

ПРИМЕНЕНИЕ ЭКРАНИРОВАННОГО КОЛЛЕКТОРА ДЛЯ КОНТРОЛЯ РЕЖИМА СКВОЗНОГО ПРОПЛАВЛЕНИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКЕ

Варушкин С.В.¹, Беленький В.Я.¹, Трушников Д.Н.¹

¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, stepan.varushkin@mail.ru

В настоящее время электронно-лучевая сварка применяется при изготовлении особо ответственных и высоконагруженных узлов и изделий. В ряде случаев используют режим полного проплавления ввиду его положительного влияния на сварное соединение. Существуют и продолжают разрабатываться методы контроля такого режима по сигналам с датчиков, установленных вблизи зоны сварки. Конструкции и место установки этих датчиков различаются. Вид датчика оказывает влияние на сигнал, используемый системой регулирования. Целью работы является анализ влияния конструкции датчика сквозного тока на процесс регулирования режима электронно-лучевой сварки. В работе рассмотрен процесс сварки кольцевого шва трубы из стали 12X18H10T с полным проплавлением. В работе применены коллекторы с экранировкой и без экранировки. Сигнал экранированного датчика обладает большей информационной насыщенностью, что положительно сказывается на системе контроля режима полного проплавления.

Ключевые слова: электронно-лучевая сварка, полное проплавление, контроль, управление, датчик.

APPLICATION OF SHIELDED COLLECTOR FOR THE FULL PENETRATION MODE CONTROL AT ELECTRON BEAM WELDING

Varushkin S.V.¹, Belenkiy V.Y.¹, Trushnikov D.N.¹

¹Perm national research polytechnic university, Russia, Perm, 614990, Komsomolsky Av. 29, stepan.varushkin@mail.ru

Currently electron beam welding is used to produce of highly responsible and laden units and products. In some case, use full penetration mode because of his positive impact on weld joint. Have and continue to improve control methods of it mode on signals from sensors which are mounted near the weld zone. Design and location of the sensor is different. Sensor design affects signal for control system. The aim is to analyze the effect of sensor design on the mode regulatory of electron beam welding. The article discusses the process of create circle weld which full penetration mode on the tube of stainless steel. In this paper we use sensors with screen and without screen. Signal from screened sensor is less interference, which positively affects the control system of full penetration mode.

Keywords: electron beam welding, full penetration mode, control, sensor.

Электронно-лучевая сварка относится к высококонцентрированным способам сварки. Плотность вводимой энергии может достигать 10^9 Вт/см². Близкими по концентрации энергии в зоне нагрева являются плазменная сварка и лазерная сварка.

Электронно-лучевая сварка обладает рядом преимуществ перед другими видами сварки. Среди них - защита сварочной ванны от атмосферы вследствие проведения процесса в вакууме (10^{-2} Па), глубокие и узкие швы, минимальная зона термического влияния и другие. Поэтому ЭЛС обычно применяется при сварке особо ответственных и высоконагруженных узлов и деталей конструкций[5].

При сварке некоторых соединений, например в ракетной технике, целесообразно производить ЭЛС с полным проплавлением свариваемого металла. Такие швы исключают

появление некоторых дефектов, являются более надежными, обеспечивают более высокие прочностные характеристики сварных соединений [4].

При ЭЛС в зоне взаимодействия с электронным пучком образуется парогазовый канал, стенками которого является расплавленный металл. При полном проплавлении пленка жидкого металла на дне канала периодически прорывается, и часть пучка проходит насквозь. Однако при отклонении от необходимого режима возникают либо прожоги, либо участки недостаточного проплавления[3].

В настоящее время разработаны и опробованы методы контроля сквозного проплавления посредством использования сигнала проходящего тока. При этом существует несколько методов обработки сигнала. Наиболее часто режим полного проплавления стабилизируют путем поддержания определенного уровня среднего значения сквозного тока [2]. Так же применяют метод поддержания определенного числа импульсов на 1 мм шва[1]. В ряде случаев возникают сложности с установкой коллекторов сквозного тока с обратной стороны изделия. Поэтому ведутся исследования с целью возможности контролирования режима полного проплавления с помощью датчиков, установленных над зоной сварки[6, 7].

