

УДК 621.791.3

А.Г. Александрин, Д.В. Лошак, Е.А. Герасимов, В.П. Кошман

**ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ В ОАО «ОКБМ Африкантов»
ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ЯЭУ**

ОАО «ОКБМ Африкантов», г. Нижний Новгород

Изложен опыт применения электронно-лучевой сварки (ЭЛС) в ОАО «ОКБМ Африкантов» для изготовления оборудования ядерных энергетических установок. Приведены основные технические характеристики установки для ЭЛС, описан процесс выполнения продольных швов обечаек, а также применяемые методы контроля сварных швов. Дан сравнительный анализ данного способа изготовления деталей с технологиями применяемыми ранее.

Ключевые слова: электронно-лучевая сварка, оборудования ядерных энергетических установок, продольные швы обечаек, механическая обработка, аргонодуговая сварка.

Опыт промышленного применения в нашей стране и за рубежом электронно-лучевой сварки (ЭЛС) свидетельствует о том, что в ряде случаев она имеет неоспоримое преимущество перед традиционными технологиями получения неразъемных соединений [1]. Успешно применяется ЭЛС в машиностроении для сварки изделий из высокопрочных сплавов и сталей, сплавов на основе титана и алюминия; ЭЛС производится в вакууме, поэтому позволяет сохранить исходную чистоту свариваемого металла и получать сварные швы очень высокого качества [2].

В ОАО «ОКБМ Африкантов» для сварки продольных швов обечаек из железоникелевого сплава применяется технология ЭЛС. Обечайки толщиной $S=1-2$ мм и диаметрами от 80 до 220 мм используются в качестве заготовок для изготовления деталей оборудования ядерных энергетических установок (ЯЭУ).

Одним из применяемых способов изготовления обечаек, без применения сварки, была механическая обработка. Обечайку изготавливали с помощью токарной обработки из сплошной поковки или проката. Использование такой технологии изготовления, когда большое количество материала «уходит» в стружку, дорого и трудоемко.

Также для изготовления обечаек применяется автоматическая аргонодуговая сварка. Качество аргонодуговой сварки не всегда удовлетворяет требованиям конструкторской документации, так как в сварных швах требуется обеспечить полное отсутствие дефектов.

ЭЛС обеспечивает высокое качество сварных швов и значительно превосходит по этому параметру ручную и автоматическую аргонодуговую сварку.

Сварка продольных швов обечаек выполняется на установке ЭЛС УЛ-178М (рис. 1), которая была изготовлена Институтом электросварки им. Е.О. Патона (г. Киев).

ЭЛС изделия производится после его перемещения относительно неподвижной электронно-лучевой пушки на позицию сварки по программе с последующим отклонением и разверткой сварочного электронного пучка по стыку.

В установке применяется двухуровневая многопроцессорная автоматизированная система управления (АСУ), которая управляет вакуумной системой, перемещением изделия по двум координатам в плоскости с одновременным их отображением на экране дисплея, а также мощностью, фокусировкой и отклонением электронного пучка. Вакуумная система управляется автоматически от одной кнопки. АСУ управляет всем ходом технологического сварочного процесса с одновременным отображением его параметров на экране дисплея.

Наблюдение за зоной сварки, автоматический поиск центра, диагностика геометрических и энергетических параметров электронного пучка осуществляются с помощью системы визуализации процесса сварки и системы диагностики электронного пучка. Отображение зоны шва на

экране дисплея может производиться до и после сварки. Система визуализации обеспечивает увеличение объекта наблюдения до 5-10 крат, а также возможность диагностирования пучка электронов перед сваркой изделия с целью воспроизводимости параметров сварного шва.

