



УДК 621.791.93

## ОБОРУДОВАНИЕ, ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКИ НЕПОВОРОТНЫХ КОЛЬЦЕВЫХ СТЫКОВ

Академик **Б. Е. ПАТОН**, академик НАН Украины **К. А. ЮЩЕНКО**, **И. И. ЛЫЧКО**, канд. техн. наук,  
**В. Д. КОВАЛЕВ**, **С. И. ВЕЛИКИЙ**, **С. И. ПРИТУЛА**, инженеры (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),  
**А. Д. ЧЕПУРНОЙ**, д-р техн. наук, **С. П. НИКИТЧЕНКО**, **А. Н. ШАЛАШНЫЙ**, инженеры  
(ОАО «Азовмаш», г. Мариуполь)

Рассмотрены особенности техники и технологии электрошлаковой сварки аппаратом АШ 115 М неповоротных кольцевых стыков заготовок опорных колец кислородных конверторов на ОАО «Азовмаш». Описаны преимущества нового аппарата, обеспечивающего высокий технический уровень технологии и рентабельность производства сварных крупногабаритных металлоконструкций.

*Ключевые слова:* электрошлаковая сварка, неповоротные кольцевые швы, сварочный аппарат, информационно-регистрационная система, параметры режима сварки, визуализация

Внедрение электрошлаковой технологии в машиностроение позволило существенно повысить эффективность сварочного производства крупных металлических конструкций. Качество и работоспособность сварных соединений при электрошлаковой сварке (ЭШС) зависит от ряда технологических факторов (выбора сварочных материалов, температуры подогрева и видов термической обработки, режимов сварки, методов устранения дефектов, способах закрепления свариваемых деталей) и техники сварки (подачи электродного материала в зону сварки, способов формирования наружной поверхности шва, обеспечения непрерывного устойчивого электрошлакового процесса, соблюдения режима сварки, приемов подключения источников питания и манипулирования изделием). Очевидно, что эти факторы очень тесно связаны между собой и должны рассматриваться и учитываться одновременно.

Эффективность применения ЭШС во многом определяется наличием, технологическими возможностями и техническим уровнем сварочного оборудования, а также рациональным решением вопросов техники и технологии выполнения шва.

Конструктивные особенности сварочных аппаратов ЭШС определяются особенностями способа ЭШС (проволочный электрод, плавящийся мундштук или электрод большого сечения), размерами и конфигурацией свариваемой заготовки. В зависимости от этого сварочный аппарат может быть стационарным или переносным, перемещающимся по изделию либо по специальной колонне.

Многолетний научный опыт и современные тенденции создания сварочной аппаратуры для ЭШС позволили разработать оригинальную конструкцию модульного типа на базе современных серийных приводов.

Новый стационарный сварочный автомат АШ 115 М разработан и изготовлен на Опытном заводе сварочного оборудования в НТК «ИЭС им. Е. О. Патона» специально для ЭШС неповоротных кольцевых стыков опорных колец кислородных конверторов, выпускаемых ОАО «Азовмаш». Он существенно отличается от своего предшественника (аппарата А-1555М) как конструктивно, так и по своим функциональным техническим возможностям.

Аппарат состоит из следующих основных механических узлов: механизма перемещения, модульного блока подачи проволочных электродов, механизма колебаний электродов, механизма изменения угла наклона электродов и подвески ползуна. Электрооборудование систем управления расположено в шкафу, стоящем рядом с установкой. Кнопки управления процессом смонтированы на поворотном съемном пульте, закрепленном непосредственно на аппарате. Последний укомплектован двумя источниками постоянного тока типа ВДУ-1250 и информационно-регистрационной системой.

Конструктивные и функциональные возможности аппарата максимально адаптированы к реальным требованиям сварочного производства ОАО «Азовмаш».

Конструкция аппарата АШ 115 М имеет следующие отличительные преимущества:

блочно-модульная схема позволяет легко и оперативно осуществлять установку аппарата на



направляющий рельс и последующий демонтаж в любом месте стыка;

наличие в системе управления режима «наладка» позволяет производить настройку параметров режима (скорость подачи электродной проволоки  $v_3$ , амплитуду колебаний  $A$ , время остановки электродов у ползуна  $t$  и др.) до начала процесса сварки;

раздельная подача сварочных проволок с питанием от автономных источников сварочного тока обеспечивает возможность регулирования тепловой мощности процесса в зависимости от положения электродов относительно зеркала шлаковой ванны, что особенно важно при ЭШС криволинейных швов;

возможность оперативной корректировки с пульта управления основных параметров режима сварки;

механизированная корректировка угла наклона мундштуков в зависимости от пространственного положения шлаковой ванны;

высокая надежность работы системы управления аппаратом (с постоянным контролем за расчетными параметрами сварочного процесса);

высокая надежность работы приводов: механизмов перемещения аппарата по рельсу, подачи электродных проволок, поперечных колебаний, созданных на базе применения мотор — редукторов, с частотным регулированием скорости вращения;

наличие информационно-регистрирующей системы, снабженной персональным компьютером со специальным программным обеспечением визуализации процесса и регистрации технологических параметров.

