

УДК 621.791.75

**О СВАРКЕ ДУГОЙ ГОРЯЩЕЙ
В ДИНАМИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ**А.Ф. Князьков, О.С. Пустовых, А.В. Веревкин,
А.А. ПодзываловТомский политехнический университет
E-mail: bos1983@tpu.ru**Князьков Анатолий Федорович**, канд. техн. наук, доцент кафедры оборудования и технологии сварочного производства Института неразрушающего контроля ТПУ.
E-mail: kaf@tpu.ru

Область научных интересов: методы и системы импульсного управления процессами сварки, наплавки и родственными процессами.

Пустовых Ольга Сергеевна, ассистент кафедры теоретической и прикладной механики Института физики высоких технологий ТПУ.
E-mail: bos1983@tpu.ru

Область научных интересов: методы и системы импульсного управления процессами сварки и наплавки, родственными технологиями и процессами.

Веревкин Алексей Валерьевич, канд. техн. наук, доцент кафедры транспортировки и хранения нефти и газа Института природных ресурсов ТПУ.
E-mail: verevkin@tpu.ru

Область научных интересов: разработка импульсных технологий для орбитальной сварки магистральных трубопроводов.

Подзывалов Андрей Александрович, магистрант ИНК ТПУ.
E-mail: bos1983@tpu.ru

Область научных интересов: Импульсное управление сварочными и родственными процессами.

Проведен анализ методов и средств повышения сварки неплавящимся электродом в аргоне. Показана перспективность применения дуги горящей в динамическом режиме. Представлена функциональная схема устройства для питания сварочной дуги в динамическом режиме, особенностью которой является использование формирующего элемента выполненного в виде искусственной формирующей линии. Приведены осциллограммы тока и напряжения дуги для импульсов длительностью 70 мкс. Прямая и обратная стороны сварного шва свидетельствуют о концентрированном вводе тепла в изделие.

Ключевые слова:

Сварочная дуга, динамический режим горения, искусственная формирующая линия.

Известны различные средства и методы повышения эффективности процесса сварки неплавящимся электродом в аргоне за счет сжатия столба дуги, основанные на химическом или физическом воздействии. При использовании физических средств сжатие достигается преимущественно за счет изменения физических параметров разряда: наложение высокочастотного напряжения, специальная подготовка рабочей поверхности электрода, воздействие внешних магнитных полей и т.п. Большинство этих способов имеют ограниченное использование и применяются для решения частных задач. Когда эффект сжатия дуги происходит вследствие развития окислительно-восстановительных реакций в зоне сварки путем изменения защитной среды, это не требует ни дополнительного расхода газа, ни специальных устройств. Процесс сжатия свободно горящей дуги устанавливается и поддерживается за счет подачи в зону сварки дополнительно к аргону небольшого количества химических веществ (углекислого газа, галоидных соединений, кислорода и т. д.). Известные способы повышения эффективности имеют как собственные недостатки, так и

общие, что ограничивает их применение без дополнительных материальных и временных затрат.

Перспективным направлением повышения эффективности процесса сварки является использование дуги горящей в динамическом режиме. В научно-технической литературе недостаточно информации о данном способе сварки, в связи с чем представляется интересным исследование свойств и возможностей применения дуги горящей в динамическом режиме.

Для исследования был разработан экспериментальный образец устройства, функциональная схема которого представлена на рис. 1 [1].

