

УДК 621.791.037

Гулаков С. В., Бурлака В. В., Кулябина А. И.

ОСОБЕННОСТИ ГОРЕНИЯ ДУГИ НА ТОРЦЕ ЛЕНТОЧНОГО ЭЛЕКТРОДА

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].

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.

Целью работы является разработка технологии наплавки ленточным электродом с применением системы стабилизации сопротивления вылета путем использования переключаемого токоподвода.

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

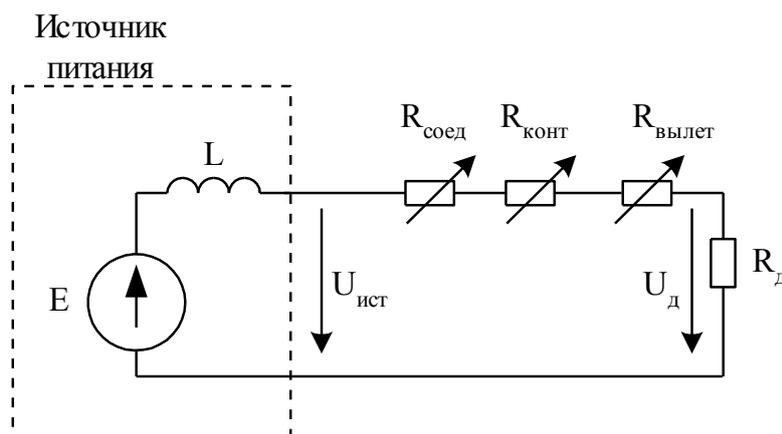


Рис. 1. Электрическая схема сварочной цепи при дуговой наплавке ленточным электродом

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

Как было сказано выше, из-за изменения сопротивления кабеля вследствие нагрева, нестабильного сопротивления контакта «токоподвод – лента» и перемещения дуги по пла-

вящемуся торцу ленты выходная характеристика источника по отношению к дуге становится падающей, причем с переменным выходным сопротивлением, зависящим от места токоподвода и положения дуги на торце электрода и связанным с полным сопротивлением вылета.

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 практически невозможно. К тому же скорость изменения тока наплавки ограничена дросселем, имеющимся на выходе источника.

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 ряда 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. 2).

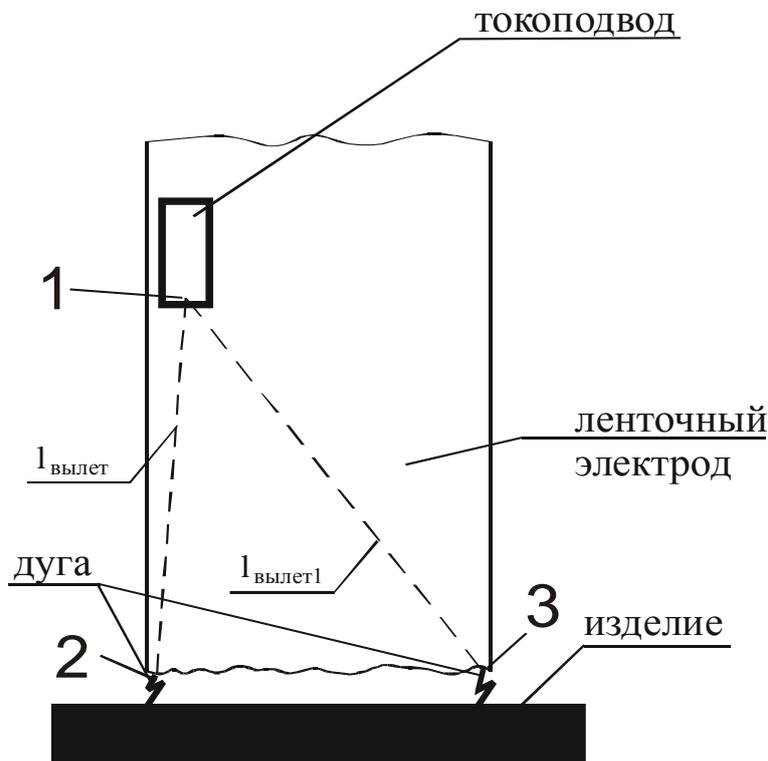


Рис. 2. Схема подвода тока к дуге при наплавке ленточным электродом

Условно примем, что в данный момент времени локальный подвод тока происходит у левого края электрода в точке 1. Дуга, оплавливая торец электрода, может перемещаться по нему от одного края до противоположного. Когда дуга горит с левого края торца электрода (в точке 2 на рис. 2), то условная длина вылета будет равна $l_{вылет}$. При перемещении дуги к правой кромке электрода (в точку 3) условная длина вылета увеличится и станет равной $l_{вылет1}$. 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;
- используя несколько токоподводов, расположенных равномерно по ширине ленты (рис. 3) и изолированных друг от друга, и обеспечивая 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. Причем из технико-экономических соображений имеет смысл использовать один (основной) мощный источник питания с жесткой ВАХ и относительно небольшим быстродействием, а распределение тока между токоподводами выполнять с помощью нескольких вольтодобавочных источников меньшей мощности с повышенным быстродействием.

Обеспечив подвод тока к ленте над активным пятном дуги, горящей с торца электрода, и увеличив мощность источника энергии, подключенного к этому токоподводу, можно в существенной степени повысить стабильность горения дуги – она не будет огибать препятствия в виде шлака, загрязнений и др., а надежно их переплавит. При этом вольтодобавочные источники для устранения взаимного влияния должны быть выполнены с крутопадающими ВАХ (быть источниками тока).

