

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гарбер И.С. Магнитные импульсные модуляторы. – М.: Советское радио, 1964. – 159 с.
2. Меерович Л.А., Ватин И.М., Зайцев Э.Ф., Кандыкин В.М. Магнитные генераторы импульсов. – М.: Советское радио, 1968. – 475 с.
3. Dai Yuhang. Pulsed Power Supply Employing Magnetic Pulse Compression Technology // Proc. PEMS'98. – Prague, Czech Republic, 1998. – V. 2. – P. 2–185–2–188.
4. Важаев В.А., Катаев И.Г. Магнитополупроводниковый формирователь импульсов с управляемым узлом сжатия // Приборы и техника эксперимента. – 1992. – № 6. – С. 128–134.
5. Nakhe S.V., Rajanikanth B.S., Bratnager R. Energy disposition studies in a copper vapour laser under different pulse excitation schemes // Measurement Science and Technology. – 2003. – № 14. – P. 608.
6. Магнітно-напівпровідниковий генератор однополярних наносекундних імпульсів: пат. № 40523 Україна МПК Н03К 7/00; заявл. 28.11.2008; опубл. 10.04.2009, Бюл. № 7.
7. Одноключовий магнітно-напівпровідниковий генератор однополярних інверсних імпульсів: пат. № 44910 Україна. Заявл. 12.01.2009; опубл. 25.06.2009, Бюл. № 12.
8. Двоключовий магнітно-напівпровідниковий генератор однополярних інверсних імпульсів: пат. № 41501 Україна. Заявл. 18.12.2008; опубл. 25.05.2009, Бюл. № 10.
9. Волков И.В., Зозулев В.И., Шолох Д.А. Магнитно-полупроводниковые генераторы с разнофункциональными узлами магнитной компрессии импульсов. // Препринт Ин-ту электродинамики НАН України: Зб. наук. пр. – Київ: ІЕД НАНУ, 2010. – Вип. 26. – С. 79–89.
10. Магнітно-напівпровідниковий генератор з дросельним вузлом формування двотактних однополярних імпульсів: пат. № 51753 Україна. Заявл. 01.03.2010; опубл. 26.07.2010, Бюл. № 14.
11. Магнітний вузол формування двотактних однополярних імпульсів: пат. № 6627А, Україна, МПК. Заявл. 18.09.2003; опубл. 15.04.2004, Бюл. № 4.
12. Малашин М.В., Мошкунов С.И., Хомич В.Ю. Система накачки лазера на парах меди на основе составного твердотельного коммутатора // Лазеры на парах металлов: Тез. докл. Симпозиума (ЛПМ-2010). – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2010. – С. 64.
13. Магнітно-напівпровідниковий генератор двотактних однополярних імпульсів: пат. № 46235 Україна. Заявл. 17.03.2009; опубл. 10.12.2009, Бюл. № 23.

Поступила 01.09.2010 г.

УДК 621.791

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ СВАРКИ В ДИНАМИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ ГОРЕНИЯ ДУГИ

А.Ф. Князьков, О.С. Бирюкова

Томский политехнический университет  
E-mail: bos1983@tpu.ru; kaf@tpu.ru

*Рассмотрен процесс формирования импульсов сварочного тока, обеспечивающих устойчивое горение дуги в динамическом режиме. Разработано устройство с формирующим элементом, выполненным на базе искусственной формирующей линии. Проведены исследования при сварке неплавящимся электродом в среде аргона. Показаны преимущества сварного соединения при сварке дугой, горящей в динамическом режиме.*

### Ключевые слова:

*Сварочная дуга, динамический режим горения, искусственная формирующая линия.*

### Key words:

*Dynamic mode of burning, welding arc, artificial forming line.*

Перспективным направлением совершенствования сварочных систем питания является создание устройства, обеспечивающего концентрированный ввод тепловой энергии в свариваемое изделие за счет импульсного питания дуги. Выделяют динамический режим горения дуги между неплавящимся электродом и изделием с гарантированным качеством сварного шва во всех пространственных положениях. Динамический режим горения дуги достигается при длительности импульсов менее 450...500 мкс [1] вследствие отставания перехода дуги к статическому состоянию из-за быстрого изменения значения тока и напряжения. Быстрое изменение тока приводит к возникновению динамических «всплесков» напряжения [3]. Существование «всплесков» объясняется несоответствием термической эмиссии электронов с катода текущему

значению тока вследствие тепловой инерции. Недостаток термической эмиссии восполняется автоэлектронной эмиссией, что обеспечивает рост напряжения дуги. При этом наблюдается контрагирование столба дуги и уменьшение размеров анодного пятна на изделии, что увеличивает глубину проплавления [1].

Одним из вариантов устройства для импульсного питания сварочной дуги является применение искусственной формирующей линии (ИФЛ), состоящей из LC ячеек [4].