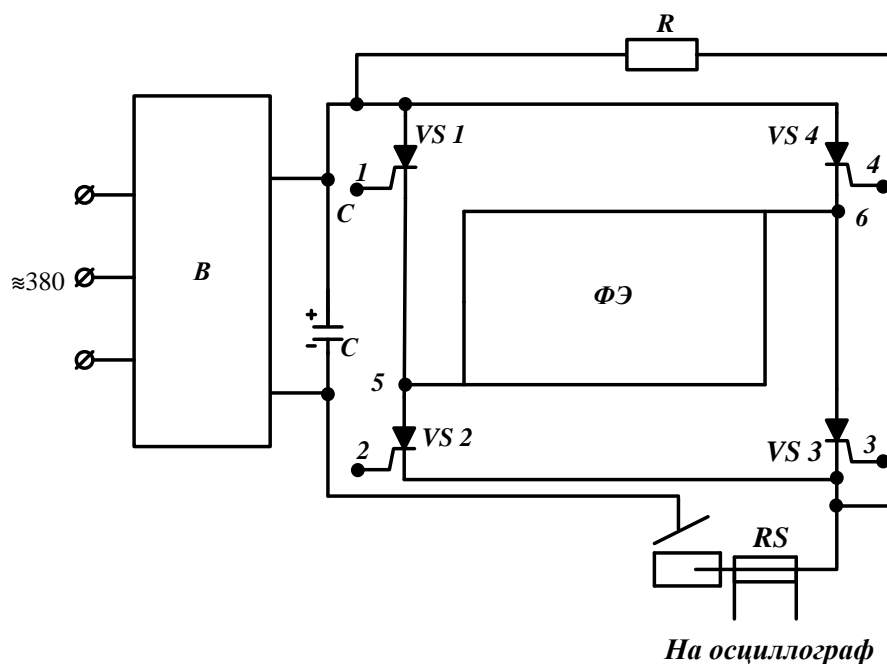


Рис. 1. Функциональная схема устройства

Устройство состоит из трехфазного выпрямителя B , обладающего жесткой внешней характеристикой и регулируемым напряжением холостого хода. Для уменьшения внутреннего сопротивления к выходным клеммам B подключена батарея конденсаторов большой емкости C . Импульсная часть устройства изготовлена в виде мостового преобразователя, выполненного на тиристорах $VS1$ – $VS4$, в одну диагональ которого включен формирующий элемент $\Phi Э$ с ненулевыми начальными условиями. Другая диагональ включена последовательно в сварочную цепь.

Включение $\Phi Э$ в диагональ тиристорного моста и наличие батареи конденсаторов C позволяет при поочередном открытии пар тиристоров $VS1, VS3$ и $VS2, VS4$ перезаряжать $\Phi Э$ на противоположную полярность через дуговой промежуток, без предварительного заряда от источника питания. Для обеспечения непрерывности горения дуги на интервале между импульсами импульсная часть зашунтирована резистором R , обеспечивающим протекание дежурного тока через дуговой промежуток. Диапазон значений дежурного тока ограничивается требованиями к физической устойчивости горения дуги и защиты (минимальное значение) и технологическими требованиями (максимальное значение).

В качестве формирующего элемента (рис. 2) используется искусственная формирующая линия (ИФЛ), состоящая из n -го числа ячеек. В свою очередь, каждая ячейка состоит из последовательно включенных конденсатора $C_{я}$ и дросселя $L_{я}$. Дроссель последней ячейки выполнен в виде быстронасыщающегося дросселя – БНД, сердечник которого обладает прямоугольной кривой намагничивания, а индуктивность в насыщенном состоянии равна индуктивности дросселей ячеек.