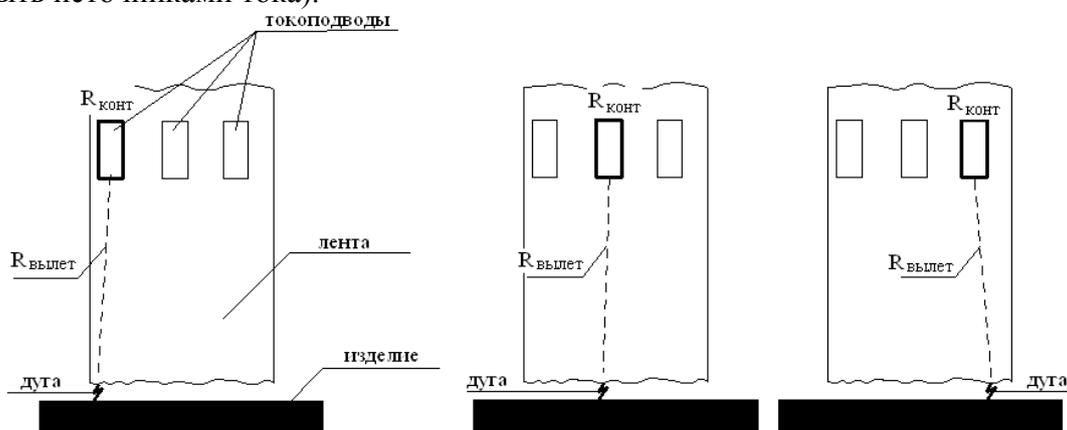


Рис. 3. Схема управления переключением локальных токоподводов

При практической реализации процесса наплавки ленточным электродом с использованием нескольких токоподводов возникает задача определения положения дуги на торце ленты, а также выявление двух- и многодугового режимов наплавки.

В связи с этим для анализа процессов, происходящих в ходе наплавки, необходимо изучить условия горения дуги на торце электрода.

Задача состоит в расчете поля потенциала на вылете ленточного электрода, определения положения дуги и оценке вероятности существования двух или более дуг.

Плотность тока в проводящей среде определяется законом Ома в дифференциальной форме:

$$\delta = -\gamma \text{grad} \varphi, \quad (1)$$

где δ – вектор плотности тока; φ – потенциал; γ – удельная проводимость.

В областях, не занятых источниками тока, выполняется соотношение

$$\operatorname{div} \delta = 0. \quad (2)$$

Подставив (1) в (2), получим уравнение для потенциала:

$$\operatorname{div} \operatorname{grad} \varphi = \nabla^2 \varphi = 0, \text{ , которое в случае двумерного поля принимает вид}$$

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = 0. \text{ Перейдя к конечным разностям, получим:}$$

$$\varphi_{x,y} = \frac{\varphi_{x+1,y} + \varphi_{x-1,y} + \varphi_{x,y+1} + \varphi_{x,y-1}}{4} \quad (3)$$

По уравнению (3) написана программа, выполняющая расчет поля потенциала на вылете ленточного электрода.

Результаты моделирования показали, что для ленты толщиной 0,2 мм, шириной 100 мм с удельным сопротивлением 0,73 Ом·мм²/м при длине вылета 30 мм, точечном подводе тока с пятном контакта 2×1,6 мм, ширине анодного пятна 2,5 мм и токе наплавки 400 А максимальный градиент потенциала по ширине ленты не превышает 8 В. Это свидетельствует о том, что в случае замыкания ленты на изделие существование дуги невозможно, т.к. для ее возбуждения мало напряжение. Тем не менее, следует помнить, что при моделировании не учитывается переходное сопротивление в месте замыкания, поскольку оно очень плохо поддается оценке. Поэтому существование двух- или многодугового режима вполне возможно, а устойчивость такого режима будет определяться свойствами источника питания. Так, возникновение двухдугового режима при падающей характеристике источника питания приведет к перераспределению тока между дугами и снижению их мощности, следствием чего будет появление дефектов наплавленного слоя. В то же время при жесткой внешней характеристике источника питания в случае появления двух дуг их суммарная мощность увеличится, что приведет к увеличению скорости плавления ленточного электрода и некоторой стабилизации мощности дуг вследствие саморегулирования.

Исходя из вышесказанного, для обеспечения хорошего качества наплавленного слоя имеет смысл выполнять источник питания для наплавки ленточным электродом с возрастающей ВАХ (т.е. с отрицательным выходным сопротивлением), что позволяет скомпенсировать падение напряжения на вылете электрода и элементах токоподвода, тем самым стабилизируя напряжение на дуге промежутке, т.е. стабилизировать длину дуги (или дуг).

В случае подачи тока через несколько токоподводов для определения положения дуги на торце ленты можно кратковременно выравнивать токи всех токоподводов (быстродействующие вольтодобавочные источники это позволяют), при этом токоподвод с минимальным напряжением относительно изделия является ближайшим к месту горения дуги. Затем осуществляют перераспределение токов между токоподводами в соответствии с полученной информацией.

ВЫВОДЫ

Разработана математическая модель, позволяющая анализировать поле вектора плотности тока на вылете ленточного электрода.

Исследовано распределение плотности тока на вылете ленточного электрода при различных условиях токоподвода и перемещении дуги по торцу электрода.

Предложена технология наплавки ленточным электродом с применением переключаемого токоподвода, которая позволяет уменьшить флуктуации тока дуги, стабилизировать ход процесса наплавки и повысить качество наплавленного слоя.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кравцов Т.Г. Электродуговая наплавка электродной лентой / Т.Г. Кравцов. – М.: Машиностроение, 1978. – 168 с.
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.