

УДК 621.389

А.А. Зенин, А.С. Климов, Ю.Г. Юшков, А.В. Тюньков, В.А. Жалялетдинов

Блок управления системой электропитания и формирования пучка для установки электронно-лучевой сварки

Приведены результаты разработки электронного блока управления системой электропитания и формирования пучка термокатодной электронной пушки установки электронно-лучевой сварки. Электронный блок выполнен на современной технологической базе с использованием цифроаналоговой преобразовательной техники и обеспечивает функции управления величиной тока термокатода, фокусировки и развертки пучка, а также управления током пучка с возможностью автоматического позиционирования на сварном шве. Управление всеми параметрами электронного пучка осуществляется с персонального компьютера в автоматическом и ручном режимах с возможностью создания и использования технологических карт электронно-лучевой сварки.

Ключевые слова: электронный пучок, вакуум, сварка, система формирования электронного пучка, технологический комплекс, блок электропитания и управления, автоматизация сварочного цикла.

doi: 10.21293/1818-0442-2017-20-1-157-160

В настоящее время технологии сварочного производства предоставляют широкие возможности для изготовления узлов с повышенными требованиями к качеству сварного шва [1]. Обеспечение стабильно высокого качества получаемого шва требует контроля заданных условий технологического процесса. Помимо непосредственного проплавления зоны стыка деталей, технологически важными остаются глубина и ширина проплава.

Особые требования задаются и для зоны термического воздействия на свариваемые металлы с целью снижения термической нагрузки и уменьшения деформации. Электронно-лучевая сварка может обеспечить высокую плотность мощности в месте сварки, контролируемую глубину сварочной ванны с минимальным воздействием на всю деталь [2, 3]. Надежное и стабильное функционирование сварочного комплекса, обеспечиваемое методами контроля технологического процесса, является ключевым условием достижения качественного сварного соединения.

Традиционно управление процессом электронно-лучевой сварки осуществляется посредством совмещения центра пятна электронного луча с осевой линией стыка. При этом основные технологические параметры, такие как ток луча, диаметр луча, ускоряющее напряжение и скорость проплава задаются во время формирования технологической карты. Данный подход не позволяет учесть особенности геометрии сварного шва, наличие внутренних пор и включений, нестабильность работы сварочной пушки и блоков управления пучком, что, в конечном счете, может привести к снижению качества сварки и возникновению дефектов. Основными дефектами при этом будут являться частичные непроплавы, неоднородности сварного шва, смещение пучка относительно оси стыка свариваемых деталей. При высоких требованиях к качеству сварки наличие таких дефектов является недопустимым.

Дальнейшее развитие систем формирования электронного пучка включает совершенствование

систем управления траекторией перемещения пучка, мониторинга стыка свариваемых деталей и сварного шва, а также контроля технологических параметров пушки и др. [4–6]. При этом весь процесс сварки должен быть автоматизирован, а для снижения влияния человеческого фактора участие оператора должно быть сведено к минимуму.

Необходимость решения проблемы повышения эффективности управления технологическим процессом электронно-лучевой сварки стимулировало постановку задачи разработки и создания специального блока управления системой электропитания и формирования электронного пучка, в наиболее полной мере, отвечающего потребностям современного промышленного производства. Результаты решения данной задачи представлены в настоящей статье.

Подходы и технические решения

В результате решения поставленной задачи разработана структурная схема (рис. 1), на основе которой создан блок управления системой электропитания и формирования пучка. Проведенный анализ возможных технических решения обусловил состав электронного блока, включающий:

- источник тока накала (ИТН);
- источник управляющего напряжения (ИУН);
- блок управления лучом;
- блок фокусировки;
- устройство управления;
- источник питания.

При этом выбран следующий наиболее оптимальный алгоритм функционирования блока электропитания и управления системой формирования электронного пучка: управляющий сигнал с компьютера в цифровом виде поступает на контроллер, реализованный в составе 3 микроконтроллеров серии STM32F4XX. Сигналы с контроллера поступают на блок фокусировки и блок управления лучом, а также по интерфейсу RS-485 передаются на преобразователь, который конвертирует цифровой сигнал в управляющий аналоговый, поступающий

далее в высоковольтный бак для управления ИУН и ИТН.

