

УДК 621.791.92.03-52

Гулаков С.В.¹, Бурлака В.В.², Псарєва І.С.³, Кулябіна А.І.⁴

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ ЛЕНТОЧНЫМ ЭЛЕКТРОДОМ

Предложена технология наплавки ленточным электродом с применением системы стабилизации сопротивления вылета путем использования переключаемого токоподвода. Эта технология позволяет уменьшить флуктуации тока дуги, стабилизировать ход процесса наплавки и повысить качество наплавленного слоя. Для определения оптимального режима подвода тока создана математическая модель, позволяющая анализировать поле вектора плотности тока на вылете ленточного электрода.

Ключевые слова: электродуговая наплавка, ленточный электрод, автоматическое управление.

Гулаков С.В., Бурлака В.В., Псарьова І.С., Кулябіна А.І. Вдосконалення технології дугового наплавлення стрічковим електродом. Запропонована технологія дугового наплавлення стрічковим електродом із використанням системи стабілізації опору вильоту шляхом використання струмопідводу, що перемикається. Ця технологія дозволяє зменшити флуктуації струму дуги, стабілізувати хід процесу наплавлення і покращити якість шару, що наплавляється.

Ключові слова: електродугове наплавлення, стрічковий електрод, автоматичне керування.

Gulakov S.V., Burlaka V.V., Psareva I.S., Kulyabina A.I. Improvement of the strip electrode deposition technology. A method of arc deposition with strip electrode was proposed with application of the system of stabilization of resistance to electrode's stick out by means of switched current supply was proposed. This makes it possible to decrease arc's voltage fluctuations and stabilize the process of metal deposition, thus improving the quality of the ball, which is being deposited.

Keywords: Arc deposition, strip electrode, automatic control.

Постановка проблемы. При дуговой наплавке ленточным электродом дуга, перемещаясь по торцу ленты, обеспечивает не концентрированное, а распределенное по ширине ленты тепловложение в основной металл. Это может отрицательно сказаться на качестве наплавленного слоя – возможности появления дефектов в виде несплавлений, зашлаковок, пропусков наплавленного металла и др. [1, 2].

Анализ последних исследований и публикаций. Существенную роль в обеспечении качественного процесса дуговой наплавки ленточным электродом играет вид вольт–амперной характеристики (ВАХ) источника питания сварочной дуги. При этом ВАХ источника питания должна быть выбрана в оптимальном диапазоне для конкретного случая наплавки [3].

Следует, однако, отметить, что при питании дуги от источника энергии его ВАХ определяется не только параметрами самого источника, но и элементами, включенными последовательно с дугой: соединительными кабелями, скользящим по ленте токоподводом, а также вылетом электрода, обладающими определенным электрическим сопротивлением и делающими ВАХ системы «источник питания – соединительные кабели – токоподвод – вылет электрода» падающими (при использовании источника с жесткими ВАХ). При этом надо отметить, что величина сопротивления вылета электрода изменяется при перемещении дуги по торцу и изменении точки подвода тока к ленточному электроду при подаче его в зону горения дуги.

Цель статьи – разработка технологии наплавки ленточным электродом с применением

¹ д-р. техн. наук, профессор, Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь.

² аспирант, Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь.

³ канд. техн. наук, доц., Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь.

⁴ студент, Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь.

системы стабилизации сопротивления вылета путем использования переключаемого токоподвода.

Изложение основного материала. Рассмотрим упрощенную электрическую схему сварочной цепи при дуговой наплавке ленточным электродом (рис. 1).

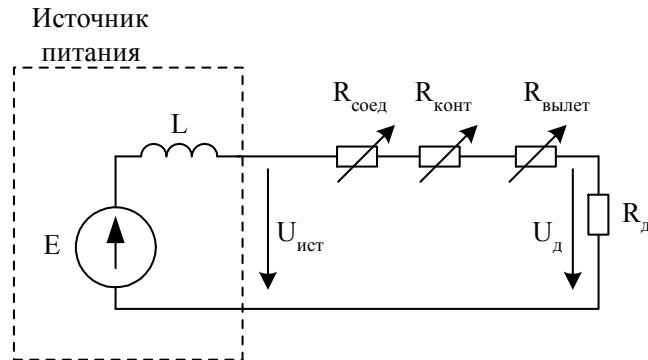


Рис.1 – Электрическая схема сварочной цепи при дуговой наплавке ленточным электродом

