

7. Senchenkov I.K., Ryabtsev I.A., Turyk E., Chervinko O.P. Ispol'zovanie teorii tverdykh tel pri raschete napriazhenno-deformatsionnogo sostoianiia detalei, izgotovlennykh s primeneniem additivnykh naplavochnykh tekhnologii [Using the theory of solids in the calculation of the stress-strain state parts made using additive surfacing technology]. *Avtomaticheskaiia svarka – Automatic Welding*, 2016, no. 5-6, pp. 135-140. (Rus.)
8. Ryabtsev I.A., Babinets A.A., Korzhik V.N., Siyko I.A., Yunen Chakan. Oborudovanie i tekhnologii antikorrozionnoi elektroshtakovoi naplavki dvumia lentami [Equipment and technologies for anti-corrosion electroslag surfacing with two tapes]. *Avtomaticheskaiia svarka – Automatic Welding*, 2017, no. 8, pp. 55-60. (Rus.)
9. Bookbinders E.F., Ryabtsev I.A., Lankin Yu.N., Semikin V.F., Misfire P.P. Modernizatsiia sistemy upravleniia plazmenno-poroshkovoi naplavki ustanovki A 1756 [Modernization of the control system of plasma-powder surfacing of installation A 1756]. *Avtomaticheskaiia svarka – Automatic Welding*, 2014, no. 12, pp. 46-49. (Rus.)

Рецензент: С.С. Самотугин  
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 31.10.2018

УДК 621.791.927

doi: 10.31498/2225-6733.37.2018.160254

© Гулаков С.В.<sup>1</sup>, Бурлака В.В.<sup>2</sup>, Міроненко А.І.<sup>3</sup>

### ПІДВИЩЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ГОРІННЯ ДУГИ ПРИ НАПЛАВЛЕННІ СТРІЧКОВИМ ЕЛЕКТРОДОМ

*Розглянуто питання стійкості і стабільності горіння дуги при наплавленні стрічковим електродом. Показано, що електрична дуга переміщується по торцю стрічки не поступально, а хаотично. При цьому процес наплавлення супроводжується періодичними короткими замиканнями стрічкового електрода на виріб. Експериментально встановлено, що для підвищення якості наплавленого металу необхідно забезпечити режим з мінімальними флуктуаціями струму дуги. Для вирішення цього завдання необхідно реалізувати можливість швидкого руйнування перемички, що утворюється при замиканні електрода на виріб, і забезпечити надійне повторне збудження електричної дуги. З цією метою запропоновані спосіб і система підвищення стабільності горіння дуги при дуговому наплавленні стрічковим електродом, що складається з інвертора з мікроконтролерним управлінням та узгоджувального високочастотного силового трансформатора, вторинна обмотка якого через конденсатор підключена паралельно зварювальній дузі. При виявленні замикання електрода на виріб (по зниженню напруги на дуговому проміжку) відбувається включення генератора на резонансній частоті контуру, утвореного конденсатором і індуктивністю вторинного ланцюга. На основний робочий струм накладається високочастотна компонента з амплітудою в одиниці кА, що призводить до швидкого нагріву і руйнування перемички. Руйнування фіксується системою управління за фактом підвищення напруги на дуговому проміжку. Після цього генератор відключається до наступного замикання.*  
**Ключові слова:** джерело живлення, інвертор, перетворювач, наплавлення, стрічковий електрод, стабільність, зварювальна дуга.