На рис. 1 представлена схема устройства для формирования импульсов сварочного тока. Устройство состоит из трехфазного выпрямителя В, обладающего жесткой внешней вольтамперной характеристикой и регулируемым напряжением холостого хода. К выходным клеммам для умень-



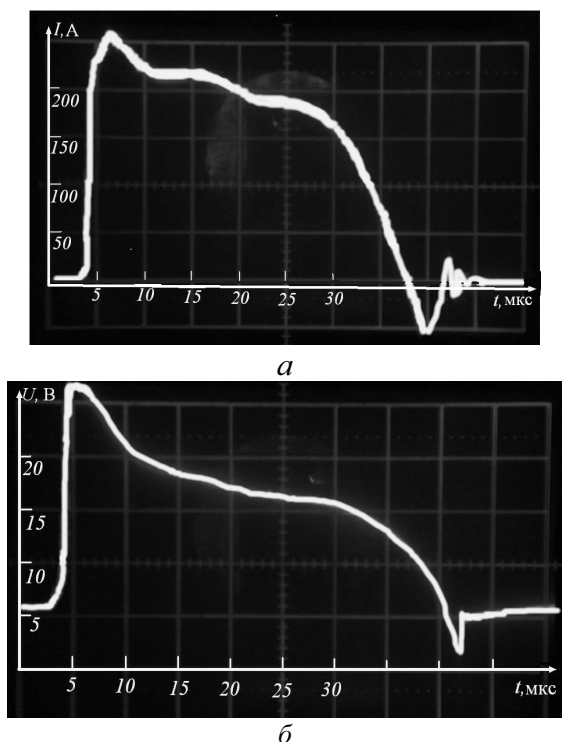


Рис. 2. Осциллограммы: а) импульса тока и б) напряжения дуги

Емкость батареи конденсаторов  $C_1-C_n$  намного больше суммарной емкости конденсаторов ИФЛ, поэтому внутреннее сопротивление выпрямителя не будет оказывать заметного влияния на процесс перезаряда ИФЛ. При очередном отпирании пар тиристоров  $VS2$  и  $VS4$ ,  $VS1$  и  $VS3$  через дуговой промежуток будет протекать импульс тока перезаряда ИФЛ, что исключает необходимость предварительного ее заряда от источника  $B$ .

Осциллограммы импульсов тока в сварочной цепи и напряжения дуги приведены на рис. 2. Регистрация тока осуществлялась с использованием безиндуктивного шунта  $RS$ .

Амплитуду импульсов тока в сварочной цепи определяют по выражению [5]:

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

где  $U$ ,  $U_c$ ,  $U_d$  – напряжения источника питания  $B$ , заряда формирующей линии и дугового промежутка;  $\rho = \sqrt{L_я/C_я}$  – волновое сопротивление форми-

рующей линии;  $L_я$  и  $C_я$  – индуктивность дросселя и емкость конденсатора ячейки формирующей линии.

На вершине импульсов проявляются наложенные колебания, число которых находится в пропорциональной зависимости от количества  $n$  ячеек ИФЛ. Величина первого наибольшего выброса колебаний [5] тока и напряжения практически не зависит от числа звеньев ИФЛ и определяется параметрами первой ячейки. Однако предъявляемые высокие требования к постоянству формы вершины импульсов требуют коррекции последней [5]. Для уменьшения первого выброса колебаний и плавного перехода от дежурного тока к импульсу (в области малых токов) используется быстроснабжающийся дроссель. При этом активная длительность формируемого импульса тока равна [5]:

$$t_{им} = 2,2n\sqrt{L_яC_я},$$

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 [5]:

$$t_{ф} = 0,61\sqrt{L_яC_я} \cong 0,27 \frac{t_{им}}{n}.$$

В отличие от активной длительности фронта, которая не зависит от числа ячеек линии, длительность среза зависит от их количества [5]:

$$t_c \cong (2,3 + 0,075n)\sqrt{L_яC_я}.$$

Активная длительность среза примерно в 4 раза превосходит активную длительность фронта формируемого импульса, благодаря чему не нарушается ламинарное истечение защитного газа и защита сварного шва, о чем свидетельствует внешний вид шва (поверхность, блестящая без наличия окислов).

Для исследования формирования сварного шва производили наплавку и сварку стальных образцов (без присадочного материала). Образцы из стали Ст3 толщиной 1; 1,5 и 4 мм размерами 150×50 мм закрепляли в прижимном приспособлении. Сварку проводили неплавящимся электродом в аргоне:  $I_{им}=200...300$  А; ток дежурной дуги –  $I_{д0}=8...12$  А; длительность импульсов 40...75 мкс;  $U_d=32$  В; диапазон частоты следования импульсов 750...3000 Гц. Показана высокая устойчивость горения дуги при малой ширине шва (рис. 3).

