

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ С ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЙ ЛИНЗОЙ

В.Т. Доронин

Предлагаемым новшеством решается задача, во-первых, повышения качества сварки путём увеличения фокусировки электронного луча, во-вторых, уменьшения энергопотребления, в-третьих, значительного уменьшения габаритов устройства для электронно-лучевой сварки.

Устройство для электронно-лучевой сварки (рисунок 1) содержит высоковольтный источник электропитания, катод, сетку смещения потенциала с отверстием, ускоряющий анод с отверстием и фокусирующую линзу, размещающуюся в направлении от ускоряющего анода к свариваемому изделию. Фокусирующая линза выполнена из трёх последовательно установленных электродов, изготовленных в виде раструбов, постепенно сужающихся от ускоряющего анода к свариваемому изделию, при этом между первым и вторым электродами образован зазор для ускорения электронов, а между вторым и третьим электродами образован зазор для замедления электронов.

Увеличение фокусировки электронного луча в устройстве для электронно-лучевой сварки обеспечивается созданием сильного электростатического поля, индуцированного электростатической фокусирующей линзой провалами электростатического поля в зазорах между тремя последовательно установленными электродами, изготовленными в виде раструбов, постепенно сужающихся от ускоряющего анода к свариваемому изделию.

Малое энергопотребление устройства для электронно-лучевой сварки обусловлено использованием электростатической фокусирующей линзы, состоящей из трёх электродов, изготовленных в виде раструбов, и не требующей электрического тока при индукции статического электрического поля для фокусировки потока электронов.

Значительно меньшие габариты устройства для электронно-лучевой сварки обусловлены, во-первых, применением малогабаритной электростатической линзы, состоящей из трёх электродов, изготовленных в виде раструбов, и, во-вторых, практически не потребляющей электрической энергии при работе и, следовательно, не требующей громоздких источников электропитания устройства в целом.

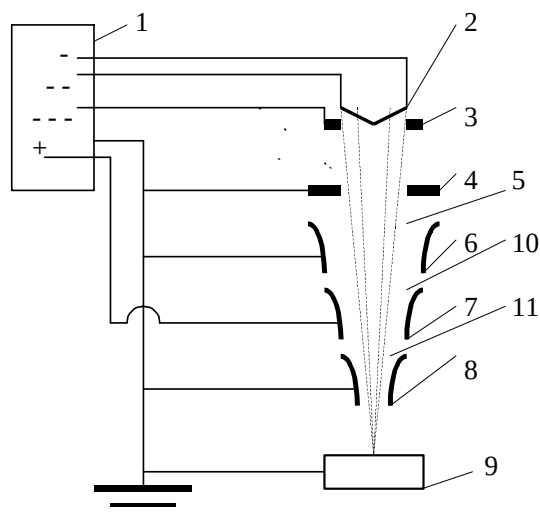


Рисунок 1 – Общий вид устройства для электронно-лучевой сварки.

На рисунке 2 изображено продольное сечение фокусирующей линзы с направленными тонкими изогнутыми линиями напряжённости электростатического поля и направлениями сил, действующих на пролетающие вдоль фокусирующей линзы электроны. На рисунке 2 прямыми короткими линиями со стрелками обозначена действующая на электрон электрическая сила Лоренца и её продольная и поперечная составляющие. Продольными, прямыми тонкими длинными линиями со стрелками обозначены направления перемещения фокусируемых электронов. Символом «А» обозначена область фокусирующего электростатического поля в зазоре для ускорения электронов в фокусирующей линзе. Символом «В» – не фокусирующая область электростатического поля в зазоре для ускорения электронов в фокусирующей линзе; «С» – не фокусирующая область электростатического поля в зазоре для замедления электронов в фокусирующей линзе; «D» – область фокусирующего электростатического поля в зазоре для замедления электронов в фокусирующей линзе.