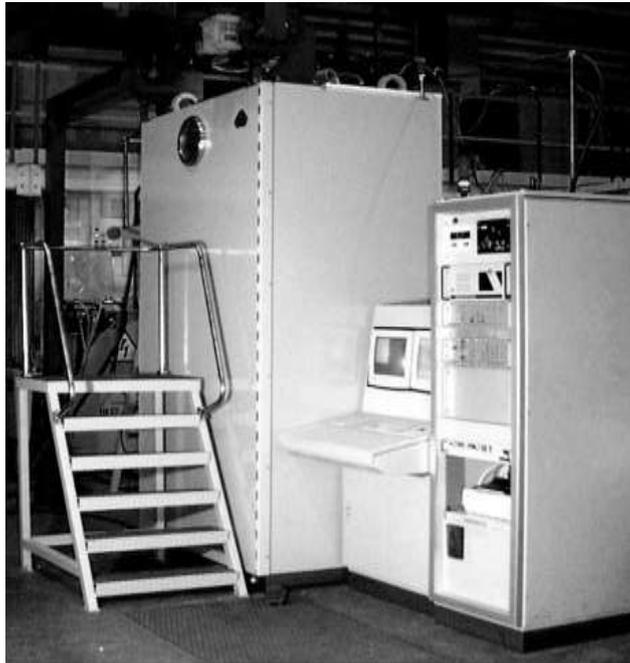


Рис. 1. Общий вид установки ЭЛС УЛ-178М

АСУ и программное обеспечение установки УЛ178М управляет всем ходом технологического процесса, отображает его на экране дисплея, а также выдает отчетный документ о результатах сварки конкретного изделия. При этом обеспечивается работа установки в трех режимах: ручном, полуавтоматическом и автоматическом. Система для визуализации поверхности и диагностики пучка позволяет контролировать на экране дисплея выезд в реперную точку, на датчик диагностики электронного пучка и на устройство контроля глубины проплавления, совмещение электронного пучка со свариваемым стыком в ручном и полуавтоматическом режимах.

Вакуумная система установки ЭЛС УЛ-178М предназначена для создания и поддержания в вакуумной камере и электронно-лучевой пушке рабочего вакуума. Механизм перемещения изделия служит для перемещения свариваемого изделия по двум координатам X и Y внутри вакуумной камеры во время сварки, а также для выкатывания изделия из камеры на позицию выгрузки-загрузки. На верхней стенке камеры стационарно установлена электронно-лучевая пушка ЭЛА-1,2/60 (далее пушка) с турбомолекулярным насосом F-100/110 (ТМР) производительностью 110 л/с. Далее приведены основные технические характеристики установки ЭЛС УЛ-178М:

Внутренние размеры вакуумной камеры, мм:

- длина.....	1410
- ширина.....	910
- высота.....	2632

Объем вакуумной камеры, м³.....3,4

Максимальные габариты свариваемого изделия:

в приспособлении для сборки, мм

- длина.....	530
- ширина.....	190
- высота.....	2365

Масса свариваемого изделия с приспособлением для сборки, кг, не более.....	262
Рабочий вакуум в вакуумной камере, мм рт.ст., не хуже.....	1×10^{-4}
Рабочий вакуум в электронно-лучевой пушке, мм рт.ст., не хуже.....	5×10^{-5}
Время достижения рабочего давления в вакуумной камере, мин., не более.....	45
Пределы перемещения свариваемого изделия по координатам, мм	
- X-X.....	400
- Y-Y.....	165
Линейная скорость сварки, мм/с.....	10
Энергетический блок с источником высоковольтного питания 1,2 кВт/60 кВ Spellman:	
- ускоряющее напряжение, кВ.....	60
- диапазон регулирования сварочного тока, мА.....	1-20
- диапазон фокусного расстояния, мм.....	100-300
- диапазон регулирования тока фокусирующей линзы, мА.....	400-1000
Общие технические характеристики:	
- силовое электропитание.....	380В, 50/60Гц
- потребляемая электрическая мощность, кВА, не более.....	18
- масса установки, кг.....	8500
- габаритные размеры установки, мм:	
- длина.....	4680
- ширина.....	3540
- высота.....	3275

Перед сборкой внешняя и внутренняя поверхности обечайки, выводные пластины, а также сварочное приспособление промываются ацетоном, уайт-спиритом и этиловым спиртом. Выводные пластины прихватываются к обечайке в сборочном приспособлении по торцам, с обеих сторон стыка ручным аргоно-дуговым способом без присадочной проволоки (рис. 2). После прихватки выводных пластин обечайка снимается со сборочного приспособления.



Рис. 2. Сборка и прихватка выводных пластин

Первоначально собранную и подготовленную под сварку обечайку устанавливают и фиксируют на двухкоординатном манипуляторе установки (рис. 3). Производят откачку объемов вакуумной камеры и электронной пушки до разрежения не более $1,3 \cdot 10^{-2}$ Па ($1 \cdot 10^{-4}$ мм рт.ст.) и $6,6 \cdot 10^{-3}$ Па ($5 \cdot 10^{-5}$ мм рт.ст.) соответственно. Выполняют контроль основных энергетических, временных и пространственных параметров электронного пучка на позиции диагностики.

Перемещают двухкоординатный манипулятор в ручном режиме управления электроприводом на начало продольного стыка обечайки и совмещают с помощью автоматизированной системы управления (АСУ) и экрана дисплея электронный пучок с серединой зазора между свариваемыми кромками обечайки.

Далее перемещают двухкоординатный манипулятор в ручном режиме так, чтобы электронный пучок находился на выводной планке на расстоянии 10-20 мм от начала стыка и сохраняют в программе данную точку как начальную. Конечную точку сварки выбирают на второй выводной планке.



