях зажимы (призмы) 8 и 9. Одним из достоинств такого технического решения является сохранение радиусов вращающихся частей головок сварочных, значения которых приведены в таблицах 1 и 2. К другим достоинствам следует

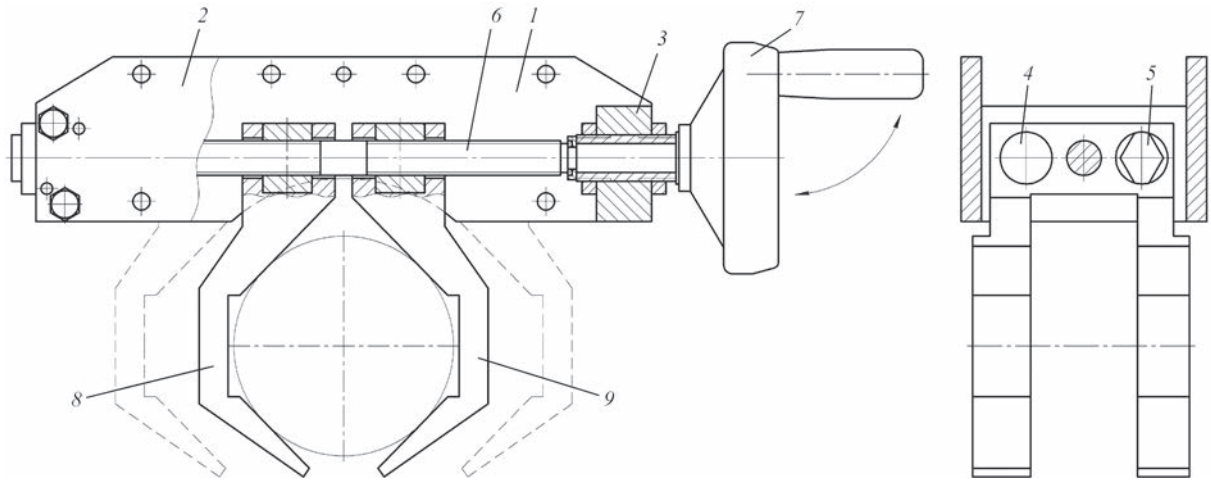


Рис. 5. Общий вид разработанных в НИЦ СКАЭ альтернативных механизмов зажима для всех моделей головок сварочных (обозначения см. в тексте)

отнести то, что благодаря точному выполнению рабочих поверхностей зажимов и синхронному их перемещению при сведении и разведении, а также возможности регулирования положения оси механизма зажима относительно оси вращения головки сварочной с последующей фиксацией этого положения при ее сборке предложенный механизм зажима обеспечивает точное центрирование головки сварочной на свариваемой трубе, при этом отпадает необходимость в поддерживании в процессе сварки заданной длины дуги (например, с помощью устройства СДД или АРНД).

Вместе с тем для регулирования, предварительного задания (программирования) и автоматического поддержания стабильным в процессе сварки напряжения дуги в соответствии с заданным значением и избранным алгоритмом цикла сварки в головках сварочных АДЦ 625.03.00.000 и АДЦ 626.03.00.000 предусмотрено унифицированное устройство АРНД. Механизм этого устройства представляет собой неподвижный корпус, в котором параллельно плоскости планшайб упомянутых головок сварочных размещен мало-мощный реверсивный мотор-редуктор постоянного тока (например, 1524 T 024 SR IE2 — 128 16/7 фирмы «Faull Naber»). Выходной вал мотор-редуктора связан зубчатой передачей с установленным в неподвижном корпусе механизма АРНД ходовым винтом, чем обеспечивается преобразование вращательного движения вала мотор-редуктора (в любом из двух возможных направлений) в возвратно-поступательное движение ходового винта, вызывающее соответствующее линейное перемещение ползуна по двум неподвижным цилиндрическим направляющим. В свою очередь, ползун через металлический кронштейн и изолятор (выполненный из электроизоляционного материала) жестко соединен с корпусом горелки сварочной, чем обеспечивается возможность пе-

ремещения этой горелки по оси, совпадающей с осью установленного в горелке неплавящегося электрода в одном из двух возможных направлений. Выбор этого направления при отработке перед заданным циклом сварки происходит автоматически и зависит от знака сигнала ошибки, определяемого рассогласованием текущего и заданного (программируемого) значений напряжения дуги [4, 9]. Для предотвращения повреждения редуктора механизма АРНД при нахождении его ползуна в одном из крайних положений ходовой винт этого механизма оснащен защитной муфтой. Подробное описание работы контроллера, управляющего функционированием устройства АРНД головок сварочных АДЦ 625.03.00.000 и АДЦ 626.03.00.000, приведено в работе [8].