Для повышения стабильности работы ИУН и ИТН, а следовательно, и качества сварного шва необходимы измерение и контроль выходных параметров. Такая обратная связь осуществляется посредством датчиков, подключенных к аналого-цифровому преобразователю (АЦП) контроллера.

Для сведения к минимуму влияния наводок, возникающих при пробоях источника высокого напряжения (ИВН), блок фокусировки и отклонения луча функционально включен в состав контроллера. Все управляющие сигналы формируются контроллером, преобразуются в аналоговый вид посредством цифроаналогового преобразователя (ЦАП) и усиливаются мощным усилителем с токовым выходом. Блок фокусировки обеспечивает необходимый ток и напряжение в фокусирующих катушках. Магнитное поле, создаваемое фокусирующими катушками,

формирует электронный луч цилиндрической формы. Блок управления лучом обеспечивает необходимый ток и напряжение в отклоняющих катушках, а также служит для формирования развертки. Применение ферритового сердечника отклоняющей катушки обеспечивает высокую частоту развертки (до 10 кГц) электронного пучка по заданной траектории с минимальными искажениями, при этом максимальный угол отклонения пучка составляет 7° . Для удобства работы оператора в программе управления системой формирования пучка предусмотрены наиболее востребованные типы развертки – линия, растр, спираль, эллипс. Возможно использование и произвольной развертки. Для этого с системы управления верхнего уровня задается последовательность точек, между которыми поочередно должен перемещаться луч. Таких точек в фигуре может быть несколько тысяч, что позволяет реализовать развертку любой сложности.

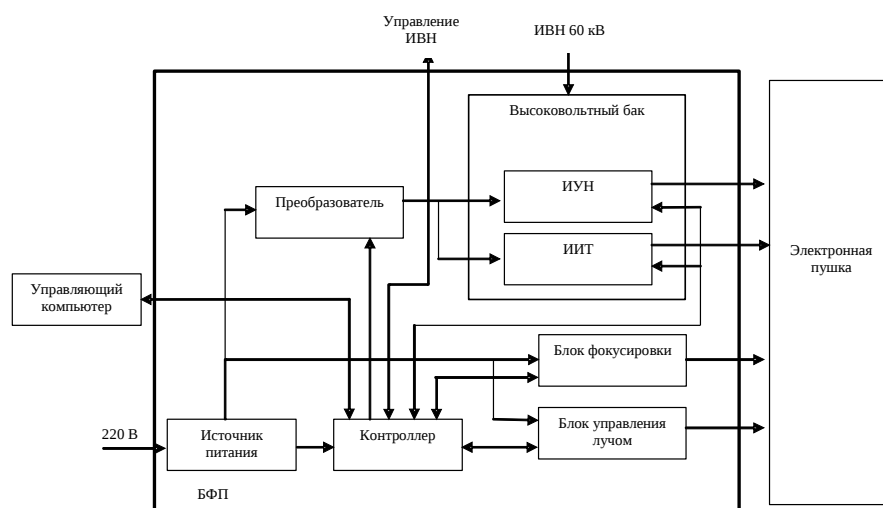


Рис. 1. Структурная схема блока формирования пучка

Как было отмечено ранее, для достижения высокого качества сварки требуется постоянный контроль совмещения оси пучка со стыком свариваемых деталей. Для этого в блоке формирования пучка предусмотрена система автоматического наведения электронного луча на сварной шов. Эта задача реализована на уровне контроллера – задаются координаты двух точек, между которыми производится сканирование электронным лучом. По интенсивности сигнала с датчика отраженных электронов определяются координаты точки, где линия сканирования пересекает стык свариваемых деталей. Эти координаты передаются системе управления верхнего уровня. На уровне управляющего компьютера задаются начальные точки сканирования с целью определения примерного расположения сварного

шва. Затем задаются уточняющие линии сканирования для определения координаты сварного шва с требуемой точностью. После этого полученные координаты точек заносятся в технологическую карту для осуществления процесса сварки.