На кафедре «Сварочное производство и технологии конструкционных материалов» Пермского национального исследовательского политехнического университета разработан и патентуется способ контроля полного проплавления при электронно-лучевой сварке методом поддержания определенного среднего уровня ширины импульсов сквозного тока. Для такого способа контроля могут быть применены несколько видов коллекторов. Например, пластина, экранированная от плазмы и вторичных электронов пластина, стакан с высокими стенками.

В данной работе рассмотрены примеры применения пластины с положительным потенциалом и пластины, экранированной сеткой с отрицательным потенциалом.

Материалы и методы исследования

В качестве изделия применялась труба из стали 12Х18Н10Т диаметром 160 миллиметров и толщиной стенки в 10 мм. При сварке применялась осцилляция пучка поперек шва для четкого формирования сигнала проходящего тока. Сварка проходила на одинаковых режимах (табл. 1), как для простого коллектора, так и для экранированного.

Таблица 1

Режим сварки

Режим фокусировки	Ток сварки	Скорость сварки	Ускоряющее напряжение	Частота осцилляции	Амплитуда осцилляции
Острый фокус	47 мА	5 мм/с	60 кВ	690 Гц	0,5 мм

Экранировка коллектора применялась для улавливания тока проходящих электронов, т.е. защиты датчика от плазмы. Для такого датчика необходима установка точно под зоной сварки, но практически пропадает требование к расстоянию от нижней поверхности изделия до него.

Схема расположения экранированного датчика и измерения показана на рисунке 1. При эксперименте с простым коллектором схема аналогична – отсутствует экранирующая сетка и цепь питания для нее.

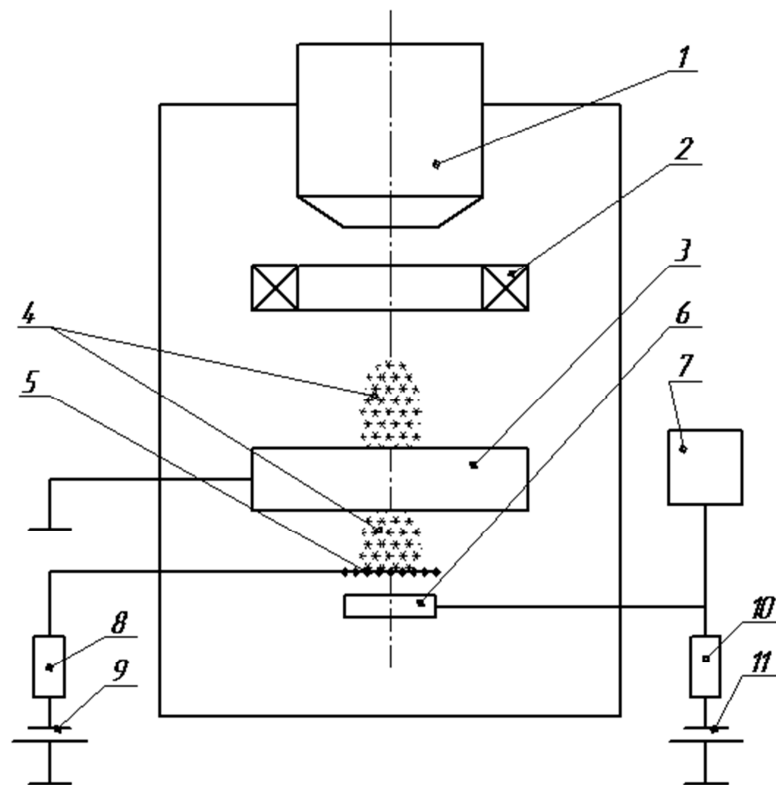


Рисунок 1. Схема измерения

- 1 – электронная пушка; 2 – фокусирующая катушка; 3 – изделие; 4 – плазма; 5 – экранирующая сетка;
6 – коллектор; 7 – система измерения; 8 – резистор нагрузки; 9 – источник питания;
10 – резистор нагрузки; 11 – источник питания

На не экранированный коллектор подавалось напряжение -48 вольт относительно земли через сопротивление 10 кОм. В случае с экранированным коллектором на пластину подавалось напряжение -48 вольт через сопротивление 60 кОм, напряжение на экранирующей сетке -24 вольта через сопротивление 50 Ом. Повышенное сопротивление в цепи питания пластины экранированного коллектора обусловлено уменьшенной величиной протекающего тока в этой цепи по сравнению с обычным коллектором.