Автоматы АДЦ 627 УЗ.1, АДЦ 625 УЗ.1, АДЦ 626 УЗ.1 для GTAW неповоротных стыков металлических трубопроводов, содержащие выше описанные приводы, не только успешно выдержали комплексные технологические и эксплуатационные испытания в ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины и НИЦ СКАЭ, но и прошли опытно-промышленную проверку в ОП «Атомэнергомаш», ОП «КБ «Атомприлад» ГП «НАЭК «Энергоатом», а также в ООО «ТИСЭР», причем опытные образцы автоматов АДЦ 627 УЗ.1 с головками сварочными АДЦ 627. 03. 00. 000 и АДЦ 627. 03. 00. 000-01 находятся в эксплуатации с 2010 г. и по сей день. Результаты опытно-промышленной проверки положительны. В настоящее время в НИЦ СКАЭ завершаются комплексные технологические и эксплуатационные испытания автоматов АДЦ 628 УХЛ4, АДЦ 629 УХЛ4 и АДЦ 630 УХЛ4 для GTAW неповоротных стыков металлических трубопроводов с колебаниями неплавящегося электрода и механизированной подачей присадочной проволоки.

**Таблица 2.** Некоторые основные параметры и характеристики головок сварочных автоматов для GTAW с колебаниями неплавящегося электрода и подачи присадочной проволоки

Номер п/п	Наименование параметра, характеристики	Головка сварочная (марка или обозначение и разработчик/производитель)			
		АДЦ 628.03.00.000 (для сварки в среде аргона), Украина, НИЦ СКАЭ	АДЦ 629.03.00.000 (для сварки в среде аргона), Украина, НИЦ СКАЭ	АДЦ 630.03.00.000 (для сварки в среде аргона), Украина, НИЦ СКАЭ	ТАМ - 2 (для сварки в среде аргона), Россия, НИКИМТ
1	Минимальный диаметр свариваемой трубы, мм	76	114	159	76
2	Максимальный диаметр свариваемой трубы, мм	114	159	219	133
3	Максимальный сварочный ток, А	250			
4	Диапазон регулирования скорости сварки, м/ч	1,7...27,0	0,95...13,50		3,0...14,0
5	Диаметр неплавящегося (вольфрамового) электрода, мм	3,0...4,0			2,0...4,0
6	Диаметр присадочной проволоки, мм	1,2; 1,4; 1,6			1,2; 1,4; 1,6; 2,0
7	Радиус вращающихся частей, мм, не более	152,0	180,5	222	R*+130
8	Диапазон регулирования скорости подачи присадочной проволоки, м/ч	4...55			10...50
9	Максимальное радиальное перемещение горелки (неплавящегося электрода), мм	35,5		41,5	33,0
10	Максимальное перемещение горелки (неплавящегося электрода) поперек стыка, мм	± 12	± 17		± 12
11	Охлаждение	Жидкостное (водяное)			
12	Габаритные размеры:				
	длина, мм, не более	437	480	440	275
	ширина, мм, не более	303	350	440	340
	высота, мм, не более	402	475	589	450
13	Масса головки (без массы коммуникационных кабелей и шлангов), кг, не более	13,5	16,0	22,0	29,0

Окончание табл. 2.