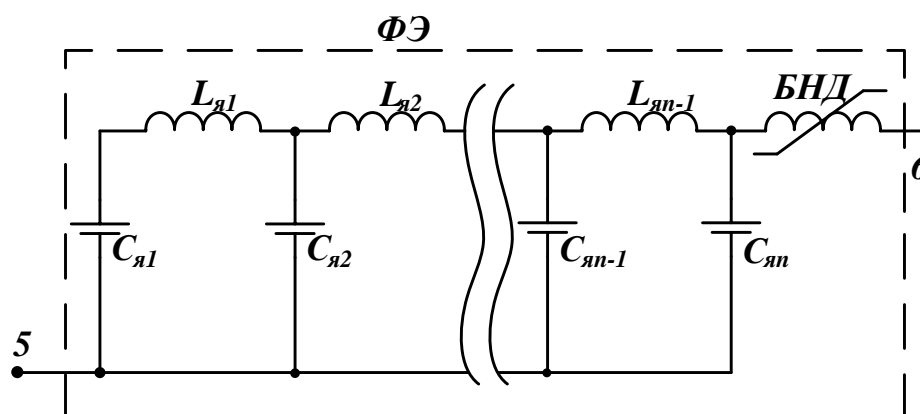


Рис. 2. Импульсная часть устройства

Устройство работает следующим образом. При подаче управляющих импульсов на тиристоры $VS1$ и $VS3$, находящиеся в противоположных плечах тиристорного моста, конденсаторы $C_я$ имеют заряд с минусом на нижних обкладках и плюсом на верхних обкладках конденсаторов ИФЛ. Батарея конденсаторов C всегда заряжена от выпрямителя B с плюсом на верхних обкладках. При открытии тиристоров $VS1$ и $VS3$ под действием суммарного напряжения источника питания B и напряжения заряженных конденсаторов $C_я$ происходит перезаряд ИФЛ по цепи: плюс выпрямителя B – тиристор $VS1$ – ФЭ–БНД – тиристор $VS3$ – шунт RS – изделие – дуговой промежуток (между изделием и электродом) – электрод – минус выпрямителя. В конце процесса перезаряда полярность конденсаторов $C_я$ сменится на противоположную – плюс на нижних обкладках, минус на верхних обкладках. При этом через дуговой промежуток протекают униполярные импульсы тока.

При открытии пары тиристоров – $VS2$ и $VS4$ – процесс перезаряда ИФЛ происходит аналогично процессу при открытии пары тиристоров $VS1$ и $VS3$.

Управление импульсной частью устройства осуществляется схемой управления, представленной на рис. 3 [2].

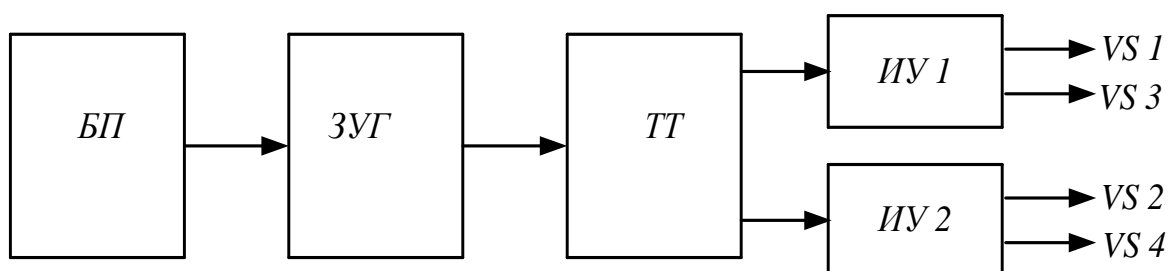


Рис. 3. Функциональная схема управления импульсным устройством

Питание схемы управления осуществляется от блока питания БП. Частота работы установки определяется задающим управляемым генератором частоты (ЗУГ), частоту которого можно изменять от нескольких герц до нескольких тысяч герц при соответствующем снижении длительности импульсов. Последовательность импульсов с выхода генератора ЗУГ поступает на вход тиристорного триггера ТТ (триггер типа Т), который осуществляет деление частоты на два. С двух выходов триггера ТТ последовательности импульсов с частотой, меньшей в 2 раза частоты генератора ЗУГ, сдвинутые относительно друг друга, на период частоты импульсов генератора поступают на входы импульсных усилителей ИУ1 и ИУ2. Каждый усилитель имеет два выхода. После усиления импульсы с каждого усилителя поступают на пары тиристоров $VS1$, $VS3$ и $VS2$, $VS4$. При открытии каждой пары тиристоров происходит перезаряд формирующего элемента ФЭ и через дуговой промежуток протекают импульсы сварочного тока.

Работа схемы иллюстрирована циклограммами, представленными на рис. 4.