К выходу источника питания последовательно с дугой включены: токоподводящий кабель с сопротивлением $R_{соед}$, сопротивление подвижного контакта между электродом и токоподводом ($R_{конт}$) и вылет электрода с сопротивлением $R_{вылет}$

Как было сказано выше, из-за изменения сопротивления кабеля вследствие нагрева, нестабильного сопротивления контакта «токоподвод – лента» и перемещения дуги по плавящемуся торцу ленты выходная характеристика источника по отношению к дуге становится падающей, причем с переменным углом наклона α (рис. 2), зависящим от места токоподвода и положения дуги на торце электрода и связанным с полным сопротивлением вылета:

$$\operatorname{tg} \alpha = R_{конт} + R_{вылет} + R_{соед} \quad (1)$$

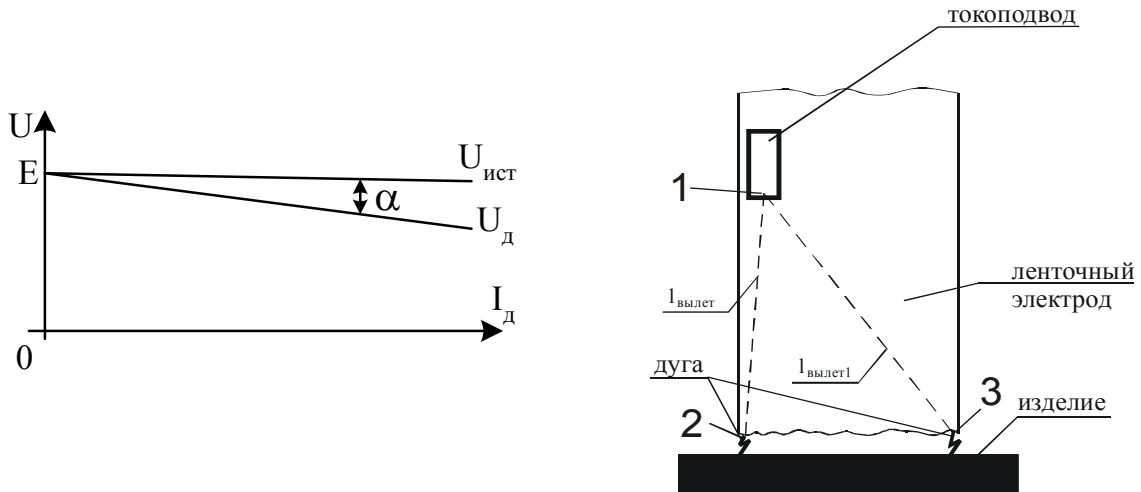


Рис. 2 – ВАХ системы источник питания – дуга

Рис. 3 – Схема подвода тока к дуге при наплавке ленточным электродом

Для исключения влияния $R_{соед}$, $R_{конт}$ и $R_{вылет}$ на режим наплавки, можно охватить их общей отрицательной обратной связью, корректирующей ЭДС источника. Но сделать это затруднительно, т.к. прямое измерение напряжения на дуговом промежутке ($U_д$) практически невозможно. К тому же скорость реакции источника ограничена дросселем L , который в переходном процессе должен рассматриваться как стабилизатор тока, поскольку согласно законам коммутации ток в индуктивности не может измениться скачком.

Отдельно следует остановиться на условиях подвода тока к ленточному электроду.

Осуществить в реальных производственных условиях равномерный (по всей ширине электрода) токоподвод практически невозможно из-за локальных деформаций ленты, наличия

на ее кромках заусенцев, возможной загрязненности поверхности ленты, наличия коррозии, неравномерного износа и эрозии контактных губок скользящего токоподвода и ряду других факторов. Поэтому подвод тока происходит, как правило, в одной локальной точке, положение которой может изменяться по случайному закону.

Рассмотрим влияние такого локального токоподвода на условия формирования ВАХ системы «источник питания – токоподводящие элементы» (рис. 3).