Номер п/п	Наименование параметра, характеристики	Головка сварочная (марка или обозначение и разработчик/производитель)		
		ТАМ - 3 (для сварки в среде аргона), Россия, НИКИМТ	MU –IV 76/195 P со встроенным механизмом подачи присадочной проволоки (для сварки в среде аргона), Франция, POLYSOUDE	MU –IV 114/275 P со встроенным механизмом подачи присадочной проволоки (для сварки в среде аргона), Франция, POLYSOUDE
1	Минимальный диаметр свариваемой трубы, мм	133	76	114
2	Максимальный диаметр свариваемой трубы, мм	219	195	275
3	Максимальный сварочный ток, А	250		290
4	Диапазон регулирования скорости сварки, м/ч	3,0...14,00	0,5...20,0	
5	Диаметр неплавящегося (вольфрамового) электрода, мм	2,0...4,0	2,0...3,2	
6	Диаметр присадочной проволоки, мм	1,2; 1,4; 1,6; 2,0	0,8	
7	Радиус вращающихся частей, мм, не более	R*+155	205	250
8	Диапазон регулирования скорости подачи присадочной проволоки, м/ч	10...50	0,5...55	
9	Максимальное радиальное перемещение горелки (неплавящегося электрода), мм	33,0	20	
10	Максимальное перемещение горелки (неплавящегося электрода) поперек стыка, мм	± 12	± 15	
11	Охлаждение	Жидкостное (водяное)		
12	Габаритные размеры:			
	длина, мм, не более	90	500	616
	ширина, мм, не более	520	410	500
	высота, мм, не более	550	500	530
13	Масса головки (без массы коммуникационных кабелей и шлангов), кг, не более	35,0	32,0	35,0

*Примечания.* 1) R\* — номинальный наружный радиус свариваемых трубопроводов, мм. 2) Горелки головок сварочных всех указанных в табл. 2 марок и разработчиков / производителей снабжены керамическими соплами и газовыми линзами для формирования ламинарного потока вытекающего из них защитного инертного газа или их смесей.

Механизмы вращения и зажима головок сварочных АДЦ 628.03.00.000, АДЦ 629.03.00.000 и АДЦ 630.03.00.000 для GTAW выполнены аналогично таким же механизмам головок сварочных АДЦ 627.03.00.000, АДЦ 627.03.00.000-01,

АДЦ 625.03.00.000 и АДЦ 626.03.00.000, при этом в механизмах вращения головок сварочных АДЦ 628.03.00.000, АДЦ 629.03.00.000 и АДЦ 630.03.00.000 используются те же фильтры-ограничители и принципы построения редукторов,



что и в головках сварочных АДЦ 627. 03. 00. 000, АДЦ 627. 03. 00. 000-01, АДЦ 625. 03. 00. 000 и АДЦ 626. 03. 00. 000, а механизмы зажима отличаются от последних только захватами. Общий вид конструкции типичного исполнения головок сварочных АДЦ 628.03.00.000, АДЦ 629.03.00.000 и АДЦ 630.03.00.000 приведен на рис. 6. В табл. 2 приведены некоторые основные сравнительные параметры и характеристики предлагаемых рынком головок сварочных автоматов для GTAW металлических трубопроводов с колебаниями неплавящегося электрода и подачей присадочной проволоки разработки и производства различных компаний [6, 10, 11].

Особенностью головок сварочных АДЦ 628.03.00.000, АДЦ 629.03.00.000 и АДЦ 630.03.00.000 является то, что помимо закрепленных в неподвижных корпусах этих головок и установленных на их планшайбах исполнительных механизмов (горелка, механизмы АРНД и поперечного перемещения горелки (неплавящегося электрода), узел канала подачи присадочной проволоки), на каждой планшайбе установлен и жестко закреплен датчик пространственного положения (акселерометр) электрода. Механизмы вращения головок сварочных АДЦ 628.03.00.000, АДЦ 629.03.00.000 и АДЦ 630.03.00.000 и их механизмы зажима обеспечивают реализацию тех же опций, что и аналогичные механизмы головок сварочных АДЦ 627.03.00.000, АДЦ 627.03.00.000-01, АДЦ 625.03.00.000 и АДЦ 626.03.00.000. В механизме вращения головок сварочных АДЦ 628.03.00.000, АДЦ 629.03.00.000 и АДЦ 630.03.00.000 в качестве основных компонентов привода использован реверсивный мотор-редуктор 3257G 024 CR 32/3 фирмы «Faull Haber» и энкодер 05.2420.1211.0128 фирмы «Kübler».

Конструктивная база горелки головок сварочных АДЦ 628.03.00.000, АДЦ 629.03.00.000 и АДЦ 630.03.00.000 — ее металлический корпус прямоугольной формы с двумя внутренними герметичными полостями, одна из которых предназначена для наполнения охлаждающей жидкостью (водой) с целью осуществления ее теплообмена с указанным корпусом, а вторая — для функционирования в качестве камеры защитного (инертного) газа, поступающего в горелку через соответствующий патрубок из магистрали газоснабжения автоматов для GTAW и вытекающего из нее через 10 отверстий диаметром 1,2 мм, что в сочетании с установленным во внутренней нижней части корпуса горелки газовым фильтром обеспечивает ламинарное вытекание защитного (инертного) газа в направлении зоны сварки через керамическое сопло горелки.