Аппарат АШ 115 М предназначен для ЭШС вертикальных, наклонных и криволинейных стыков с радиусом кривизны  $R > 4,0$  м и углом наклона к вертикали  $\pm 25^\circ$ .

**Техническая характеристика аппарата АШ 115 М**

Толщина свариваемых кромок, мм .....	40...200
Количество электродов, шт. ....	2
Диаметр электродной проволоки, мм .....	3; 4
Значение сварочного тока на один электрод при ПВ = 100 %, А .....	до 800
Скорость подачи электродов, м/ч .....	80...450
Схема подачи электродов .....	автономная
Скорость вертикального перемещения, м/ч .....	0,6...12
Разворот электродов при ЭШС наклонных стыков, град .....	$\pm 25$
Корректировка положения электродов:	
вдоль разделки .....	$\pm 60$
поперек разделки .....	$\pm 20$
Тяговое усилие ходового механизма, кг .....	$\geq 800$
Амплитуда колебаний, мм .....	100
Направляющий рельс — гибкая полоса с эвольвентной зубчатой рейкой	

Для аппарата разработана специальная техника и технология ЭШС неповоротных кольцевых стыковых швов заготовок элементов опорных колец конверторов.

При выборе и назначении параметров режима ЭШС прямолинейных стыковых соединений исхо-

дят из того, что в процессе выполнения шва сварочный аппарат или его основные узлы перемещаются вдоль стыка, практически не изменяя своего положения по отношению к зеркалу шлаковой ванны. Поэтому в процессе сварки параметры режима остаются практически неизменными.

В случае сварки неповоротных стыков в зависимости от длины выполненного шва наблюдается непрерывное изменение пространственного положения всего аппарата по отношению к зоне сварки, а также изменяется толщина свариваемых кромок (рис. 1). Вследствие этого изменяется (уменьшается или увеличивается) значение «сухого» вылета электродов  $L_c$  и угла наклона входа электродов в зеркало шлаковой ванны  $\beta$  (рис. 2). Увеличение или уменьшение  $L_c$  относительно принятых значений может привести к недопустимому нарушению электрошлакового процесса. Изменение угла  $\beta$  существенно влияет на формирование шва и может вызвать в нем несплавление с кромками. Кроме того, увеличение или уменьшение толщины свариваемых кромок  $S$  влечет за собой изменение амплитуды колебаний электродов  $A$  и корректировку зазоров между электродами и ползуном  $\Delta_2$  и остающейся накладкой  $\Delta_3$ . Для обеспечения нормальных условий ведения процесса сварки необходимо постоянно поддерживать требуемое значение  $L_c$ . При этом осуществлять эти манипуляции необходимо во время сварки, одновременно с постоянным управлением всем процессом.

Параметры режимов сварки в первую очередь выбираются исходя из размеров стыка (толщины свариваемых кромок, радиуса кривизны и протяженности швов), а также скорости сварки.

Для аппарата АШ 115 М диапазон свариваемых толщин находится в пределах 40...200 мм. Практика сварочного производства свидетельствует о том, что одним электродом можно сваривать металл толщиной до 50 мм. При больших толщинах

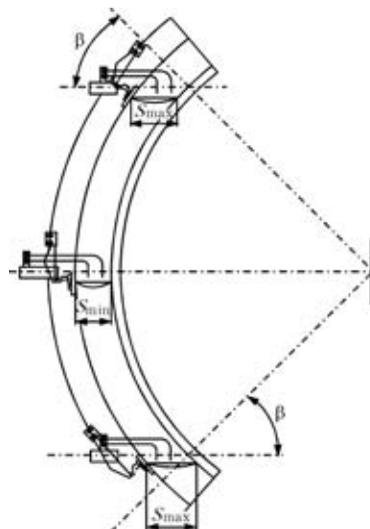


Рис. 1. Схема ЭШС элемента опорного кольца конвертора аппаратом АШ 115 М

необходимо применять колебание электрода или увеличивать количество электродов. Двумя электродами рекомендуют сваривать металл толщиной до 100 мм — без колебаний, а до 200 мм — с колебаниями.

Скорость сварки прежде всего зависит от свойств конструкционного свариваемого материала (химического состава, в первую очередь, содержания углерода), толщины свариваемых кромок и условий их закрепления. Для углеродистых и низколегированных сталей удовлетворительные значения скорости сварки в рассматриваемом диапазоне толщин (40...200 мм) находятся в пределах 2,0...0,5 м/ч, причем с увеличением толщины скорость сварки резко падает. В условиях жесткого закрепления деталей (остающаяся накладка) расширение существующих пределов в сторону увеличения может привести к образованию в металле шва кристаллизационных трещин.