Устройство для электронно-лучевой сварки содержит высоковольтный источник 1 электропитания, катод 2, сетку 3 смещения потенциала с отверстием, ускоряющий анод 4 с отверстием и фокусирующую линзу 5,

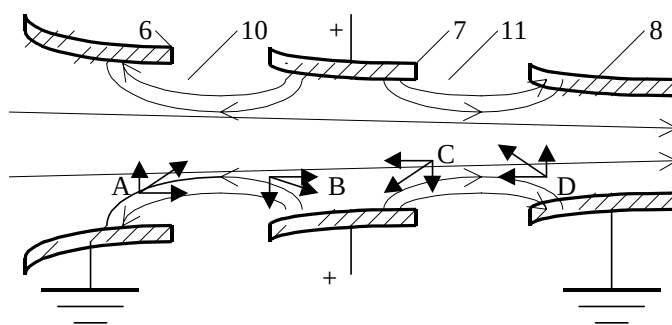


Рисунок 2 – Продольное сечение фокусирующей линзы

размещающуюся в направлении от ускоряющего анода 4 к свариваемому изделию 9. Фокусирующая линза 5 выполнена из трёх последовательно установленных электродов 6, 7, 8, изготовленных в виде раструбов, постепенно сужающихся от ускоряющего анода 4 к свариваемому изделию 9. Между первым и вторым электродами 6, 7 образован зазор 10 для ускорения электронов, а между вторым и третьим электродами 7, 8 образован зазор 11 для замедления электронов.

Электроды 6, 7, 8 фокусирующей линзы 5 изготовлены из электропроводящего материала. К электродам 6, 7, 8 для индукции электростатического поля, фокусирующего поток электронов в луч, приложены электрические потенциалы. Фокусировка потока электронов в луч осуществляется провалами электростатического поля в зазорах 10, 11 между размещёнными последовательно электродами 6, 7 и 7, 8 и электростатическим полем внутри электродов 6, 7, 8. Электроды 6, 7, 8 изогнуты по продольным образующим раструбов. Широкие части электродов 6, 7, 8 с помощью соответствующего формам электродов 6, 7, 8 электростатического поля внутри электродов 6, 7, 8 и с помощью провалов электростатического поля в зазорах 10, 11 между электродами 6, 7 и 7, 8 обеспечивают высокую фокусировку потока электронов в луч. Ускоряющий анод 4 установлен около широкой части электрода 6 вдоль продольной оси фокусирующей линзы 5. Свариваемое изделие 9 размещено вблизи узкой части электрода 8 вдоль продольной оси фокусирующей линзы 5.

Для формирования фокусирующего электронный поток в луч электростатического поля необходимо подать электрические потенциалы на электроды 6, 7, 8 фокусирующей линзы 5. На электрод 7 подаётся положительный потенциал по отношению к электродам 6 и 8. Потенциалы электродов 6, 7, 8, приводят к ускоряющей движение электронов разности потенциалов на электродах 6, 7 и к

замедляющей электроны разности потенциалов на электродах 7, 8. К широкому концу электрода 6 подводятся электроны, которые внутри электрода 6 следуют к узкому концу электрода 6. Далее сначала через широкий конец электрода 7 и затем через узкий конец электрода 7 электроны пролетают внутри электрода 7. На всём пути внутри линзы 5, с помощью электростатического поля, формируемого приложенными к электродам 6, 7, 8 потенциалами, осуществляется воздействие на поток электронов с конечным результатом, заключающимся в фокусировке потока электронов в луч. Из узкого конца электрода 8 фокусирующей линзы 5 выводится электронный луч и подаётся на свариваемое изделие 9.

Предлагаемое устройство для электронно-лучевой сварки работает следующим образом.

Высоковольтный источник 1 электропитания обеспечивает энергией функционирования всех элементов устройства для электронно-лучевой сварки, в том числе обеспечивает нагрев катода 2. Из катода 2 происходит эмиссия электронов. Из катода 2 через отверстие сетки 3 смещения потенциала электроны вытягиваются электрическим полем между катодом 2 и анодом 4, проходят через отверстие анода 4, и затем поступают в электростатическую фокусирующую линзу 5, выполненную из электродов 6, 7, 8. Фокусировка пучка электронов аналогична фокусировке света с помощью оптических линз. Фокусировка заключается в отборе электронов, летящих под различными углами с одинаковой энергией, и последующем сборе электронов в тонкий пучок. Фокусировка производится с помощью последовательно расположенных электродов 6, 7, 8, изготовленных в виде раструбов. В зазоре 10 для ускорения электронов между электродами 6, 7 электрическое поле провисает внутрь этого зазора к его оси. В наиболее широком электроде 6 пучок электронов фокусируется электростатическим полем, расположенным внутри

