

## АВТОМАТИЗАЦИЯ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ АППАРАТОВ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

**А.В. Патюпкин, канд.техн.наук, главный сварщик ООО «Укрспецмаш»,  
А.Э. Наривский, канд.техн.наук, директор по качеству ООО «Укрспецмаш»**

Аппараты воздушного охлаждения (АВО) предназначены для конденсации и охлаждения парообразных, газообразных и жидких сред, применяемых в технологических процессах нефтеперерабатывающей, нефтехимической и других смежных отраслях промышленности.

АВО изготавливаются следующих типов:

- зигзагообразные (АВЗ);
- малопоточные (АВМ) горизонтальные и вертикальные;
- горизонтальные (АВГ).

АВО типа АВГ-55МГ, АВГ-75МГ, АВГ-100МГ, АВГ-120МГ и АВГ-160МГ предназначены для охлаждения природного газа на компрессорных станциях магистральных газопроводов, дожимных компрессорных станциях и компрессорных станциях подземного хранения газа на рабочее давление 5,4 МПа, 7,36 МПа, 8,34 МПа, 9,1 МПа, 12,0 МПа и 16,0 МПа при температуре атмосферного воздуха до  $-60^{\circ}\text{C}$ .

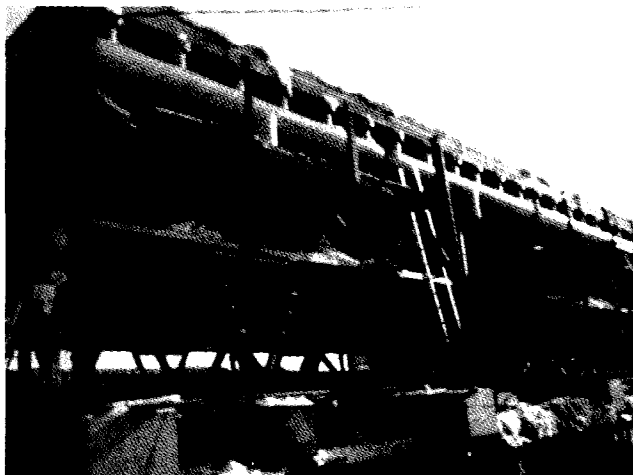
АВО состоит из теплообменного блока, вентиляторных блоков и металлоконструкции. Аппарат должен соответствовать требованиям ГОСТ Р 51364-99, ПБ 03-576-03, ПБ 03-584-03, ПБ 03-585-03, ПБ 03-590-03, ПБ 08-624-03, ПБ 09-540-03, а также техническим условиям на его изготовление.

Теплообменный блок состоит из 2-х секций. Основными элементами теплообменной секции являются:

- камеры входа и выхода газа, изготавливаемые из низколегированной стали 09Г2С-12 ГОСТ5520-79;

- труба оребренная, состоящая из теплоносущей трубы  $\varnothing 25 \times 2,5$  мм из стали 20 ГОСТ 8733-87, оребренной методом накатки алюминиевым сплавом АД 1 ГОСТ 18482-79.

- коллектора входа и выхода газа, которые состоят из корпуса, изготовленного из трубы  $\varnothing 426 \times 18$  мм сталь 20 ГОСТ 8733-87; двух днищ эллиптических  $\varnothing 426 \times 22$  мм сталь 09Г2С-12 ГОСТ 5520-79; тройника сталь 20 ГОСТ8733-87; вставки из трубы  $\varnothing 426 \times 18$  мм сталь 20 ГОСТ8733-87 (рис.1).



*Рис. 1 – Монтаж АВО на компрессорной станции магистрального газопровода*

Наиболее трудоемкими операциями при изготовлении АВО являются:

- сварочные работы, так как камеры теплообменных секций состоят из толстостенного металла толщиной до 40 мм и требуют предварительный подогрев и окончательную термообработку после сварки;
- калибровка многопроходных сварных швов, выполненных в вертикальном и горизонтальном положениях.

