

## НОВАЯ ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА НАБЛЮДЕНИЯ В СЕРИЙНЫХ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫХ ПУШКАХ

**В. А. КРАМАРЕНКО, В. М. НЕСТЕРЕНКОВ, В. И. ЗАГОРНИКОВ**

ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03680, г. Киев-150, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Рассмотрены различные подходы к обеспечению наблюдения за сварочным стыком в вакуумных камерах в условиях интенсивного напыления. Приведены результаты разработки новой оптической системы, пригодной для использования в применяемых в промышленности пушках типа ЭЛА 60/60. Система отличается простотой и широким использованием унифицированных узлов. Комплектность, высокая функциональность, компактность и простота позволят найти этой системе промышленное применение. Библиогр. 3, рис. 6.

*Ключевые слова:* электронно-лучевая сварка, электронная пушка, наблюдение за сварочным стыком, оптическая система, защита оптики, труднодоступные места сварки

Процесс электронно-лучевой сварки (ЭЛС) проходит с большими скоростями, что требует высокой точности совмещения электронного луча и свариваемого стыка, собираемого с зазорами, близкими к нулю. Оператор находится вне вакуумной камеры на некотором расстоянии от места сварки и вопросы совмещения луча со свариваемым стыком, корректировки взаимного расположения луча и изделия весьма актуальны для всего технологического процесса [1, 2].

В настоящее время в промышленных электронно-лучевых установках получили развитие три типа смотровых систем: смотровые окна, оптические и телевизионные системы или их комбинации. Хорошо известна система РАСТР [3] наблюдения за местом сварки во вторично-эмиссионных электронах и совмещения пучка со стыком с точностью 0,1 мм. Принцип работы аппаратуры РАСТР основан на измерении тока вторично-эмиссионных электронов, образующихся при циклическом (с периодом 300 мс) сканировании рабочей зоны изделия острофокусированным пучком малой мощности в кратковременные моменты (до 5 мс) прерывания процесса электронно-лучевой сварки. Изображение поверхности изделия формируется по сигналам от датчика вторично-эмиссионных электронов, установленного на электронной пушке в непосредственной близости от места сварки. Измеренные и оцифрованные аппаратурой наблюдения уровни яркости участков сканируемой поверхности запоминаются в памяти компьютера в виде кадра (матрицы) изображения и после специальной программной обработки воспроизводятся в отдельном окне монитора РАСТР.

При сварке прецизионных изделий малого размера используются острофокусные электронные пучки малой мощности, а сами изделия толщиной

1...3 мм собираются с повышенной точностью. Для таких изделий могут быть полезными комбинированные оптико-телевизионные системы с непосредственным наблюдением за сварочным стыком через оптическую систему пушки.

В данной работе приводятся результаты разработки новой оптической смотровой системы, пригодной для использования в широко применяемых в промышленности пушках типа ЭЛА 60/60. Учитывая, что основным недостатком оптических систем является напыление зеркал испаряющимся при сварке металлом, в работе большое внимание было уделено защите оптики от напыления. Известно, что в условиях интенсивного напыления применяются защитные устройства, основанные на принципе стробоскопического эффекта. Для таких систем характерно снижение освещенности объекта. Увеличить их эффективность возможно, добившись стабилизации вращения барабана с точностью до 1 Гц на частотах, кратных частоте кадров (50, 1250, 2500 Гц и т. п.), что технически трудно осуществимо.

Широко используются лентопротяжные механизмы, сменные стекла, в том числе защитные вращающиеся и сдвигающиеся стекла [1]. Их конструкция должна быть компактна, работать в широком диапазоне рабочих расстояний с достаточным запасом защитной ленты, которая не должна деформироваться и застревать. Применение таких механизмов возможно лишь на достаточном удалении от электронного пучка. Удаление оптики от электронного пучка приводит к значительным искажениям изображения на видеокамере, устранение которых требует тщательного изготовления (шлифовки зеркал и др.) и усложнения конструкции смотрового устройства, что привело к отказу от этого направления при разработке системы наблюдения.