При сварке с колебаниями расстояние между электродами  $d$  следует выбирать из соотношения  $d = (S + \Delta_1 - \Delta_2 - \Delta_3)/n$  (мм). По выбранным для конкретных толщин свариваемого стыка количеству электродов  $n$  и скорости сварки  $v_c$  рассчитывают необходимую скорость подачи электродной проволоки  $v_3 = v_c F_n / \Sigma F_3$  (м/ч), где  $F_n$  — сечение зазора;  $F_3$  — суммарное сечение электродов.

При сварке стыков заготовок полуколец с толщиной стенки  $S = 100$  мм необходимо применять колебание электродов, поскольку толщина свариваемого металла меняется от  $S_{max} = 130$  (в начале и конце стыка) до  $S_{min} = 100$  мм (в середине). Поэтому в процессе сварки необходимо осуществлять дополнительные манипуляции — менять размах колебаний (амплитуду  $A$ ) и расстояние между электродами  $d$ .

При ЭШС образцов (толщина стенки обечайки 60 мм, длина шва 1500 мм), выполненных двумя электродами в лабораторных условиях ИЭС им. Е. О. Патона, были получены качественные швы на скоростях сварки  $v_c = 1,8...2,4$  м/ч. В процессе испытаний нового аппарата в заводских условиях (на натуральных образцах) были определены оптимальные значения  $L_c$  в начальной и завершающей стадиях выполнения шва, а также оптимизированы значения  $\Delta_2, \Delta_3$ . Подборку требуемых значений

параметров осуществляли с помощью манипуляций механизмами поперечных колебаний и поворота подающих модулей относительно зеркала шлаковой ванны.

Удовлетворительное формирование шва достигается комбинированным регулированием  $L_c$  и  $\beta$  (рис. 1, 2), периодической корректировкой значений  $\Delta_2, \Delta_3$ , а также регулировкой  $v_3$  и  $U_c$  на каждом электроде в зависимости от положения зоны сварки.

При ЭШС кольцевых швов с толщиной стенки обечайки  $S = 60$  мм можно применять один электрод с колебаниями, однако,  $v_3$  будет находиться в пределах 250...450 м/ч, что может вызвать определенные технические трудности, связанные со стабильностью процесса сварки. Поэтому такую толщину рекомендуется сваривать двумя электродами без колебаний при  $v_3 = 110... 250$  м/ч.

Стыки с толщиной стенки обечайки  $S = 60... 80$  мм необходимо сваривать двумя электродными проволоками без колебаний на скоростях сварки  $v_c = 0,8...1,5$  м/ч, а свыше 80 мм — двумя электродами с колебаниями на скоростях сварки в пределах 0,6...1,2 м/ч.

Техника выполнения ЭШС неповоротных кольцевых стыков с колебаниями электродов представляется более сложной, чем сварка неподвижными электродами. В процессе выполнения неповоротных кольцевых швов из-за непрерывного изменения толщины свариваемых кромок (см. рис. 1) сварщик-оператор должен периодически изменять значения  $A$  и  $d$  в соответствии с изменяющейся величиной  $S$ . Параметр  $A$  изменяется с помощью кнопок управления поперечными колебаниями, расположенными на пульте, а  $d$  — механизмами раздвижки электродов. Значения «сухого» вылета электродов  $L_c$  будут также переменными, причем они могут увеличиваться (уменьшаться) примерно в 2 раза (таблица). Значения  $L_c$  регулируются механизмом поворота наклона аппарата.

На начальном и конечном участках стыка скорость подачи электродных проволок  $v_3$  регулируют таким образом, чтобы скорость сварки  $v_c$  соответствовала толщине свариваемых кромок на соответствующем участке с учетом величины  $L_c$ . По мере приближения толщины свариваемых кро-

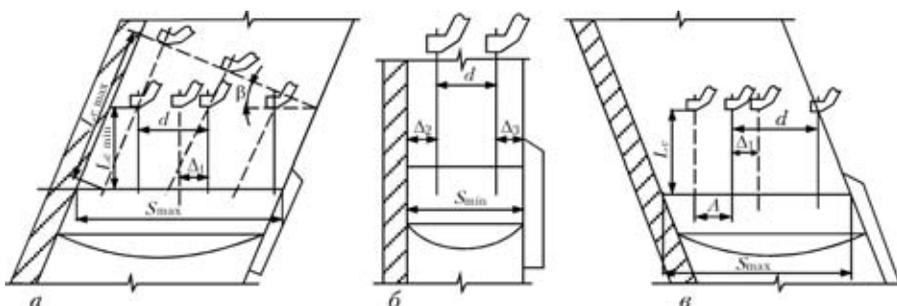


Рис. 2. Схема расположения электродов в зоне сварки при ЭШС на начальном участке стыка (а), горизонтальном диаметре стыка (б) и замыкающем участке стыка (в)