При производстве сварочных работ применялась полуавтоматическая сварка в среде защитных газов и ручная аргонодуговая сварка неплавящимся электродом. Для сварки использовалась омедненная сварочная проволока Св-08Г2С ГОСТ 2246-70  $\varnothing 1,2$  мм, а в качестве защитного газа применялась газовая смесь MIX-2. Применение этих сварочных материалов позволило получить качественные сварные швы с отличным формированием и высокими механическими свойствами. В частности, согласно требованиям технических условий на изготовление теплообменного блока минимальная энергия разрушения образца при температуре  $-60^{\circ}\text{C}$  составляет  $3 \text{ кгс}/\text{см}^2$ . Однако образцы сварных соединений, изготовленные перед выполнением сварочных работ, разрушились при работе от 7,2 до  $15 \text{ кгс}/\text{см}^2$ . Такие результаты свидетельствуют, что подготовка сварочных работ выполнена в полном соответствии с требованиями НТД. Кроме того, высокие механические показатели сварных соединений получены в результате применения сварочного оборудования с высокими динамическими показателями источников питания сварки.

Для сварки использовались профессиональные MIG/MAG полуавтоматы TransSteel 5000 Австрийской фирмы Fronius. Семейство сварочных полуавтоматов TransSteel 5000 создано с учетом высоких требований: прочности и надежности. Эти полуавтоматы отличаются интеллектуальным дизайном, удобной синергетической системой управления с цифровым управлением и заложенными специальными программами для заварки корневых швов Steel Root (обратное формирование корневого шва). Для высокопроизводительной сварки больших толщин используется режим Steel Dynamic, обеспечивающий высококачественную сварку стали. Водяное охлаждение сварочной горелки обеспечивает длительную и бесперебойную работу сварщиков с минимальным изнашиванием расходных материалов (сопла, наконечники и т.п.).

Корпуса камер собирают из стенки боковой 1, стенки верхней 2, стенки нижней 3, торцевых стенок 4 и перегородки 5 (рис.2).

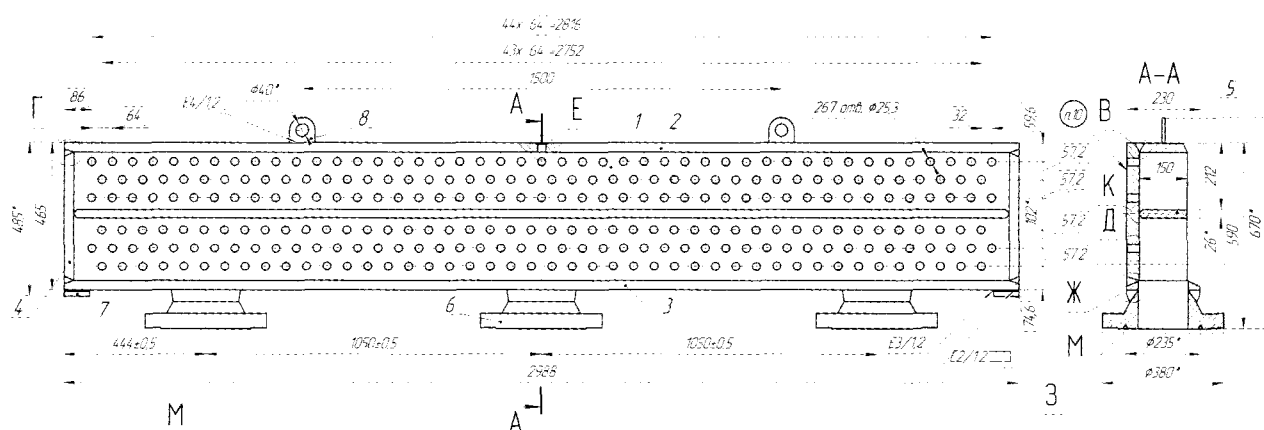


Рис. 2 – Корпус камеры АВО

Сварка корпуса камер осуществляется в нижнем положении «горкой» с целью минимизации деформаций сборочного узла после сварки. После сварки корпуса камер проходят термообработку (отжиг) для снятия внутренних остаточных напряжений. После дробеструйной обработки и повторного УЗК корпуса камер передаются на участок сборки, где производится набор оребренных труб, с последующей обваркой и развальцовкой в трубной доске.