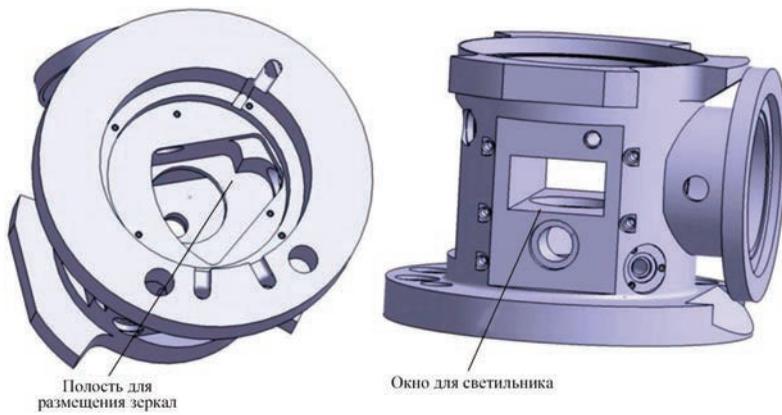


Рис. 1. Доработка корпуса анодного блока электронно-лучевой пушки ЭЛА 60/60

Предлагаемая система отличается от ранее разрабатываемых простотой и высокой степенью унифицирования узлов. Вся компоновка не требует внесения радикальных изменений в конструкцию электронно-лучевой пушки (ЭЛП) (рис.1). Смотровая оптическая система устанавливается в корпусе анодного блока пушки с максимально приближенным к коаксиальному совмещению оси электронного пучка с осью оптической системы.

В корпусе выфрезерована полость для размещения механизма зеркал и подготовлено отверстие для вала внешнего электромотора привода зеркал. Снаружи корпуса добавлено несколько резьбовых отверстий для крепления навесных блоков модуля видеонаблюдения. На плате механизма зеркал 1 имеется ось 3, относительно которой вращается держатель зеркал 2 (рис. 2). В режиме сварки зеркала выведены из лучевого канала пушки и не влияют на параметры сварки. Изображение в этом режиме отсутствует, а доступ паров, напыляющих зеркала от свариваемых материалов, перекрыт. В режиме наладки зеркала посредством вал-шестерни 5 электропривода и

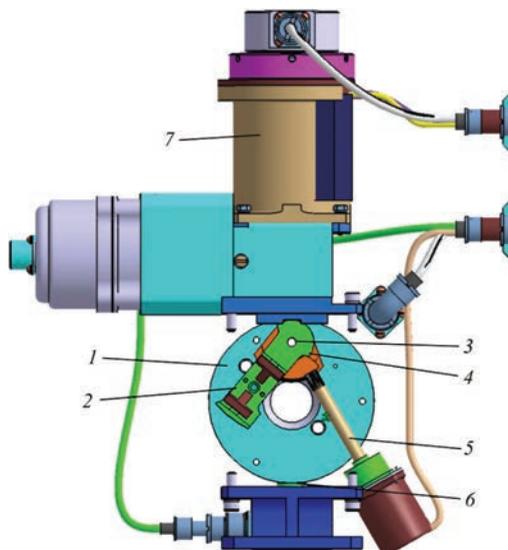


Рис. 2. Общий вид механизма привода зеркал (обозначения см. в тексте)

зубчатого сектора 4 держателя зеркал 2 выставляются поперек оптической оси светильника 6 и объектива 7. Свет от светильника направляется своим зеркалом на свариваемый участок изделия, а отражаясь другим зеркалом, направляется вдоль оптической оси объектива и CCD-камеры. Конструкция держателя зеркал предотвращает прямое попадание лучей светильника в объектив CCD-камеры.

В этом режиме допускается включение электронного пучка с силой тока 0,8...1,5 мА, который проходит через отверстие между зеркалами и позволяет видеть подсвеченную точку в месте попадания пучка в свариваемую заготовку.