Сигнал на отклоняющей катушке электронно-лучевой пушки изменялся по линейному закону. Регистрация сигналов с коллектора и с отклоняющей катушки производилась с помощью компьютера, оснащенного аналого-цифровым интерфейсом с частотой

дискретизации 500 кГц. Сбор информации и построение графиков производилось в программе LGraph.

Результаты исследования и их обсуждение

На рисунке 2 приведены графики сигналов при использовании простого коллектора. Верхний график отображает напряжение на коллекторе в зависимости от времени. Нижний график показывает осцилляцию напряжения на отклоняющей катушке. При увеличении видны характерные импульсы сигнала с коллектора. Типичный импульс приведен на рисунке 3. Ширина рисунка показывает размах осцилляции, то есть середина графика отображает уровень сигнала в центральной точке осцилляции, а края графика отображают крайние точки.

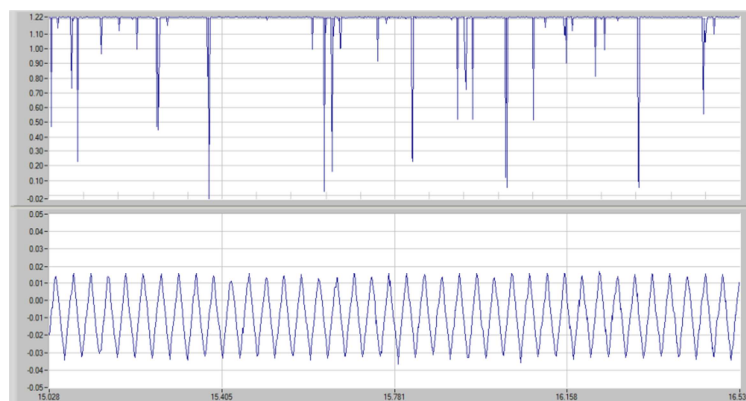


Рисунок 2. Результаты экспериментов с использованием простого коллектора

Как видно на рисунке 3, сигнал сквозного тока в случае использования простого коллектора может быть смещен относительно центра осцилляции (корня канала проплавления), имеет узкую асимметричную форму. Это связано с наличием помех – на коллектор попадают не только проходящие электроны, но так же ионы плазмы и термоэмиссионные электроны. Такой вид сигнала приводит к погрешностям в системе управления.

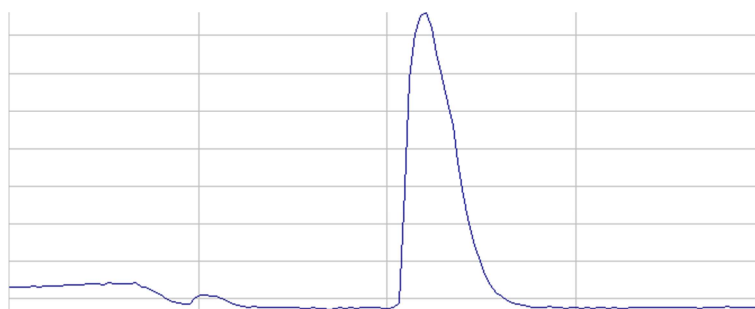


Рисунок 3. Типичный импульс с простого коллектора

На рисунке 4 приведены графики сигналов при использовании экранированного коллектора. При увеличении масштаба видны характерные импульсы сигнала с коллектора. Типичный импульс приведен на рисунке 5.