Условно примем, что в данный момент времени локальный подвод тока происходит у левого края электрода в точке 1. Дуга, оплавляя торец электрода, может перемещаться по нему от одного края до противоположного. Когда дуга горит с левого края торца электрода (в точке 2 на рис. 3), то условная длина вылета будет равна $l_{\text{выл.}}$. При перемещении дуги к правой кромке электрода (в точку 3) условная длина вылета увеличится и станет равной $l_{\text{выл.1}}$. С ростом условной длины вылета будет изменяться и его электрическое сопротивление. Так, при ширине ленты 100 мм и величине вылета электрода 30...40 мм перемещение дуги по торцу приведет к изменению условной длины вылета в три раза.

Таким образом, при перемещении дуги по торцу ленточного электрода и локальном подводе тока к нему величина $R_{\text{вылет}}$ будет меняться, что, в свою очередь, приведет к колебаниям угла наклона ВАХ системы «источник питания – токоподводящие элементы», отрицательно сказываясь на качественных характеристиках наплавленного слоя.

Стабилизацию режимов наплавки можно осуществить двумя путями:

- регулируя ВАХ источника питания синхронно с перемещением дуги по торцу электрода и изменением в процессе наплавки места подвода тока к ленте;
- переключая место локального токоподвода, обеспечив подвод тока к вылету ленточного электрода непосредственно над активным пятном дуги.

Первый метод критичен к динамическим характеристикам источника питания. При использовании типовых сварочных выпрямителей, работающих на частоте 50 Гц, динамика изменения ВАХ будет недостаточной для успешного управления процессом наплавки ленточным электродом.

В этой связи целесообразно использование второго метода.

Этот метод стабилизации режима наплавки заключается в применении нескольких локальных токоподводов, расположенных равномерно по ширине ленты (рис. 4) и изолированных друг от друга. При перемещении дуги по торцу ленточного электрода активным (включенным в сварочную цепь) делают только один токоподвод, ближе всего находящийся к дуге.

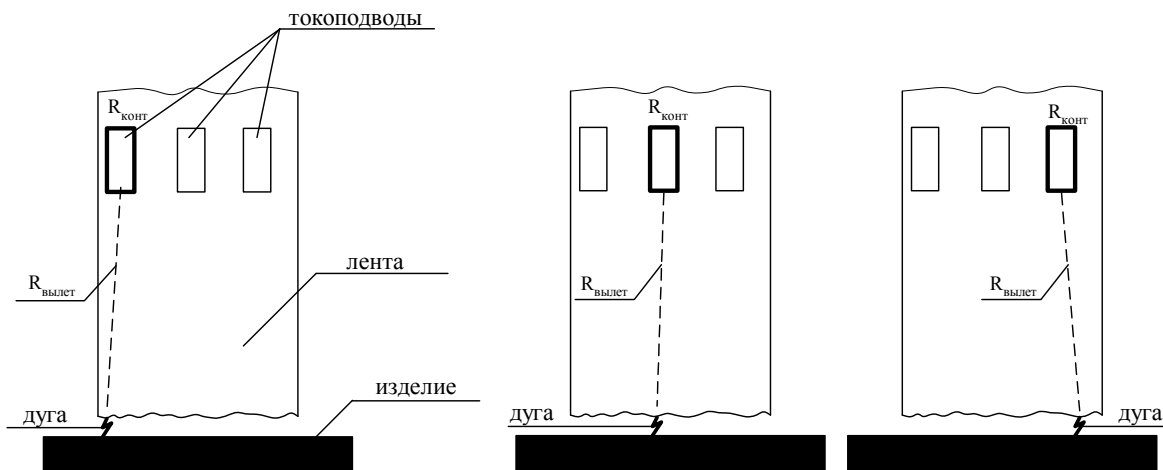


Рис. 4 – Схема управления переключением локальных токоподводов

Такая архитектура системы позволит динамически изменять выходное сопротивление системы «источник питания сварочной дуги – токоподводящие элементы – вылет электрода» за счет изменения среднего пути прохождения тока на вылете ленты. При этом становится возможным применить источник питания с фиксированной внешней характеристикой, а коррекцию процесса наплавки производить за счет переключения точки подключения сварочного тока к ленте.