При таком токе напыления зеркал практически не наблюдалось. Для предотвращения напыления зеркал программа управления режимами сварки блокирует попытки увеличить ток луча, если зеркала не убраны из лучевого канала. Для вращения держателя зеркал служит миниатюрный электродвигатель 3 с вращающим моментом порядка 10 кг/см. К нему предъявляются требования по отсутствию магнитного поля в нерабочем режиме и хорошего теплоотвода в вакууме. Кроме того, схема его управления должна предусматривать ограничение тока на уровне 120...150 % от номинального при стопорении механизма на упоре и последующего отключения питания. Видеосистема выполнена в виде съемного модуля, в котором могут меняться объективы в зависимости от поставленных требований. Объективы имеют электромеханический привод регулировки фокуса и диафрагмы, что позволяет легко подстраивать качество изображения. Сама CCD-камера помещена в герметичный корпус (рис. 3), который с помощью накидной гайки крепится на корпусе объектива. Воздух, находящийся в боксе для CCD-камеры, обеспечивает достаточный теплообмен электронной схемы с корпусом. Далее тепло рассеивается на деталях корпуса объектива и ЭЛП.

На рис. 4 и 5 показан модуль видеонаблюдения в разрезе. В положении зеркал для наблюдения открываются каналы в держателе зеркал для светового потока от светильника и к объективу. Световой поток излучателя (белые стрелки) попадает на зеркало 1 и направляется на участок зоны сварки. Изображение этой зоны (серые стрелки), отражаясь от зеркала 2, направляется в объектив. Углы установки зеркал фиксированы и рассчитаны на показ зоны сварки в диапазоне 50...500 мм от торца ЭЛП. Поток электронов от катода проходит через отверстие между зеркалами диаметром 5 мм и на изображении в этом случае видна подсвеченная точка встречи пучка с поверхностью металла.

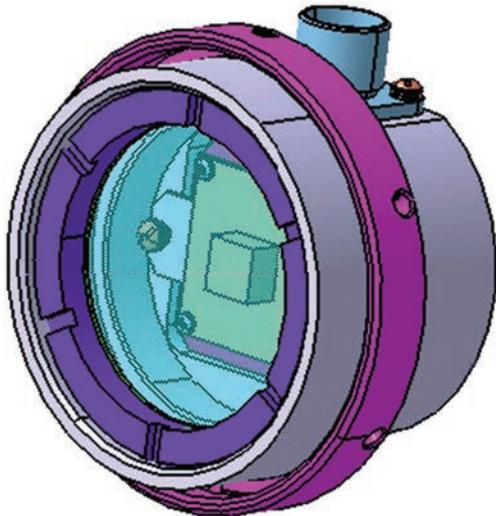


Рис. 3. Общий вид корпуса CCD-камеры

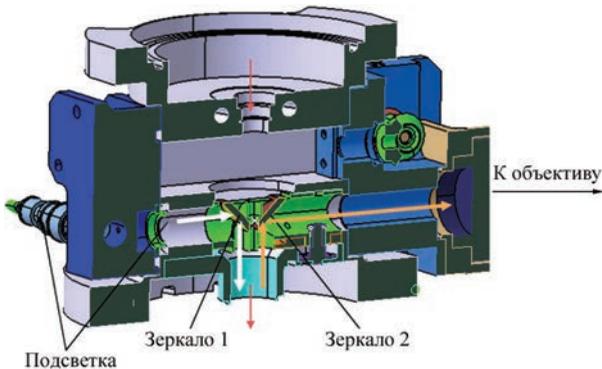


Рис. 4. Поперечное сечение оптической системы наблюдения

Перед началом сварочных работ зеркала убираются из лучевого канала в сторону (поворот держателя зеркал составляет  $40^\circ$ ). При этом линза объектива перекрывается от попадания испарений металла тыльной полукруглой частью держателя зеркал, а линза светильника специальной поворотной подпружиненной шторкой. О положении зеркал на пульте управления сигнализируют два светодиодных индикатора: красный — лучевой канал перекрыт, ток пучка ограничен величиной 0,8...1,2 мА и зеленый — зеркала убраны, система готова к сварке рабочим током.