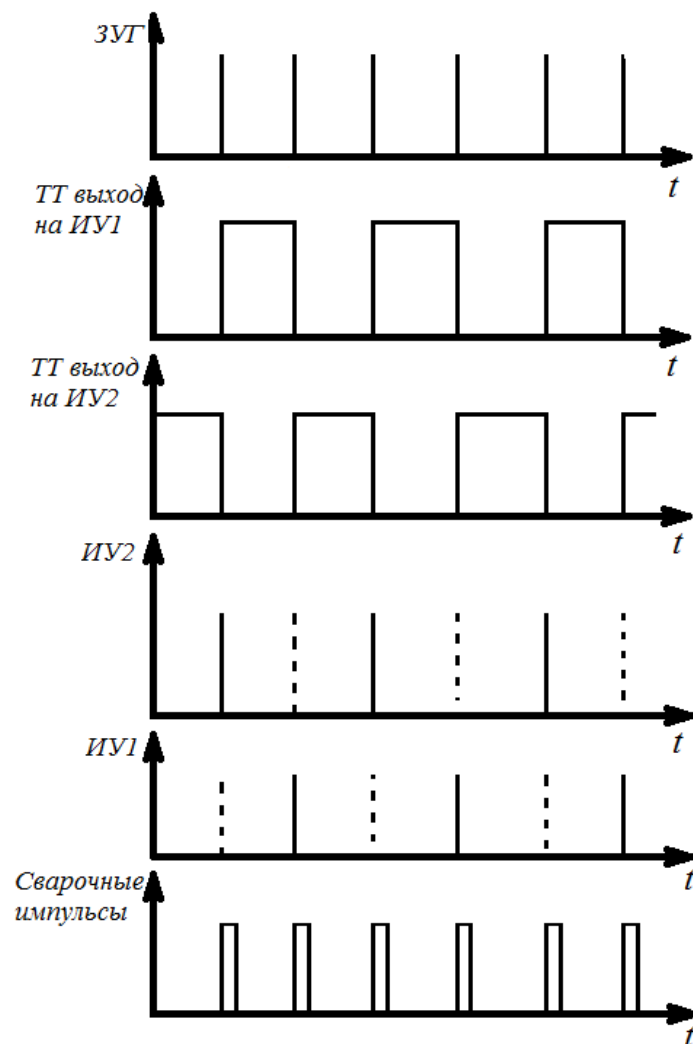


Рис. 4. Циклограммы, иллюстрирующие работу функциональной схемы

Осциллограммы импульсов тока в сварочной цепи и напряжения дуги приведены на рис. 5. Регистрация тока осуществлялась с использованием безиндуктивного шунта RS .