Наиболее трудоемкой операцией на участке сборки и сварки теплообменных секций является приварка стенки боковой верхней 2 и стенки боковой нижней 3 к корпусу камеры и к перегородке (рис.3).

Сварка швов (рис.3, сечение Г), учитывая габаритные размеры теплообменной секции 12000x3000 мм, производится в горизонтальном положении за 70...80 проходов. Следует отметить, что около 30% проходов выполняется практически в потолочном положении. Таким образом, пространственное положение, в котором выполняется сварное соединение (рис.3, сечение Г), а также его размеры и объем непосредственно влияют на его качество. Поэтому после сварки этого сварного соединения УЗД часто выявляются дефекты, связанные с квалификацией сварщиков: газовые поры и несплавления между сварными валиками.

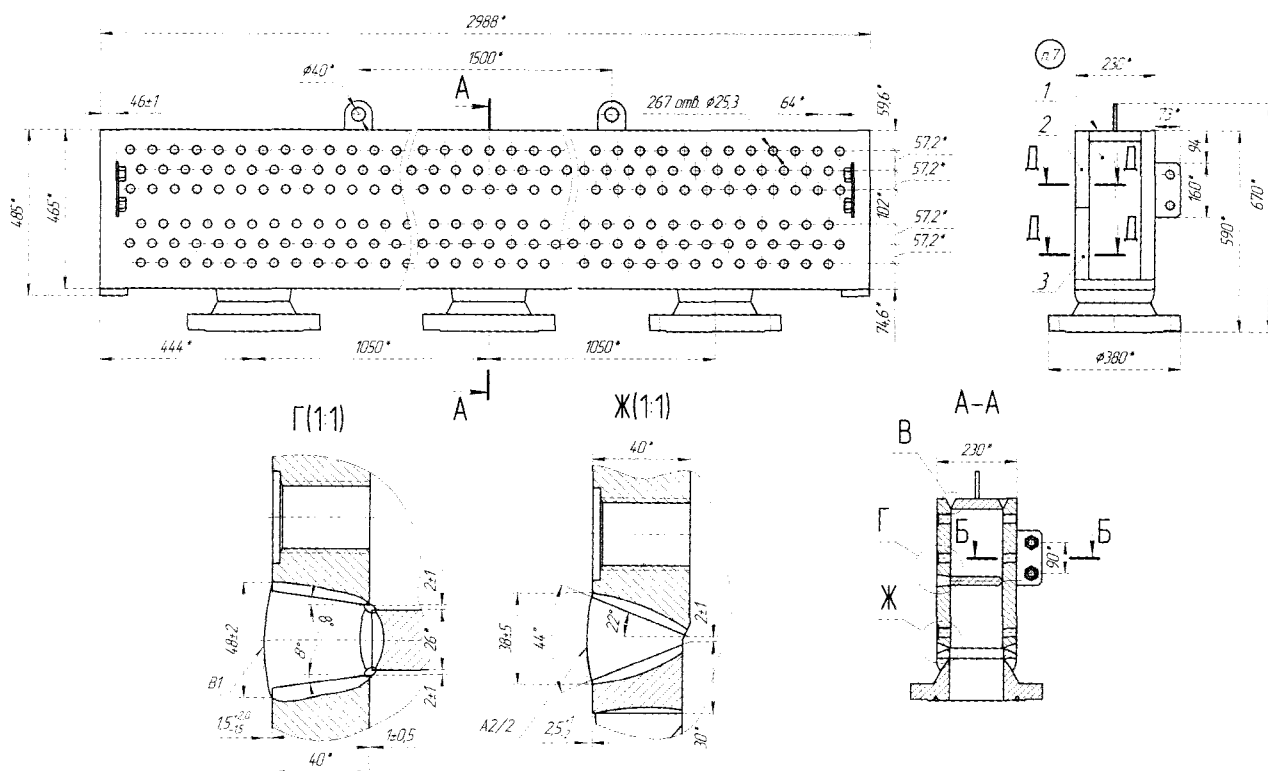


Рис. 3 – Камера АВО

Устранение дефектов сварного шва с последующей УЗД, большой объем наплавленного металла (41 кг), а также необходимость механической зачистки усиления сварного шва для выполнения УЗД прямым преобразователем, определяют максимальную трудоемкость сварного шва (рис.3, сечение Г). Актуальность первоочередной автоматизации и механизации процесса сварки шва, выполняемого в горизонтальном положении, является очевидной.