Механизм АРНД в головках сварочных АДЦ 628.03.00.000, АДЦ 629.03.00.000 и АДЦ 630.03.00.000 предназначен для обеспечения поддержания в процессе сварки предварительно заданной (запрограммированной) длины сварочной дуги и по построению аналогичен механизму АРНД головок сварочных АДЦ 625.03.00.000 и АДЦ 626.03.00.000. Особенность механизма АРНД

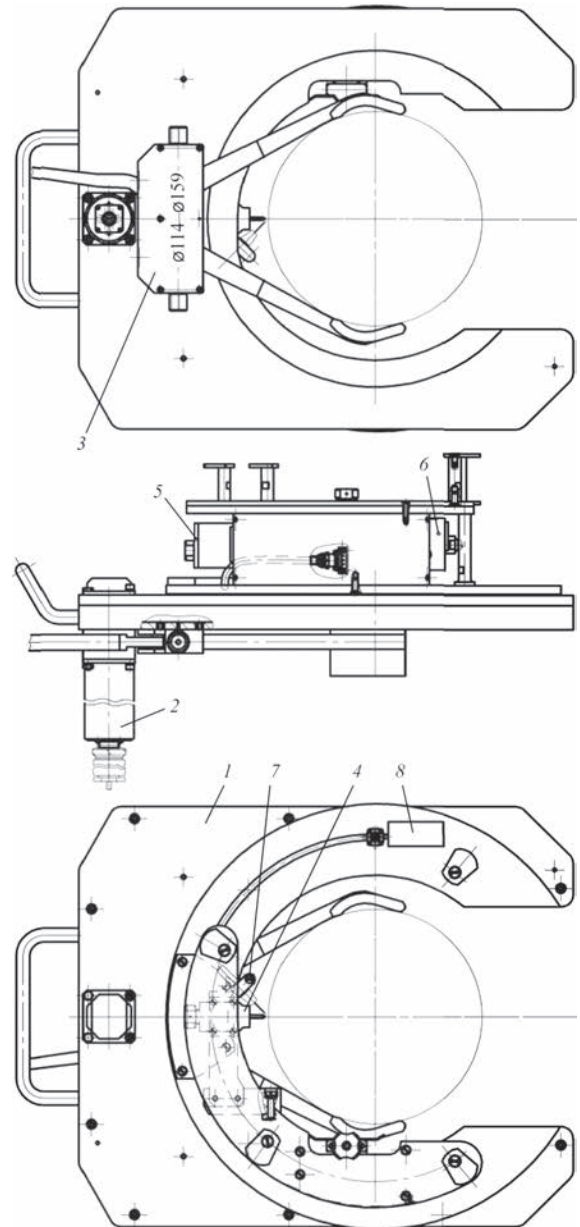


Рис. 6. Типичный общий вид головок сварочных АДЦ 628.03.00.000, АДЦ 629.03.00.000 и АДЦ 630.03.00.000: 1 — корпус; 2 — механизм вращения (вращатель); 3 — механизм зажима (фиксации) головки сварочной на свариваемой трубе; 4 — горелка; 5 — механизм АРНД; 6 — механизм поперечного перемещения неплавящегося электрода (колебатель); 7 — лайнер; 8 — датчик пространственного (углового) положения неплавящегося электрода

в головках сварочных АДЦ 628.03.00.000, АДЦ 629.03.00.000 и АДЦ 630.03.00.000 заключается в том, что этот механизм жестко связан с механизмом



поперечного перемещения горелки (неплавящегося электрода), предназначенного для направления («нацеливания») неплавящегося электрода на свариваемый стык и обеспечения корректировки пространственного положения этого электрода поперек упомянутого стыка, а также для осуществления колебаний неплавящегося электрода поперек стыка в соответствии с запрограммированными значениями амплитуды и частоты колебаний с движениями электрода по прямой [4, 9]. В качестве привода в механизме АРНД головок сварочных АДЦ 628.03.00.000, АДЦ 629.03.00.000 и АДЦ 630.03.00.000 используется реверсивный мотор-редуктор 2224 U 024 SR 20/1 фирмы «Faull Haber», а в механизме поперечного перемещения неплавящегося электрода (механизме колебателя) — реверсивный мотор-редуктор 2642 W 024 CR фирмы «Faull Haber» со встроенным энкодером 05.24.20.1111.0128 фирмы «Kübler», что дает возможность не только регулировать амплитуду и частоту колебаний электрода и поддерживать в процессе сварки стабильными их запрограммированные значения, но и автоматически определять направления перемещения неплавящегося электрода.