Технология переключаемых токоподводов совместно с системой определения положения

дуги на торце ленты позволяет стабилизировать выходное сопротивление системы по отношению к дуге, тем самым реализовав жесткую характеристику на дуговом промежутке.

Для корректной работы такой системы необходимо в процессе наплавки непрерывно контролировать положение дуги на торце ленточного электрода.

Этот процесс можно осуществить, измеряя во время наплавки распределение потенциала и плотности тока в вылете ленточного электрода.

Для анализа характера такого распределения в зависимости от условий токоподвода и места горения дуги на торце электрода методом конечных разностей решена задача оценки распределения потенциала и плотности тока в вылете ленты. По результатам решения этой задачи написана программа, выполняющая расчет поля потенциала на вылете ленточного электрода и построение силовых линий тока. Результаты работы программы для случая подвода тока к ленте в одной точке приведены на рис. 5, из которого видно, что экстремальное значение плотности тока в вылете соответствует координате активного пятна дуги на торце. Эта информация служит для текущего вычисления положения дуги во время наплавки и соответствующего переключения места подвода тока к вылету ленточного электрода.

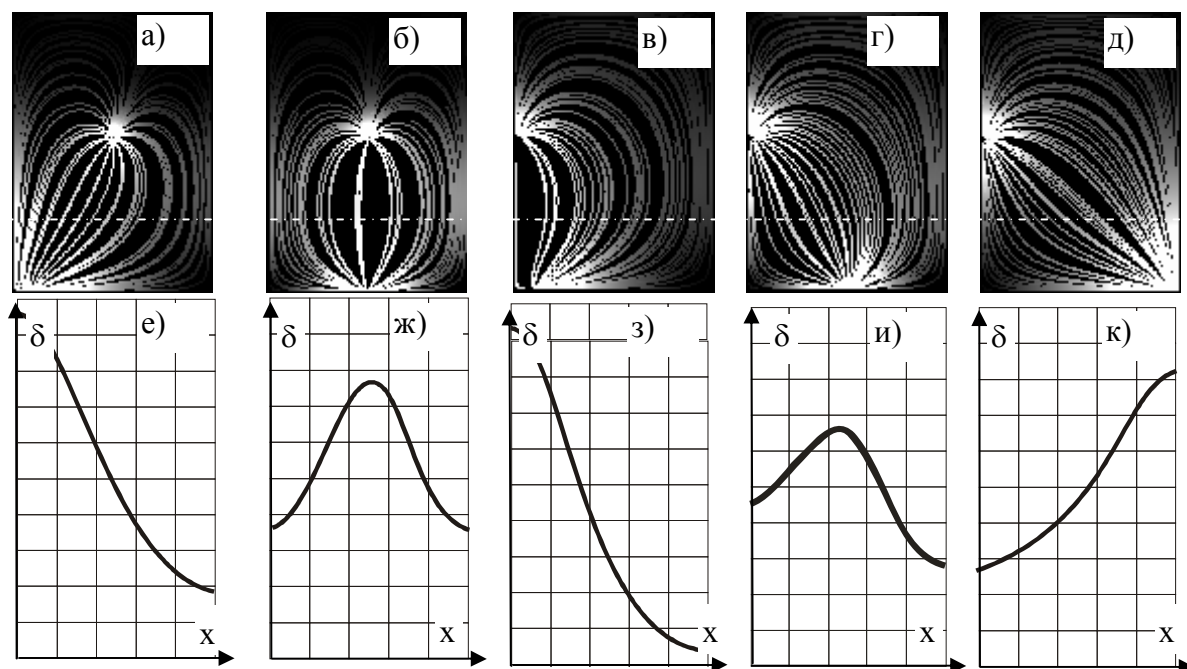


Рис.5 – Линии тока и распределение плотности тока (δ) по ширине вылета (x):
 при локальном токоподводе по центру ленты (а, б, е, ж);
 при локальном токоподводе с краю ленты (в – д, з – к).

Для коммутации токоподводов использованы силовые полевые транзисторы с изолированным затвором (MOSFET) при выборе свойств которых руководствовались параметрами процесса наплавки:

- ток сварки 1000 – 1200 А
- напряжение дугового промежутка 30 – 35 В
- напряжение холостого хода 60 – 70 В.