С целью повышения производительности процесса сборки АВО и автоматизации сварочных процессов предложено изменить конструкцию камеры, а именно, заменить стенку

боковую верхнюю 2 и стенку боковую нижнюю 3 (рис.3) на цельную стенку, а сварку перегородки к стенке боковой производить внутри камеры автоматическим способом. При этом разделку кромок выполнить на перегородке (рис.4).

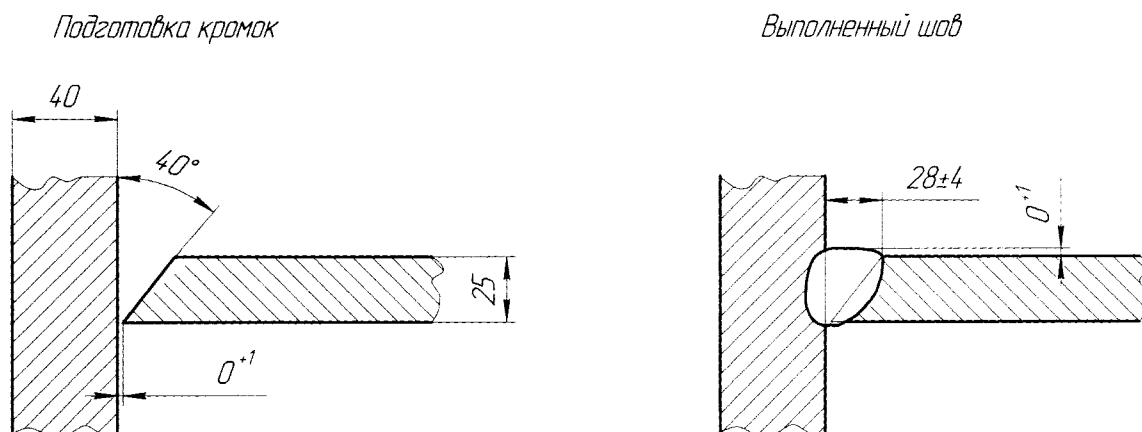


Рис. 4 – Эскиз сварного соединения перегородки со стенкой боковой

Для автоматизации сварки предложенного сварного соединения в первую очередь спроектировали установку. Ограниченное пространство внутри камеры теплообменной секции усложнило проектирование узла, обеспечивающего перемещение сварочной головки вдоль сварного соединения и крепление видеокамеры для визуального контроля стабильности горения сварочной дуги и послыонного визуально-оптического контроля каждого прохода в сварном соединении.

Установку для автоматической сварки спроектировали из нескольких сборочных единиц: сварочного водоохлаждаемого полуавтомата TransSteel 5000, горелки со шлангпакетом длиной 3,5 м; сварочной тележки FDV 50 фирмы Fronius (грузоподъемность – 50 кг), на которой расположили подающее устройство; трубы длиной 3 м, внутрь которой установили шлангпакет, изолированный алюминиевой фольгой; приспособления для передвижения горелки внутри камеры (рис.5).