Конструктивно механизмы АРНД и колебателя неплавящегося электрода в головках сварочных АДЦ 628.03.00.000, АДЦ 629.03.00.000 и АДЦ 630.03.00.000 объединены в один блок, при этом с целью оптимизации габаритных размеров этих головок механизм АРНД установлен перпендикулярно относительно плоскости планшайбы, а механизм колебателя — параллельно ей.

Узел канала подачи присадочной проволоки (узел лайнера) обеспечивает направление (подачу) присадочной проволоки в зону сварочной дуги (зону сварочной ванны), корректирование пространственного положения присадочной проволоки относительно неплавящегося электрода горелки, смену и фиксацию пространственного положения лайнера при изменении направления сварки (направления вращения планшайбы).

Наличие установленного на планшайбе каждой из головок сварочных АДЦ 628.03.00.000, АДЦ 629.03.00.000 и АДЦ 630.03.00.000 трехкоординатного датчика пространственного положения (акселерометрического типа) с электронным выходом предоставляет возможность автоматического определения углового положения неплавящегося электрода в плоскости (сечении) свариваемого стыка относительно вектора гравитации, что обеспечивает выполнение запрограммированного цикла сварки независимо от первоначального пространственного положения неплавящегося электрода, а также получение достоверной информации о его угловом положении для осуществления про-

граммы цикла сварки в соответствии с адекватными осями управления.

Механизм подачи присадочной проволоки головок сварочных АДЦ 628.03.00.000, АДЦ 629.03.00.000 и АДЦ 630.03.00.000 предназначен для обеспечения передвижения с запрограммированной скоростью присадочной проволоки в зону сварки и выполнен в виде отдельного внешнего блока, что позволяет использовать для присадочной проволоки стандартную катушку диаметром до 300 мм. В качестве привода этого механизма использован электродвигатель постоянного тока с номинальной мощностью 100 Вт и встроенным энкодером, вырабатывающим 500 импульсов за один полный оборот выходного вала электродвигателя. Основными узлами механизма подачи присадочной проволоки являются два редуктора и стандартный, изготавливаемый в Украине, четырехроликковый механизм прижима. Первый из редукторов — одноступенчатый цилиндрический — обеспечивает первоначальную редукцию с коэффициентом 1:3, а с помощью второго редуктора — червячного типа — осуществляется редукция с коэффициентом 1:100. Выходной вал второго редуктора соединен с четырехроликковым механизмом прижима, в котором обеспечивается прижим с подпружиниванием роликов подачи к присадочной проволоке и ее направление в канал подачи. Управление скоростью подачи осуществляется с помощью входящего в состав блока интерфейса системы управления (СУ) автоматов АДЦ 628 УХЛ4, АДЦ 629 УХЛ4 и АДЦ 630 УХЛ4 для GTAW контроллера привода подачи присадочной проволоки [8], формирующего напряжение на якоре электродвигателя и обеспечивающего регулирование и поддержание стабильного значения запрограммированной скорости подачи присадочной проволоки за счет обратной связи, осуществляемой путем обработки последовательности импульсов, поступающих в этот контроллер с информационного выхода встроенного в электродвигатель оптоэлектрического энкодера.

Система водяного охлаждения головок сварочных АДЦ 628.03.00.000, АДЦ 629.03.00.000 и АДЦ 630.03.00.000 построена по принципу замкнутой системы жидкостного охлаждения и базируется на основе применения серийных отечественных автономных блоков водохлаждения, предназначенных для обеспечения охлаждения и циркуляции рабочей жидкости в полостях горелок с водяным охлаждением установок для TIG – сварки на сварочном токе до 500 А.