Схема замещения системы токоподводов, ВАР источника и системы «источник – переключаемые токоподводы» приведена на рис. 6.

Для работы в системе коммутации токоподводов выбран силовой MOSFET модуль фирмы Mitsubishi типа FM600TU-07A, который содержит три полумоста на полевых транзисторах со следующими параметрами: выходной ток до 300 А на одно плечо, напряжение $U_{си\ max} = 75$ В.

Модуль имеет изолированный корпус (напряжение изоляции 2500 В) и встроенный термистор для контроля температуры в непосредственной близости от кристалла.

Так как сварочный ток может превышать 1000 А, в качестве одного ключа применены два таких модуля, соединенные параллельно. Это позволяет перераспределить рабочий ток. Кроме того, модули имеют тепловой контакт (установлены на одном радиаторе). При этом обеспечи-

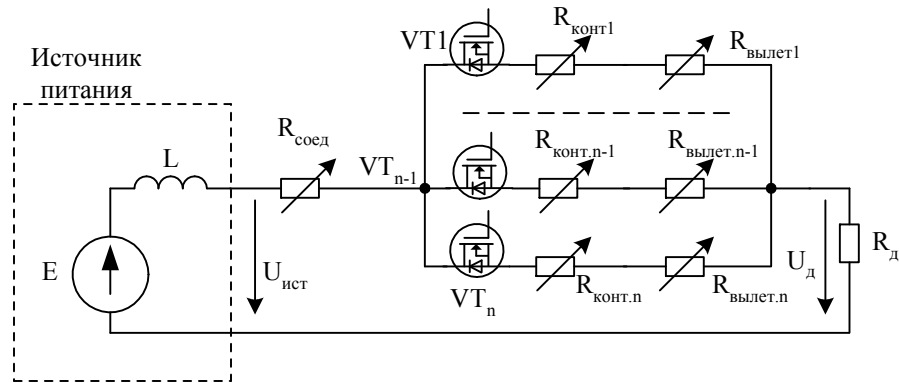


Рис. 6 – Схема коммутации токоподводов при наплавке ленточным электродом

вається рівномірне розподілення струму між окремими транзисторами.

Для дискретного управління кожним транзистором FM600TU-07A вибрано джерело напруги амплітудою 15 В з вихідним опором менше 4 Ом. Амплітуда струму затвора для швидкого переключення становить порядку 3,5 А.

Для формування подібних сигналів застосована спеціалізована мікросхема – драйвер затвора IXDD408 фірми IXYS Semiconductor, а задачу визначення місця розташування дуги і необхідного порядку комутації силових ключів вирішує однокристалльний мікроконтролер ATMEGA48-20, що працює з тактовою частотою 20 МГц.

Перевірка макета пристрою з трьома токопроводами в реальних умовах наплавки показала підвищення якісних характеристик наплавленого шару при одночасному зменшенні флуктуацій електричних параметрів процесу наплавки (напруга, струм).

Висновки

1. Розроблено математичну модель, що дозволяє аналізувати поле вектора густоти струму на вильоті ленточного електрода.
2. Досліджено розподіл густоти струму на вильоті ленточного електрода при різних умовах токопроводу і переміщенні дуги по торцю електрода.
3. Представлено технологію наплавки ленточним електродом з використанням системи стабілізації опору вильоту шляхом використання переключаемого токопроводу, що дозволяє зменшити флуктуації струму дуги, стабілізувати хід процесу наплавки і підвищити якість наплавленого шару.

Список использованных источников:

1. Кравцов Т.Г. Электродуговая наплавка электродной лентой / Т.Г. Кравцов. – М.: Машиностроение, 1978. – 168 стр.
2. Гулаков С.В. Наплавка под флюсом ленточным электродом / С.В. Гулаков, В.Н. Матвиенко, Б.И. Носовский – Мариуполь: ПГТУ, 2006. – 136 с.
3. Гулаков С.В. Применение источников питания с возрастающей внешней вольт-амперной характеристикой для широкоугольной дуговой наплавки / С.В. Гулаков, В.Н. Матвиенко, Б.И. Носовский // Сварочное производство. – 1986. – №5. – С. 14 – 15.

Рецензент: В.В. Чигарев
 д-р техн. наук, проф., ПГТУ

Статья поступила 14.04.2010