Приспособление состоит из корпуса 7 (рис.5), в котором винтами 17 фиксируется трехметровая труба, а с противоположной стороны - устройство для крепления сварочной горелки 8. Конструкцией устройства для крепления горелки предусмотрена возможность поворота горелки в радиальном направлении и изменение угла ее наклона. На корпус 7 установлены две подпружиненные 3 и 4 и две жесткозакрепленные 1 и 5 роlikоопоры. Роликoопоры центрируют приспособление в камере АВО (рис.6), а пружинные блоки при перемещении компенсируют допустимую деформацию стенки боковой. Ролики, расположенные на приспособлении, установлены с учетом отверстий в перегородке и стенке боковой камеры АВО. Жесткое закрепление трехметровой трубы на сварочной тележке обеспечивает шпилька с резьбой для регулировки положения трубы в камере

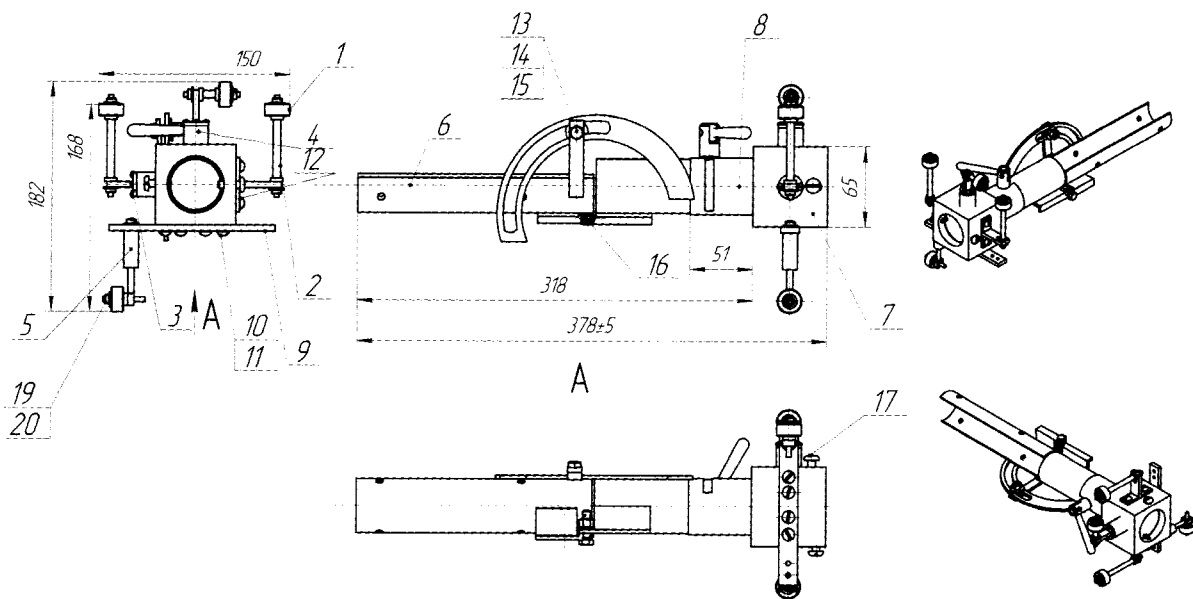


Рисунок 5 – Приспособление для автоматической сварки

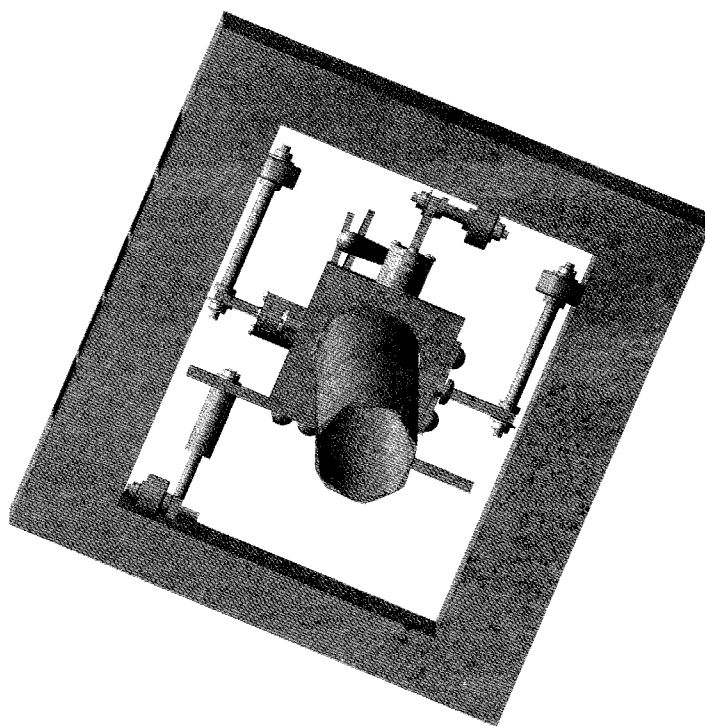
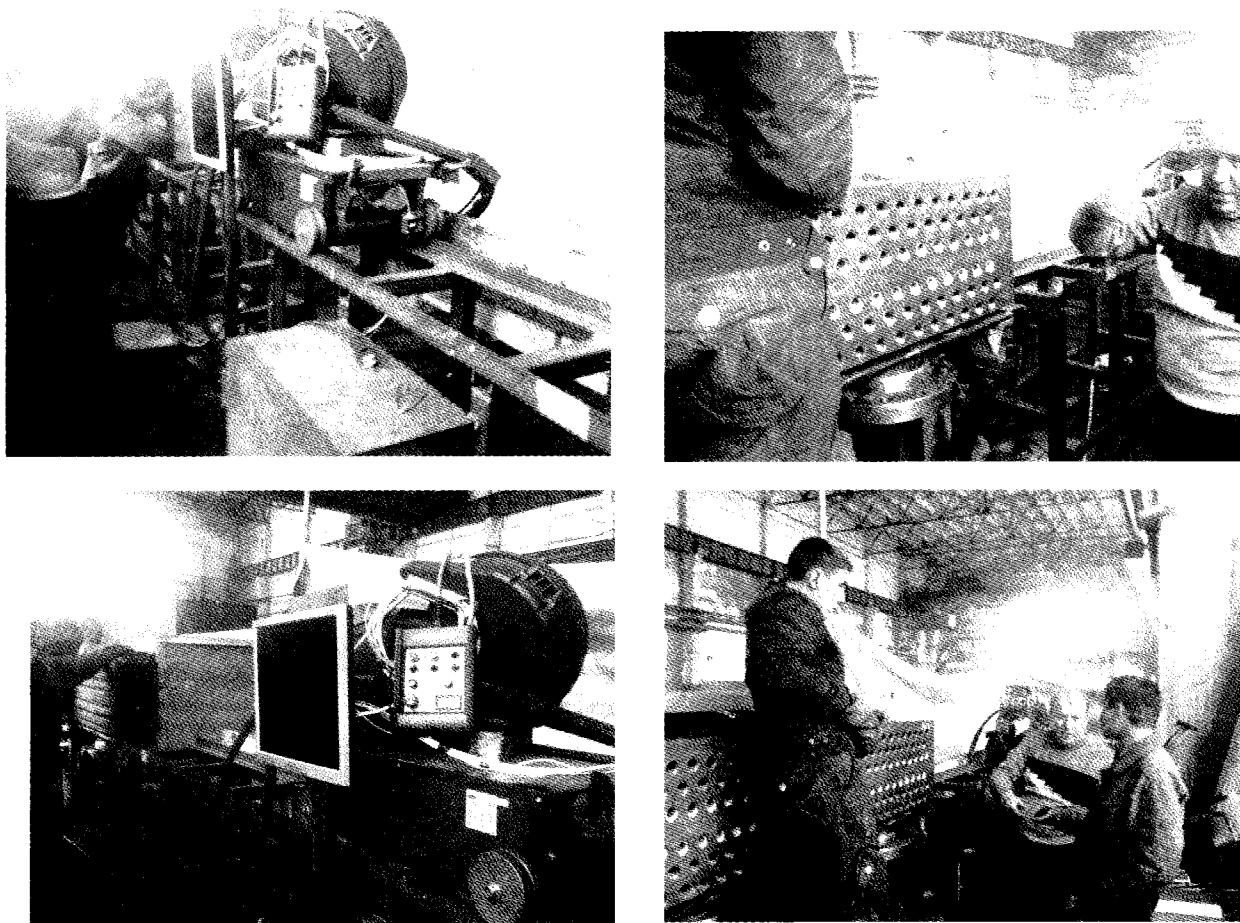