Управление работой механизмов и систем автоматов АДЦ 628 УХЛ4, АДЦ 629 УХЛ4 и АДЦ 630 УХЛ4, в том числе исполнительных механизмов головок сварочных АДЦ 628.03.00.000, АДЦ 629.03.00.000 и АДЦ 630.03.00.000, осу-

ществляется одной и той же СУ с помощью ее аппаратно-программных средств. Обязательным компонентом СУ является стандартный персональный компьютер. Программное обеспечение разработанных в НИЦ СКАЭ автоматов для GTAW выполнено на базе применения интегрированной среды Lab VIEW и персонального компьютера с операционными системами Windows XP-SP2 или Windows 7 или Windows 10.

### Выводы

1. Разработка, изготовление, испытания и результаты опытно-промышленной эксплуатации опытных образцов автоматов АДЦ 627 УЗ.1, АДЦ 625 УЗ.1 и АДЦ 626 УЗ.1 для орбитальной сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов или их смесей (преимущественно методами автопрессовки, последовательного проплавления и антипрессовки) и разработка, изготовление и испытания опытных образцов автоматов АДЦ 628 УХЛ4, АДЦ 629 УХЛ4 и АДЦ 630 УХЛ4 для орбитальной сварки с колебаниями неплавящегося электрода и подачей присадочной проволоки и дальнейшее освоение промышленного изготовления этих автоматов и их составных частей создают все необходимые предпосылки для оснащения монтажных организаций и ремонтных подразделений и предприятий отрасли энергетики и других отраслей экономики Украины отечественным современным оборудованием, обеспечивающим возможность реализации как отработанных, так и новых технологий автоматической сварки неповоротных стыков тонкостенных трубопроводов с номинальным наружным диаметром от 7 до 76 мм, а также трубопроводов с с номинальным наружным диаметром от 76 до 219 мм с толщиной стенки до 12 мм и разделкой кромок из сталей аустенитного, перлитного и мартенситного классов, высоколегированных сплавов, цветных металлов и сплавов (кроме алюминия и его сплавов).

2. Наличие в составе СУ разработанных автоматов АДЦ 628 УХЛ4, АДЦ 629 УХЛ4 и АДЦ 630 УХЛ4 персонального компьютера дает возможность осуществлять не только адаптивное управление процессами GTAW и оборудованием для ее реализации, но и документировать текущие значения параметров этих процессов и режимов сварки, проводить их ретроспективный анализ и сравнение с отработанными компьютерными моделями, получать исходную информацию для выполнения достоверного неразрушающего контроля, диагностики и прогнозных расчетов надежности сварных соединений неповоротных стыков трубопроводов.

3. Дальнейшее развитие отечественных технологий GTAW неповоротных стыков трубопроводов и оборудования для их реализации в на-

правлении повышения уровня автоматизации, приближенного к роботизации, возможно за счет модернизации некоторых исполнительных механизмов головок сварочных для GTAW, применения видеосенсоров, создания банка типовых режимов сварки, углубленного использования современных (например, сигнальных) микропроцессоров и энергонезависимой памяти.

4. Рассмотренные и описанные в настоящей работе механизмы автоматов для GTAW могут успешно применяться в сварочных автоматах и установках для выполнения неплавящимся электродом в среде инертных газов и их смесей прямо- и криволинейных швов.