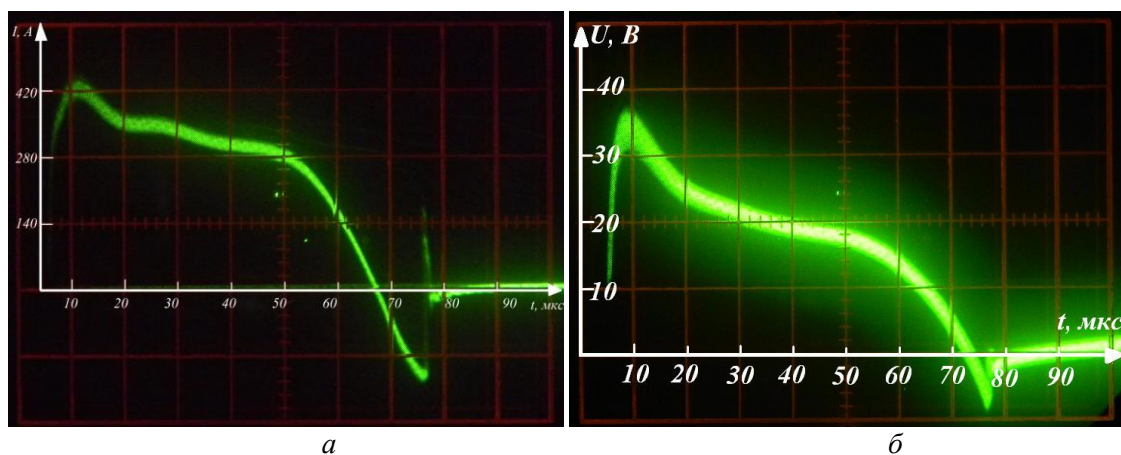


Рис. 5. Осциллограммы: а) импульса тока дуги; б) напряжения дуги

Амплитуду импульсов тока в сварочной цепи, определяют по выражению [3]:

$$I_{\text{ei}} = \frac{U + U_c - U_d}{2\rho},$$

где U , U_c , U_d – напряжения источника питания В, заряда формирующей линии и дугового промежутка соответственно; $\rho = \sqrt{L_y / C_y}$ – волновое сопротивление формирующей линии; L_y – индуктивность дросселя ячейки формирующей линии; C_y – емкость конденсатора ячейки формирующей линии.

На вершине импульсов тока проявляются наложенные колебания, число которых находится в пропорциональной зависимости от количества n ячеек ИФЛ. Величина первого наибольшего выброса колебаний [3] тока и напряжения практически не зависит от числа звеньев ИФЛ и определяется параметрами первой ячейки. Однако предъявляемые высокие требования к постоянству вершины импульсов требуют коррекции последней [3]. Для уменьшения первого выброса колебаний и плавного перехода от дежурного тока к импульсу (в области малых токов) используется быстронасыщающийся дроссель. При этом активная длительность формируемого импульса тока равна [3]:

$$t_{\text{ei}} = 2,2n\sqrt{L_y C_y},$$

где n – количество ячеек формирующей линии.

Как было отмечено ранее, фронт импульса определяется параметрами первой ячейки ИФЛ, таким образом, выражение для активной длительности фронта будет выглядеть как [3]:

$$t_{\text{o}} = 0,61\sqrt{L_y C_y} \cong 0,27 \frac{t_{\text{ei}}}{n}.$$

В отличие от активной длительности фронта, которая не зависит от числа ячеек линии, длительность среза определяется их количеством [3]:

$$t_{\text{n}} \cong (2,3 + 0,075n)\sqrt{L_y C_y}.$$

Активная длительность среза примерно в четыре раза превосходит активную длительность фронта формируемого импульса, благодаря чему не нарушаются ламинарное истечение защитного газа и защита сварного шва, о чем свидетельствует внешний вид шва (блестящая поверхность без окислов).

Высокая скорость нарастания тока и напряжения дуги позволяет говорить о том, что дуга на интервале фронта импульса ведет себя как активное сопротивление. При условно постоянном токе дуги вершины импульса происходит плавное снижение напряжения за счет развития ионизационных процессов в столбе дуги. На срезе импульса наблюдаются свойства столба как нелинейного накопителя энергии. Наличие большого количества носителей заряда в столбе способствует переходу его напряжения в отрицательную область. Это связано с тем, что дежурный ток обеспечивает меньшее количество носителей заряда от источника питания, чем находится в объеме столба дуги.

Для исследования формирования сварного шва производили наплавку и сварку стальных образцов (без присадочного материала). Образцы из стали Ст3 толщиной 2 мм размерами 150×50 мм закрепляли в прижимном приспособлении, расположенном на столе. Дуговая сварка пластин в защитной среде аргона выполнялась вольфрамовым электродом диаметром 3 мм в нижнем положении на весу. Вольфрамовый электрод имел сферическую поверхность, что в динамическом режиме горения обеспечивает высокую тепловую нагрузку и пространственную устойчивость столба дуги. Длина дуги (расстояние от торца электрода до поверхности пластины) поддерживалась равной 3,5 мм. Сварку проводили при следующих режимах: $I_{\text{им}} = 280 \dots 340$ А; $I_{\text{дл}} = 12 \dots 16$ А; $t_{\text{им}} = 70$ мкс; $U_{\text{им}} = 32$ В; в диапазоне частоты следования импульсов 750...3000 Гц показали высокую устойчивость горения дуги и малую ширину шва (рис. 6).