Наряду с контролем положения центра пучка относительно стыка свариваемых деталей для получения качественного сварного шва требуется стабильный ток пучка, а при использовании в качестве источника электронов пушки с термоэмиссионным катодом – соответственно стабильный ток накала катода. Решение поставленной задачи заключается в измерении тока луча во время технологического процесса и его корректировки. Пришедший с датчика тока на АЦП контроллера сигнал преобразуется в цифровой вид, после чего производится его обра-

ботка, выделение сигнала ошибки и формирование управляющего воздействия на преобразователь с помощью цифрового ПИД-регулятора с настраиваемой характеристикой. Управляющий сигнал на преобразователь передается в виде цифрового ШИМ-сигнала через опторазвязанный интерфейс.

В таблице приведены технические параметры разработанного блока формирования пучка.

Основные технические параметры блока формирования пучка

Наименование параметра	Значение
Источник тока накала	
Диапазон изменения выходного напряжения	0–48 В
Максимальный выходной ток	10 А
Дискретность изменения выходного тока	0,2 А
Источник управляющего напряжения	
Диапазон изменения выходного напряжения	0–3000 В
Максимальный выходной ток	5 мА
Блок фокусировки	
Максимальное выходное напряжение	24 В
Диапазон изменения выходного тока	400–1000 мА
Дискретность изменения выходного тока	0,5 мА
Блок управления лучом	
Вид развертки	Линия, восьмерка, окружность, эллипс, технологические карты
Максимальный выходной ток смещения луча, не менее	±400 мА
Максимальная амплитуда развертки, не менее	±400 мА

Спроектированный блок размещен в корпусе стандарта 19 дюймов высотой 4U и имеет ряд разъемов, в том числе для подключения электронной пушки и источника высокого напряжения.



Рис. 2. Блок электропитания и управления системой формирования пучка: 1 – кнопка включения; 2 – управление ИВН, 3 – резервный разъем (не используется); 4 – Ethernet; 5 – связь с управляющим компьютером; 6 – питание электронной пушки; 7 – управление

электронным лучом; 8 – 60 кВ с ИВН; 9 – сеть 220 В; 10 – заземление

Устройство управления построено на базе модулей ввода-вывода дискретных сигналов МУ110-24.16Р, МВ110-24.ДН, МВ110-24-8АС. Питание модулей осуществляется от локальных источников питания, установленных в стойке управления. Управление дискретными выходными элементами МУ110 осуществляется с помощью контроллера и управляющего компьютера по промышленному протоколу Modbus. Управление дискретными выходными элементами осуществляется путем отправки групповой команды на включение/выключение выходных элементов.

Защита элементов электронно-лучевой установки и блока формирования пучка от пробоев реализована в высоковольтном источнике на аппаратном уровне. Ток пробоя не превышает безопасный уровень, заданный при проектировании и изготовлении оборудования. Также реализована защита от повторяющихся пробоев. Если количество пробоев за единицу времени превышает заданный порог, то установка отключается.

Работа в автоматическом режиме осуществляется путем создания технологических карт. Для создания технологической карты линейного шва необходимо внести ряд точек. Точки вводят согласно графику (рис. 3).

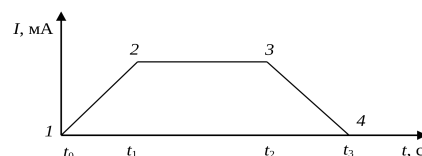


Рис. 3. График задания точек технологической карты

Точка 1 в момент времени t_0 должна иметь нулевое значение тока пучка для предотвращения образования дефектов сварки на свариваемом изделии. В точке 2 ток пучка за время $t_0 - t_1$ плавно нарастает до необходимого значения тока сварки.

За время $t_1 - t_2$ идет процесс сварки с необходимым током пучка, этот процесс завершается в точке 3. В точке 4 ток пучка за время $t_2 - t_3$ плавно уменьшается до нуля, что также обеспечивает предотвращение образования дефектов сварки на свариваемом изделии.