### Список литературы

1. Букаров В.А. (2002) Технология дуговой автоматической сварки в защитных газах. *Сварка в атомной промышленности и энергетике. Труды НИКИМТ*. Москва, АТ, Т.1, сс. 149–210.
2. Гриненко В.И., Рощин В.В., Хаванов В.А., Полосков С.И. (2008) К вопросу об автоматизации сварки монтажных стыков трубопроводов атомных электростанций. *Технология машиностроения*, **8**, 48–51.
3. Полосков С.И., Букаров В.А., Ищенко Ю.С. (2000) Влияние отклонений параметров режима аргонодуговой сварки неповоротных стыков труб на качество сварных соединений. *Сварка и смежные технологии. Всероссийская научно-техническая конференция. Сб. докладов*. Москва, МЭИ (ТУ), сс. 22–25.
4. Смирнов В.В. (ред.) (1986) *Оборудование для дуговой сварки*. Справ. пособие. Ленинград, Энергоатомиздат.
5. Махлин Н.М., Коротинский А.Е., Богдановский В.А. и др. (2011) И.А Одно- и многопостовые системы для автоматической сварки неповоротных стыков трубопроводов атомных электростанций. *Автоматическая сварка*, **11**, 34–44.
6. Махлин Н.М., Коротинский О.С., Свириденко А.О. (2013) Апаратно-програмні комплекси для автоматичного зварювання неповоротних стиків трубопроводів атомних електростанцій. *Наука та інновації*, **9**, 6, 31–45.
7. Махлин Н.М., Попов В.Е., Федоренко Н.С. и др. (2013) Применение автоматической орбитальной сварки при изготовлении чехлов нейтронных измерительных каналов ядерных реакторов. *Автоматическая сварка*, **6**, 29–34.
8. Махлин Н.М., Буряк В.Ю. (2019) Приводы механизмов автоматов для орбитальной TIG сварки стыков металлических трубопроводов энергоблоков АЭС. *Там же*, **9**, 62–69.
9. Гладков Э.А (2006) *Управление процессами и оборудованием при сварке*. Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. Москва, Академия.
10. Гриненко В.И., Хаванов В.А., Белоусов А.Н., Полосков С.И. (2002) Опыт НИКИМТ по созданию оборудования для орбитальной сварки труб в монтажных условиях. *Сварка в атомной промышленности и энергетике. Труды НИКИМТ*. Москва, АТ, Т.2, сс. 310–339.
11. (2019) <http://www.polysoude.com>

### References

1. Bukarov, V.A. (2002) Technology of automatic shielded-arc welding. In: *Welding in nuclear industry and power engineering. Trudy NIKIMT*. Moscow, AT, Vol.1, 149-210 [in Russian].
2. Grinenko, V.I., Roshchin, V.V., Khavanov, V.A., Poloskov, S.I. (2008) To problem of automation of welding of field joints in nuclear plant piping. *Tekhnologiya Mashinostroeniya*, **8**, 48-51 [in Russian].
3. Poloskov, S.I., Bukarov, V.A., Ishchenko, Yu.S. (2000) Effect of parameter deviations of argon-arc welding of pipe position butt joints on quality of welded joints. In: *Proc.*

- of All-Russian Sci.-Techn. Conf. on Welding and Related Technologies.* Moscow, MEI (TU), 22-25 [in Russian].
4. (1986) *Arc welding equipment: Refer. book.* Ed. by V.V.Smirnov. Leningrad, Energoatomizdat [in Russian].
  5. Makhlin, N.M., Korotynsky, A.E., Bogdanovsky, V.A. et al. (2011) Single- and multioperator systems for automatic welding of position butt joints of nuclear plant piping. *The Paton Welding J.*, **11**, 28-36.
  6. Makhlin, N.M., Korotynsky, O.E., Svyrydenko, A.O. (2013) Hardware and software complexes for automatic welding of position butt joints of nuclear plant pipings. *Nauka ta Innovatsii*, **9(6)**, 31-45 [in Ukrainian].
  7. Makhlin, N.M., Popov, V.E., Fedorenko, N.S. et al. (2013) Application of automatic orbital welding in manufacture of housings of neutron measurement channels of nuclear reactors. *The Paton Welding J.*, **6**, 28-33.
  8. Makhlin, N.M., Buryak, V.Yu. (2019) Drives of mechanisms of automatic machines for orbital TIG welding of metal pipeline butt joints in NPP power units. *Ibid.*, **9**, 47-52.
  9. Gladkov, E.A. (2006) *Control of processes and equipment in welding: Manual for students of higher education inst.* Moscow, Akademiya [in Russian].
  10. Grinenko, V.I., Khavanov, V.A., Belousov, A.N., Poloskov, S.I. (2002) Experience of NIKIMT on creation of equipment for orbital welding of pipes in site. In: *Welding in nuclear industry and power engineering. Trudy NIKIMT.* Moscow, AT, Vol. 2, 310-339 [in Russian].
  11. (2019) <http://www.polysoude.com>

## УДОСКОНАЛЕННЯ ГОЛОВОК ЗВАРЮВАЛЬНИХ АВТОМАТІВ ДЛЯ ОРБІТАЛЬНОГО ЗВАРЮВАННЯ TIG ТРУБОПРОВОДІВ ЕНЕРГОБЛОКІВ АЕС

Л.М. Лобанов<sup>1</sup>, Н.М. Махлін<sup>2</sup>, В.Є. Водолазський<sup>2</sup>, В.Є. Попов<sup>2</sup>, Д.С. Оліяненко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ІЕЗ ім. С.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

<sup>2</sup>ДП «НДЦ ЗКАЕ ІЕЗ ім. С.О. Патона НАН України».