Изменение «сухого» вылета электродов  $L_c$  в зависимости от положения места сварки

Толщина металла, мм	Положение зоны сварки	$L_{c1}$ , max, мм	$L_{c1}$ , min, мм	$L_{c2}$ , max, мм	$L_{c2}$ , min, мм
150	Начало шва	90	75	70	50
	Середина	70	70	70	70
	Конец шва	70	55	90	75
100	Начало шва	80	70	65	55
	Середина	70	70	70	70
	Конец шва	65	55	80	70
80	Начало шва	80	70	65	50
	Середина	70	70	70	70
	Конец шва	60	50	80	70

Примечание.  $L_{c1}$ ,  $L_{c2}$  — «сухой» вылет соответственно на переднем и заднем электроде.

мок к величине  $S$  скорости  $v_s$  для обоих электродов практически уравнивают.

В процессе сварки стыка толщиной  $S = 100$  мм размах колебаний  $A$  будет изменяться от 37 до 20 мм, при этом будет также изменяться и «сухой» вылет электродов  $L_c$ . Для наружного стыка отношение  $L_{c2}/L_{c1}$  в начале шва будет составлять 0,8, в середине — 1,0, в конце шва — 1,25. При сварке внутреннего стыка указанное соотношение  $L_{c2}/L_{c1}$  в зависимости от места выполнения шва будет иметь соответственно значения 1,25; 1,0 и 0,8. При постоянной скорости подачи электродной проволоки увеличение (или уменьшение) «сухого» вылета электрода на 20...25 % может привести к некоторому снижению (увеличению) сварочного тока на электродах. Поэтому в процессе сварки необходимо учитывать текущие значения  $I_c$  и поддерживать их на заданном уровне путем регулирования скорости подачи электродов соответственно расположению зоны сварки.

Очень ответственной операцией при ЭШС с колебаниями является поддержание в процессе сварки требуемых значений  $\Delta_2$  и  $\Delta_3$  на всех участках шва. Особенно сложно (из-за плохого обзора) выполнять это требование для внутреннего электрода. Поэтому перед сваркой необходимо по длине стыка определить  $\Delta_2$  и  $\Delta_3$  (с интервалом 300...500 мм) и занести их значения в таблицу. Пользование данными таблицы существенно облегчает управление процессом сварки.

В процессе внедрения нового аппарата представители ИЭС им. Е. О. Патона провели обучение



Рис. 3. Рабочий момент ЭШС штатного изделия в цехе

специалистов ОГС и сварщиков цеха техники и технологии ЭШС новым аппаратом, для чего был оборудован специальный стенд — макет с наружными и внутренними стыками натуральных размеров.

ЭШС криволинейных стыков штатных заготовок опорного кольца конвертора (рис. 3) осуществлялась специалистами ОАО «Азовмаш» при техническом сопровождении представителей ИЭС им. Е. О. Патона. Аппаратом АШ 115М было сварено восемь швов (четыре внутренних с толщиной кромок 100 мм и четыре наружных с толщиной кромок 80 мм) общей протяженностью около 48 м, без применения механизма колебаний мундштуков и один шов с толщиной кромок 160 мм, протяженностью 3 м с колебанием мундштуков вдоль зазора. Все исполнительные механизмы и системы управления аппарата работали без сбоев и отклонений от нормы. Основные параметры режимов сварки были близки к расчетным и фиксировались информационно-регистрирующей системой с дальнейшим оформлением записей в протоколе. Последующий 100%-й ультразвуковой контроль всех швов подтвердил отсутствие дефектов в металле сварных соединений.

Аппарат АШ 115М для ЭШС проволочными электродами является первым представителем гаммы сварочного оборудования нового поколения, разрабатываемого ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, которое должно обеспечить применение ЭШС в сварочном производстве на более высоком техническом уровне.

Апробация технологических рекомендаций по ЭШС аппаратом АШ 115М неповоротных кольцевых стыков элементов конверторов на ОАО «Азовмаш» подтвердили высокий технический уровень и рентабельность применения нового оборудования.

The paper considers features of equipment and technology of electroslag welding of position circumferential butt joints of supporting rings on oxygen-blown vessels by ASh1 115M machine at OJSC «AZOVMASH». Described are the advantages of the new machine, providing a high engineering level of the technology and cost-effectiveness of fabrication of large-sized welded metal structures.

Поступила в редакцию 25.04.2007