электрода 6, и электростатическим полем, провисающим в зазоре 10 для ускорения электронов между электродами 6, 7. Электроны здесь подвержены воздействию электрической составляющей силы Лоренца, которая и сводит постепенно электроны в пучок. Действие электростатической фокусирующей линзы 5 зависит от параметров электростатического поля между двумя соседними электродами 6, 7 и электродами 7, 8. Попав в область «А» зазора 10 для ускорения электронов между электродами 6 и 7, электроны испытывают действие электрической силы Лоренца с боковой компонентой силы, которая прижимает электроны к оси. В области «А» зазора 10 для ускорения электронов между электродами 6, 7 электрон прижимается электрическим полем к продольной оси линзы 5, т.е. электростатическое поле в области «А» зазора 10 для ускорения электронов фокусирует поток электронов. В области «А» электроны испытывают также действие продольной компоненты электрической силы Лоренца, которая ускоряет электроны. В области «В» электроны, казалось бы, должны получить равный по величине, но противоположный по знаку импульс в направлении к оси, однако это не так. К тому времени, когда электроны достигнут области «В», скорость электронов увеличится, энергия электронов увеличится, и поэтому на прохождение области «В» электроны затратят меньше времени. Силы, действующие на электрон в области «В» зазора 10 для ускорения электронов, имеют ту же величину, что и в области «А», но время действия сил в области «В» меньше, поэтому и полученный электронами в области «В» импульс в направлении к оси будет меньше, чем полученный в области «А» импульс. В области «В», зазора 10 для ускорения электронов между электродами 6, 7, электрическим полем отклоняется электрон от оси, т.е. область «В» зазора 10 поток электронов не фокусирует. Поскольку электрон, ускоряясь, пролетает вторую часть зазора 10 для ускорения электронов между электродами 6, 7 быстрее, чем первую, то фокусирующее действие напряжённости электрического поля оказывается преобладающим. Полный импульс силы, полученный электроном при прохождении областей «А» и «В» зазора 10 для ускорения электронов, направлен к оси фокусирующей линзы 5, так что в результате электроны стягиваются к одной общей траектории. Далее, в областях «С» и «D» зазора 11 для замедления электронов, электроны получают добавочный толчок по направлению к оси фокусирующей линзы 5. В области «С» зазора 11 для замедления электронов действующая на электрон поперечная составля-

ющая электрической силы Лоренца направлена от оси линзы 5. В области «D» зазора 11 для замедления электронов поперечная составляющая электрической силы Лоренца направлена к оси линзы 5, но поскольку в области «D» зазора 11 электрон замедлен и пребывает дольше, то полученный электроном при прохождении областей «С» и «D» зазора 11 полный импульс направлен к оси линзы 5. Для небольших расстояний от оси фокусирующей линзы 5 полный импульс силы на протяжении всей фокусирующей линзы 5 пропорционален расстоянию от оси, и это является основным условием, необходимым для обеспечения фокусировки электронов электростатическими фокусирующими линзами такого типа. Фокусировка электронов будет достигнута во всех случаях, когда потенциал среднего электрода 7 по отношению к двум другим электродам 6, 9 положителен, как это показано на рис.2. Электростатическая фокусировка электронов, основанная на изменении скорости в зазорах 10, 11 между электродами 6, 7 и 7, 8 эффективна лишь при малых скоростях электронов. Фокусировке потока электронов препятствует взаимное отталкивание ускоряемых электронов, которое начинает сказываться при больших интенсивностях пучков. В различных фокусирующих линзах взаимодействие электронов сказывается по-разному, но обычно именно взаимодействие электронов определяет предельно достижимую интенсивность пучка электронов.

Важнейшей особенностью фокусирующей линзы 5 для фокусировки электронов и отклонения пучка электронов является отсутствие витковых катушек. Это стало возможно потому, что выполнение фокусирующей линзы 5 из электродов 6, 7, 8, изогнутых по продольным образующим раструбов, позволило сформировать узкий пучок электронов. После фокусирующей линзы 5 электроны поступают к свариваемому изделию 9. Электроны дают на свариваемом изделии 9 маленькое светлое пятнышко. Перемещение луча электронов по свариваемому изделию 9 осуществляется незначительным поворотом фокусирующей линзы 5, позволяющим устанавливать электронный луч точно по линии сварки. Перемещение луча электронов по свариваемому изделию 9 осуществляется также поворотом электрода 8 фокусирующей линзы 5.

При использовании предлагаемого устройства для электронно-лучевой сварки уменьшаются материальные и финансовые затраты на изготовление и эксплуатацию устройства, т.к. оно не требует применения громоздких и энергоёмких электромагнитов линзы.