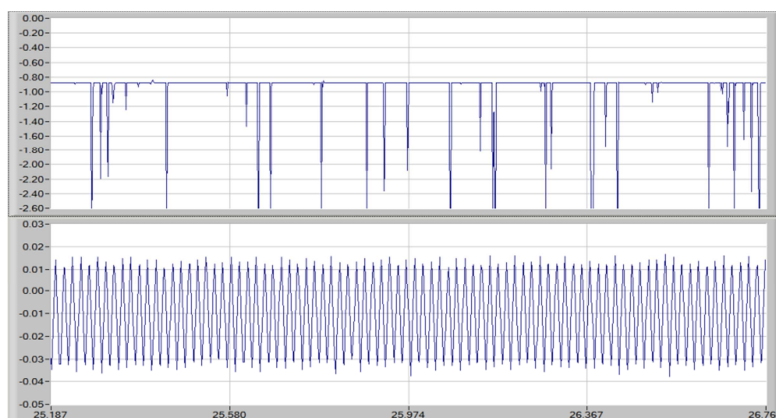


Рисунок 4. Результаты опыта использования экранированного коллектора

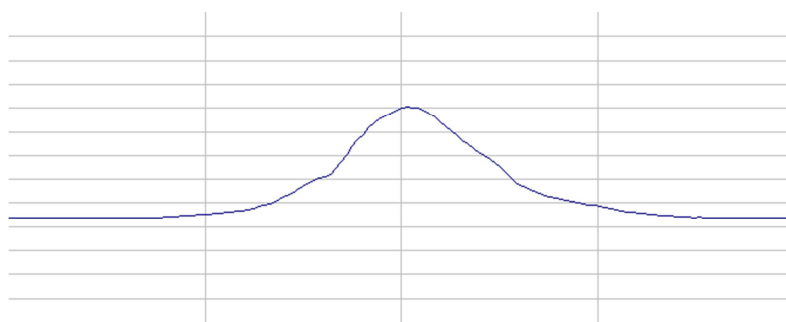


Рисунок 5. Типичный импульс с экранированного коллектора

Выводы

Сигнал экранированного коллектора отличается от сигнала обычного коллектора – экранированный коллектор дает более гладкие импульсы. Ширина этих импульсов характеризует ширину сквозного отверстия на дне канала проплавления.

Такой сигнал будет наиболее пригоден для системы контроля сквозного проплавления при электронно-лучевой сварке по средней ширине импульсов проходящего тока при полном проплавлении.

Однако существует ряд недостатков экранированного коллектора по сравнению с неэкранированным. В частности, более сложная конструкция и большие габариты, необходимость установки точно под каналом проплавления, запыление экранирующей сетки, необходимость подвода напряжения к сетке. Кроме того малая величина сигнала при использовании экранированного коллектора приводит к меньшей величине отношения «сигнал/шум» в сравнении с неэкранированным коллектором, когда измеряется электронный ток в плазме под изделием.

Список литературы

1. Башенко В.В., Мауер К.О. Импульсный характер потоков заряженных частиц из канала при электронно-лучевой сварке // Автоматическая сварка. – 1976. - №8. – С. 21 – 23.
2. Беленький В.Я. Электрофизические процессы в зоне нагрева металла концентрированным электронным пучком и их использование для контроля процессов электронно-лучевой обработки материалов: Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. – Санкт-Петербург, -1993.- 30 с.
3. Беленький В.Я., Трушников Д.Н., Шварев А.В. Некоторые аспекты контроля процесса формирования сварного шва при электронно-лучевой сварке со сквозным проплавлением // Сварка и диагностика. 2010. № 1. С. 41-43.
4. Беленький В.Я., Язовских В.М., Кротов Л.Н., Трушников Д.Н. Получение бездефектных швов при электронно-лучевой сварке // Наука - производству. 2000. № 5. С. 42.
5. Беляков И.Т., Зернов И.А., Антонов Е.Г. и др.; Под общ. Ред. Белякова И.Т. и Зернова И.А. Технология сборки и испытаний космических аппаратов: Учебник для высших технических учебных заведений // Машиностроение, 1990, 325 с.
6. Трушников Д.Н., Беленький В.Я. Исследование формирования сигнала вторичного тока в плазме при электронно-лучевой сварке с осцилляцией электронного пучка // Сварочное производство. 2012. № 11. С. 9-13.
7. Trushnikov D.N., Belenkiy V.Y., Portnov N.S., Mladenov G.M. Secondary-emission signal for weld formation monitoring and control in electron beam welding (ebw) // Materialwissenschaft und Werkstofftechnik. 2012. T. 43. № 10. С. 892-897.

Рецензенты:

Кривоносова Е.А., д.т.н., проф. каф. СПиТКМ МТФ ПНИПУ, г. Пермь;

Синани И.Л., д.т.н., проф. каф. СПиТКМ МТФ ПНИПУ, г. Пермь.