Таким образом, процесс сварки проводится как в прямом, так и в обратном направлении с необходимыми значениями тока пучка.

Заключение

Разработан блок электропитания и управления системой формирования электронного пучка, позволяющий полностью контролировать параметры электронного пучка, осуществлять процесс электронно-лучевой сварки различных материалов как в ручном, так и в автоматическом режимах. В отличие

от аналогов разработанный блок позволяет подстраивать положение электронного пучка на сварной шов, а также поддерживать ток пучка на заданном уровне непосредственно в процессе сварки. Реализация работы в автоматическом режиме за счет создания технологических карт позволяет обеспечить серийное производство сварных изделий и исключить влияние человеческого фактора.

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР) – головном исполнителе НИ-ОКТР «Создание производства нового поколения электронно-лучевого оборудования на основе различных эмиссионных систем для сварки, пайки, обработки поверхностей и аддитивных технологий», проводимой при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках договора № 02.G25.31.0189.

Литература

1. Технологии и оборудование электронно-лучевой сварки – 2008: матер. первой Санкт-Петербургской междунар. науч.-техн. конф. – СПб.: ООО «Агентство Вит-Принт». – 2008. – 210 с.
2. Рыкалин Н.Н. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов: справ. / Н.Н. Рыкалин, А.А. Углов, И.В. Зуев, А.Н. Кокора. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
3. Шиллер З. Электронно-лучевая технология / З. Шиллер, У. Гайзиг, З. Панцер. – М.: Энергия, 1980. – 528 с.
4. Бельский В.Я. Контроль электронно-лучевой сварки с использованием плазменных явлений в области сварочной ванны / В.Я. Бельский, В.М. Язовских // Сварочное производство. – 1997. – № 1. – С. 7–9.
5. Ластовирия В.Н. Система оперативного контроля проплавляющих свойств электронного пучка при сварке / В.Н. Ластовирия, П.В. Полянский // Сварочное производство. – 1990. – № 8. – С. 25–26.
6. Трушников Д.Н. Изучение физических процессов при электронно-лучевой сварке по параметрам вторичного тока в плазме // Физика и химия обработки материалов. – 2014. – № 5. – С. 36–45.

Зенин Алексей Александрович

Канд. техн. наук, инженер-исследователь
каф. физики ТУСУРа
Тел.: (382-2) 41–33–69
Эл. почта: zenin1988@gmail.com

Климов Александр Сергеевич

Канд. техн. наук, с.н.с. каф. физики ТУСУРа
Тел.: (382-2) 41–33–69
Эл. почта: klimov680@gmail.com

Юшков Юрий Георгиевич

Канд. техн. наук, с.н.с. каф. физики ТУСУРа
Тел.: (382-2) 41–33–69
Эл. почта: yushkovyu@mail.ru

Тюньков Андрей Владимирович

Канд. техн. наук, инженер-исследователь
каф. физики ТУСУРа
Тел.: (382-2) 41–33–69
Эл. почта: andrew71@sibmail.com

Жалялетдинов Вячеслав Алиевич

Инженер-конструктор ООО «НПК ТЭТа»
Тел.: +7-960-976-48-02
Эл. почта: slava@tetacom.ru

Zenin A.A., Klimov A.S., Yushkov Yu.G.,
Tyunkov A.V., Zhalyaletdinov V.A.

Control unit for power supply and beam forming system for electron beam welding installation

The article presents development results of control unit for power supply and beam forming system. This system is intended for thermocathode electron gun in an electron-beam welding installation. The electronic unit is implemented on a modern technological basis using digital-analogue conversion technology and provides functions to control different parameters. These parameters are: magnitude of the thermocathode current, currents in beam focusing and deflecting systems, positioning on the weld joint. Control of all the parameters of the electron beam is carried out using a personal computer in automatic and manual modes. This approach allows creating and using technological cards for electron beam welding.

Keywords: electron beam, vacuum, welding, forming system for electron beam, technical complex, power supply and control unit, automatic welding, cycle for welding.