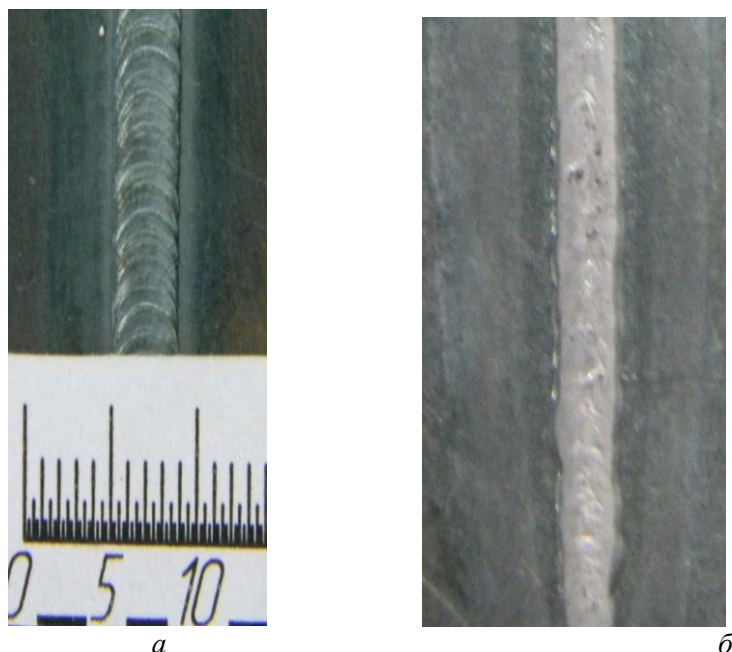


Рис. 6. Внешний вид: а) прямой; б) обратной стороны сварного шва

Исследования показали, что динамический режим обеспечивает концентрированный ввод тепловой энергии при хорошем формировании шва. Полученные образцы сварных швов имеют мелкочешуйчатую поверхность. Ширина шва с лицевой и обратной стороны одинаковая и составляет 3 мм, что свидетельствует о концентрированном вводе тепла в изделие. При сварке пластин, дугой горящей в динамическом режиме даже с заведомым превышением кромок, равным толщине свариваемых пластин, обеспечивается гарантированное качество сварного соединения во всех пространственных положениях.

Полученные результаты экспериментального исследования показывают, что применение дуги горящей в динамическом режиме является перспективным направлением развития.

Выводы

1. Разработанное устройство с формирующим элементом в виде искусственной формирующей линии обеспечивает получение импульсов тока с формой, близкой к прямоугольной, и обладает широкими регулировочными возможностями и высокой надежностью.
2. Дуга, горящая в динамическом режиме, обеспечивает концентрированный ввод тепла в изделие – об этом свидетельствует лицевая и обратная стороны шва, имеющие одинаковую ширину.

Работа выполнена в рамках гранта «Конкурс межинститутских исследовательских проектов ТПУ».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Устройство для формирования импульсов сварочного тока. Пат. 2343051 РФ. МПК7В23К 9/09; Н03К 3/53/ А.Ф. Князьков, В.Л. Князьков, О.С. Бирюкова, В.А. Устинов. Заявлено 04.06.2007; опубл. 10.01.2009, Бюл. № 1.
2. Князьков А.Ф., Бирюкова О.С., Устинов В.А. Особенности горения дуги с неплавящимся электродом в динамическом режиме // Труды XIV Международной научно-практической конференции «Современные техника и технологии». – Т. 1. – 2008. – С. 244 – 246.
3. Ицкохи Я.С., Овчинников Н.И. Импульсные и цифровые устройства. – М.: Советское радио, 1972. – 592 с.

Поступила 02.10.2013 г.