Рисунок 6 – Модель расположения приспособления для автоматической сварки внутри камеры АВО

После изготовления установки для автоматической сварки на макете камеры секции АВО отработали технологию приварки перегородки к стенке задней. Для наблюдения за процессом сварки на сварочную тележку установили видеокамеру с чувствительным объективом в термозащитном кожухе. Для защиты от излучения, искр и дыма дополнительно установили стекла. Видеокамеру подключили к монитору и видеорегистратору. При сварке на мониторе четко видно направление и перемещение сварочной проволоки, а также формирование сварного шва из расплавленного металла.

В процессе отработки технологического процесса установили, что только «нулевое» притупление разделки кромок на перегородке обеспечивает полное проплавление корневого шва. Кроме того, металлографическим анализом установили, что оптимальная разориентированная структура сварного соединения обеспечивается за 7 проходов. При этом энергия разрушения образцов КСУ при  $-60^{\circ}\text{C}$  от 7,4 до 12 кг/см<sup>2</sup>.

На третьем этапе выполнили внедрение данной установки на участке сборки-сварки теплообменных секций (рис.7). После сварки перегородки со стенкой боковой сварочный полуавтомат использовали для приварки торцевой стенки, заменив автоматическую горелку на полуавтоматическую.



*Рис. 7 – Внедрение установки на участке сборки и сварки АВО*

В процессе промышленного внедрения установки (рис.7) внесены изменения и дополнения в технологический процесс:

1. Установлен жесткий размер зазора между свариваемыми деталями камеры теплообменной секции;
2. Установили защиту зоны сварки от движения потока воздуха через торцы камер;
3. Меловым раствором защитили резьбовые соединения близлежащих рядов отверстий от сварочных брызг.

Отработанный технологический процесс позволил получить стабильное качество сварных соединений (рис.8). Ультразвуковой контроль подтвердил отсутствие дефектов в наплавленном металле.



Рис. 8 – Сварные соединения стенки боковой и перегородки камеры АВО

Внедрение данной установки позволило существенно увеличить производительность сборки и сварки АВО, повысить качество сварки, а также получить экономический эффект (табл.1).

Таблица

**Сравнительные данные по двум технологиям и экономический эффект от внедрения автоматической сварки**

Показатель	Единица измерения	Базовая технология	Технология с автоматизацией
Время на сварку 1 перегородки со стенкой	ч	16	2
Время на зачистку под УЗД	ч	8	-
Количество сварочной проволоки, расходуемое на одно сварное соединение	кг	41	11
Экономический эффект от выполненной серии АВО	грн.		200000

**ВЫВОДЫ**

1. Изменение конструктивного исполнения камеры теплообменной секции АВО позволило:

- уменьшить остаточные сварочные напряжения и деформации изделия;
- увеличить показатель ударной вязкости КСУ сварного соединения при  $-60^{\circ}\text{C}$  до  $12,6 \text{ кгс/см}^2$ ;
- получить сварной шов стабильно высокого качества без внутренних и наружных дефектов.

2. Автоматизация процесса сварки и изменение конструктивного исполнения камер АВО дала экономический эффект 200000 грн.