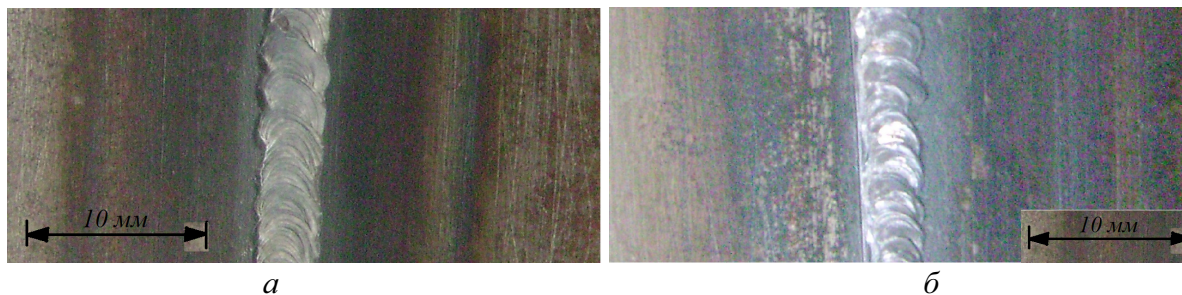


Рис. 3. Внешний вид: а) прямой и б) обратной стороны сварного шва

Исследования показали, что динамический режим обеспечивает концентрированный ввод тепловой энергии при качественном формировании шва. Полученные образцы сварных швов имеют мелкошершавую поверхность. Ширина шва с лицевой и обратной стороны одинакова и составляет 4 мм, что свидетельствует о концентрированном вводе тепла в изделие. Сплавление образцов происходит по всей длине образцов. 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.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Славин Г.А., Столпнер Е.А. Некоторые особенности дуги, питаемой кратковременными импульсами тока // Сварочное производство. – 1974. – № 2. – С. 3–5.
2. Князьков А.Ф., Бирюкова О.С. Перспективы использования дуги горящей в динамическом режиме // Знания, умения, навыки – путь к созданию новых инженерных решений: Матер. регион. научно-практ. конф. – Томск, 2007. – С. 13–15.

Разработанное устройство обеспечивает устойчивое горение дуги в динамическом режиме, что позволяет улучшить качество сварного соединения и энергетические показатели работы за счет:

- обеспечения локального ввода тепла в изделие;
- широких регулировочных возможностей по частоте следования импульсов тока;
- исключения возможности протекания сквозного тока от источника питания через дуговой промежуток;
- исключения этапа предварительного заряда формирующей линии;
- исключения остаточного намагничивания сердечника быстронасыщающегося дросселя.

3. Трофимов Н.М., Синицкий Р.В. Динамические характеристики импульсной дуги при сварке в аргоне // Сварочное производство. – 1967. – № 8. – С. 8–10.
4. Устройство для формирования импульсов сварочного тока: пат. 2343051 Рос. Федерация. Заявл. 04.06.07; опубл. 10.01.09, Бюл. № 1.
5. Ицкохи Я.С., Овчинников Н.И. Импульсные и цифровые устройства. – М.: Советское радио, 1972. – 592 с.

Поступила 11.04.2010 г.

УДК 620.97

## АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

В.Ф. Саврасов, Ф.В. Саврасов\*, А.В. Юрченко\*, В.И. Юрченко

ОАО НИИПП, г. Томск

\*Томский политехнический университет

Email: yur\_med@mail.ru

*Проведен годичный мониторинг совместной работы солнечно-ветровой энергетической установки и установлены оптимальные параметры их работы в зимний период. Методом многомерных векторов проанализированы различные факторы развития солнечной энергетики в Томской области и показан высокий уровень научно-производственной базы и приемлемого уровня солнечно-ветровых ресурсов.*

#### Ключевые слова:

*Возобновляемая энергия, фотоэлектрические системы, солнечная радиация, мониторинг работы солнечных батарей.*

#### Key words:

*Renewable energy, photovoltaic systems, solar radiation, tests of solar batteries.*

Коренное изменение структуры потребления энергетических ресурсов произошло в XX в. с преобладанием газовой и появлением ядерной энергетики, что расширило виды невозобновляемых энергетических ресурсов природы. Солнечная энергетика имеет наиболее простые причинно-следственные связи и позволяет достичь с природой равновесного или близкого к нему функционирования. Актуальность рассматриваемой проблемы обусловлена высокими темпами развития солнечной энергетики и расширением географии использования фотоэлектрических систем (ФЭС) [1, 2]. ФЭС в сочетании с ветроэнергетическими уста-

новками и топливными водородными элементами эффективны с точки зрения использования возобновляемых ресурсов. Согласно прогнозам (экспертов Госдумы) доля возобновляемой энергетики в России к 2015 г. составит 2,5...3 %, а эксперты Международного энергетического агентства прогнозируют в мире увеличение ее доли до 9...19 % к 2050 г.

Как показано во многих работах [1–4] баланс энергоресурсов на рынке Томской области (ТО) не положительный. Значительная часть электроэнергии (40 %) закупается в соседних регионах, а все дизельное топливо завозится. Многие север-