03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: electro@paton.kiev.ua

До точності і надійності виконавчих механізмів сучасних автоматів для орбітального зварювання (GTAW) неповоротних стиків трубопроводів енергоблоків АЕС пред'являється ряд специфічних вимог, зокрема, до найбільших діаметрів планшайб головок зварювальних таких автоматів, на яких розміщуються, як правило, всі або більшість цих механізмів. У даній роботі описані розроблені в НДЦ ЗКАЕ конструкції виконавчих механізмів сучасних автоматів для GTAW неповоротних стиків трубопроводів АЕС. Розроблено механізми затиску (фіксації) головок зварювальних на зварюваній трубі, механізм стабілізації довжини дуги, механізм обертання (обертача) планшайби навколо осі труб, що зварюються, механізм автоматичного регулювання напруги дуги, механізм коливань неплавкого електрода (поперек зварного шва) і механізм подачі присадного дроту. Наведено результати промислової експлуатації деяких розроблених в НДЦ ЗКАЕ автоматів для GTAW, в яких використані описані механізми. Мета цієї роботи — представлення результатів робіт, проведених в НДЦ ЗКАЕ в напрямку створення складових частин автоматів для GTAW неповоротних стиків тонкостінних трубопроводів із сталей аустенітного, перлітного класів, вуглецевих сталей та сплавів кольорових металів (крім алюмінію та його сплавів). Бібліогр. 11, табл. 2, рис. 6.

*Ключові слова:* дугове автоматичне орбітальне зварювання, неплавкий електрод, інертні гази, головка зварювальна, планшайба, механізми виконавчі, обертач планшайби, коливач неплавкого електрода, присадний дріт

## MECHANISMS OF HEADS OF AUTOMATIC WELDING MACHINES FOR ORBITAL WELDING OF PIPELINES OF NPP POWER UNITS

L.M. Lobanov<sup>1</sup>, N.M. Makhlin<sup>2</sup>, V.E. Vodolazsky<sup>2</sup>, V.E. Popov<sup>2</sup>, D.S. Oliyanenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine.

11 Kazymyr Malevich Str., 03150, Kyiv, Ukraine. E-mail: office@paton.kiev.ua

<sup>2</sup>SE «Scientific and engineering centre of welding and control in the field of nuclear energy of Ukraine of E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine, 11 Kazymyr Malevich Str., 03150, Kyiv, Ukraine. E-mail: electro@paton.kyiv.ua

To the accuracy and reliability of actuating mechanisms of modern automatic machines for orbital (GTAW) welding of stationary butts of pipelines of NPP power units a number of specific requirements is specified. In particular, they concern the largest diameters of faceplates of welding heads of such automatic machines, in which, as a rule, all or the most of those mechanisms are located. This paper describes the designs of actuating mechanisms of modern automatic machines for GTAW of stationary butts of NPP pipelines, designed at the Scientific and engineering centre of welding and control in the field of nuclear energy. The mechanisms of clamping (fixation) of welding heads on the pipe being welded, the mechanism for stabilizing the arc length, the mechanism for rotation (rotator) of the faceplate around the axis of the pipes to be welded, the mechanism for automatic regulation of arc voltage, the mechanism for oscillation of non-consumable electrode (across the weld) and the mechanism of filler wire feed were developed. The results of industrial operation of some automatic machines for GTAW, designed at the Scientific and engineering centre of welding and control in the field of nuclear energy, are presented, in which the described mechanisms are used. The aim of this work is to present the results of works carried out at the Scientific and engineering centre of welding and control in the field of nuclear energy in the direction of creating components of automatic machines for GTAW of stationary butts of thin-walled pipelines of steels from austenitic, pearlite classes, carbon steels and alloys of non-ferrous metals (except aluminum and its alloys). 11 Ref., 2 Tabl., 6 Fig.

*Keywords:* automatic orbital arc welding, non-consumable electrode, inert gases, welding head, faceplate, actuating mechanisms, faceplate rotator, non-consumable electrode oscillator, filler wire

Поступила в редакцію 05.08.2019