В предлагаемом устройстве под отклоняющей системой пушки расположены V-образно два металлических зеркала. Одно из этих зеркал направляет луч света от осветителя на свариваемое изделие, другое направляет в окуляр свет, отраженный от поверхности изделия со свариваемым стыком (см. рис. 4). В качестве зеркал использовались шлифованные медные пластинки, так как использование стеклянных зеркал затруднено из-за образования на стекле статического электронного заряда, искажающего электронный луч, а также бликов, ухудшающих видимость.

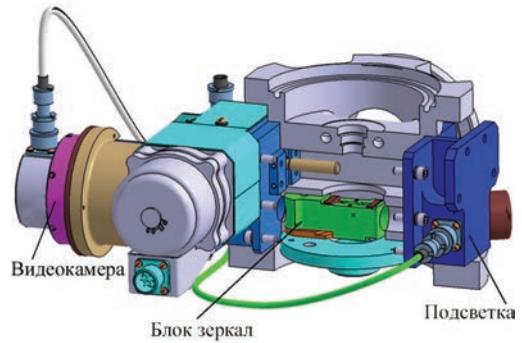


Рис. 5. Общий вид системы наблюдения с механизмом поворота зеркал

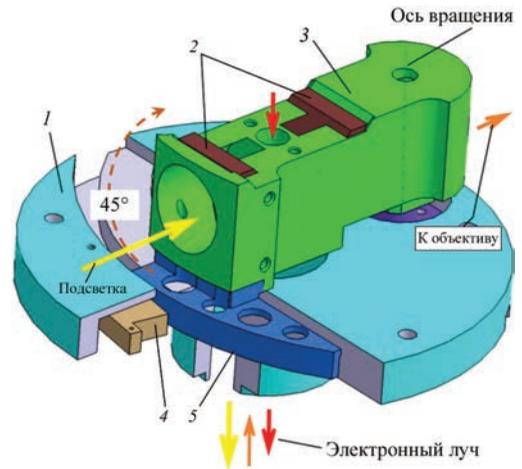


Рис. 6. Общий вид подвижного блока зеркал: 1 — корпус видеомодуля; 2 — зеркала; 3 — поворотный корпус зеркал; 4 — пьезокартридж; 5 — поверхность пьезопривода

На встроенном в корпус пушки фланце расположен закрепленный на консоли подвижный блок зеркал (рис. 6). Маятник блока, радиально перемещаясь с помощью реверсивного пьезодвигателя, позволяет оперативно переходить от режима слежения к режиму сварки. Преимущество пьезопривода — отсутствие магнитных полей при его работе. Фотообъектив и телекамера, изображение с которой передается на монитор компьютера, обеспечивают пятикратное увеличение изображения при контролируемой площади до  $100 \text{ мм}^2$  в зависимости от рабочего расстояния.

Предлагаемая система наблюдения позволила реализовать сварку в труднодоступных местах, обработать технику ЭЛС ответственных тонкостенных деталей с кольцевыми швами. Некоторые из этих швов заглублены в тело деталей до 200 мм.

1. Оборудование для электронно-лучевой сварки / А. И. Чвертко, О. К. Назаренко, А. М. Святский [и др.]. — К.: Наукова думка, 1973. — 407 с.
2. Шиллер З. Электронно-лучевая технология / З. Шиллер, У. Гайзиг, З. Панцер; пер. с нем. — М.: Энергия, 1980. — С. 528.
3. Наблюдение процесса электронно-лучевой сварки и автоматическое слежение за стыком / О. К. Назаренко, В. И. Шаповал, Г. А. Лоскутов [и др.] // Автоматическая сварка. — 1993. — № 5. — С. 35–38.

Поступила в редакцию 11.04.2016