Рис. 3. Установка обечайки в приспособлении для сварки на рабочий стол УЛ-178М

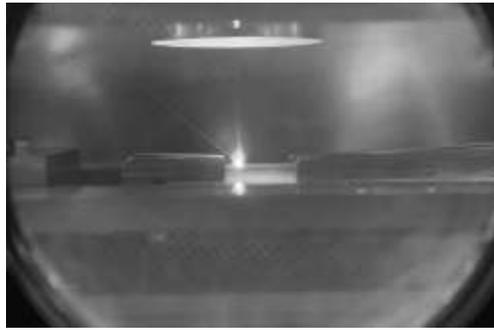


Рис. 4. Сварка продольного шва обечайки

Прихватывают в нескольких местах равномерно по стыку свариваемые кромки обечайки путем кратковременного включения сварочного тока.

В момент времени, когда электронный пучок находится на выводной планке, оператор отключает систему визуализации, далее оператор в ручном режиме плавно увеличивает ток пучка до значения сварочного тока первого прохода. После чего включает автоматическое перемещение двухкоординатного манипулятора в конечную точку сварки. После выполнения первого прохода двухкоординатный манипулятор с обечайкой перемещается в положение, соответствующее исходному состоянию, и аналогично первому выполняются последующие проходы (рис. 4).



а)



б)

Рис. 5. Выполненный продольный сварной шов обечайки:

а – вид сверху, *б* – вид снизу

Контроль качества электронно-лучевой сварки продольного шва обечайки (рис. 5) производят такими методами, как:

- визуальный и измерительный контроль;
- радиографический контроль;
- капиллярный контроль;

- контроль герметичности;
- механические испытания;
- металлографические исследования (рис. 6).

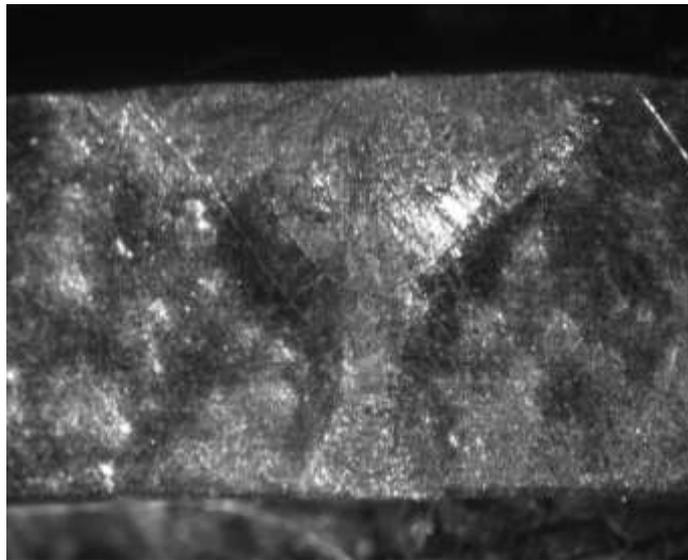


Рис. 6. Шлиф сварного соединения обечайки

Исправление недопустимых дефектов в сварном соединении в виде пор, трещин, непроваров исправляют повторной сваркой без их выборки по указанной технологии.

Выводы

1. Замена технологии изготовления обечаек путем токарной обработки из сплошной поковки на электронно-лучевую сварку дает значительную экономию материала и снижение трудоемкости.
2. Применение технологии электронно-лучевой сварки для изготовления деталей оборудования ЯЭУ, по сравнению с ручной и автоматической аргодуговой сваркой, привело к улучшению качества сварных соединений и полному отсутствию брака.

Библиографический список

1. Состояние и перспективы применения электронно-лучевой и лазерной сварки: информ. обзор / О.К. Назаренко, Д.В.Лашкевич. – Киев: ИЭС им. Е.О. Патона, 1989.
2. Электронно-лучевая сварка / О.К. Назаренко [и др.]. – Киев.: Наукова думка, 1987. – 256 с.

*Дата поступления
в редакцию 25.10.2011*

A.G. Alexandrine, D.V. Hanny, E. Gerasimov, V.P. Koshman

USING AN ELECTRON BEAM WELDING FOR MAKING EQUIPMENT NPS IN OKBM OF AFRIKANTOV

The article describes the experience of using electron-beamwelding (EBW) at OKBM of Afrikantov for the manufacturing of the equipment of nuclear power plants. The basic technical characteristics of the facility for EBW, describes how to perform longitudinal seams of shells, as well as the methods applied welds. A comparative analysis of the method of manufacture of parts with the technologies used previously.

Key words electron-beam welding, the equipment of nuclear power plants, longitudinal seams of shells, machining, argon-arc welding.