<sup>1</sup> д-р техн. наук, професор, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, [gulakov\\_s\\_v@pstu.edu](mailto:gulakov_s_v@pstu.edu)

<sup>2</sup> канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, [VladimirV.Burlaka@gmail.com](mailto:VladimirV.Burlaka@gmail.com)

<sup>3</sup> аспірант, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, [kulyabina-ai@rambler.ru](mailto:kulyabina-ai@rambler.ru)

*Гулаков С.В., Бурлака В.В., Мироненко А.И. Повышение стабильности горения дуги при дуговой наплавке ленточным электродом. Рассмотрены вопросы устойчивости и стабильности горения дуги при наплавке ленточным электродом. Показано, что электрическая дуга перемещается по торцу ленты не поступательно, а хаотично. При этом процесс наплавки сопровождается периодическими короткими замыканиями ленточного электрода на изделие. Экспериментально установлено, что для повышения качества наплавленного металла необходимо обеспечить режим с минимальными флуктуациями тока дуги. Для решения этой задачи необходимо реализовать возможность быстрого разрушения перемычки, образующейся при замыкании электрода на изделие, и обеспечить надежное повторное возбуждение электрической дуги. С этой целью предложены способ и система повышения стабильности горения дуги при дуговой наплавке ленточным электродом, состоящая из инвертора с микроконтроллерным управлением и согласующего высокочастотного силового трансформатора, вторичная обмотка которого через конденсатор подключена параллельно сварочной дуге. При обнаружении замыкания электрода на изделие (по снижению напряжения на дуговом промежутке) происходит включение генератора на резонансной частоте контура, образованного конденсатором и индуктивностью вторичной цепи. На основной рабочий ток накладывается высокочастотная компонента с амплитудой в единицы кА, что приводит к быстрому нагреву и разрушению перемычки. Разрушение фиксируется системой управления по факту повышения напряжения на дуговом промежутке. После этого генератор отключается до следующего замыкания.*

**Ключевые слова:** источник питания, инвертор, преобразователь, наплавка, ленточный электрод, стабильность, сварочная дуга.

*S.V. Gulakov, V.V. Burlaka, A.I. Mironenko. Increasing the arc burning stability during electric arc surfacing using ribbon electrode. The issues of stability of the arc during surfacing with a ribbon electrode are considered. It is shown that the electric arc movement along the end of the electrode is not progressive, but chaotic. In this case, the surfacing process is accompanied by periodic short circuits of the ribbon electrode on the workpiece. It was established experimentally that in order to improve the quality of the deposited metal, it is necessary to provide an operating mode with minimal fluctuations of the arc current. To solve this problem, it is necessary to realize the possibility of rapid destruction of the jumper, which is formed when the electrode is shorted on the workpiece, and to ensure reliable re-excitation of the electric arc. Regarding this, it is proposed a method and a system for improving arc stability during arc surfacing with a ribbon electrode, consisting of an inverter with a microcontroller control, matching high-frequency power transformer, the secondary winding of which is connected through a capacitor in parallel to the welding arc. When a short circuit is detected between electrode and the workpiece (by catching the reduction of the voltage on the arc gap), the generator is turned on at the resonant frequency of the circuit formed by the capacitor and the inductance of the secondary circuit. A high-frequency component with an amplitude of several kA is superimposed on the main operating current, which leads to rapid heating and destruction of the jumper. The destruction is detected by the control system by «seeing» the increase of voltage on the arc gap. After that, the generator is turned off until the next short circuit is detected.*

**Keywords:** power supply, inverter, converter, surfacing, ribbon electrode, stability, welding arc.

**Постановка проблеми.** Наплавлення робочих поверхонь стрічковим електродом широко застосовується в промисловості при виробництві біметалу для виготовлення обладнання в хімічній, енергетичній галузях, зміцненні деталей і інструменту в металургії, машинобудуванні та інших галузях [1-5]. Використання для наплавлення стрічкових електродів дозволяє істотно збільшити продуктивність процесу, забезпечити необхідний хімічний склад і властивості вже в першому наплавленому шарі за рахунок малої долі участі основного металу в наплавленому,

забезпечити однорідність властивостей по ширині наплавленого валика. При цьому мала глибина проплавлення за рахунок розподіленого введення теплоти по ширині електрода з-за переміщення дуги по торцю сприяє можливості виникнення дефектів на лінії сплавлення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Одним з основних факторів, що впливають на якість сплавлення основного металу з наплавним, є характер переміщення дуги по торцю стрічкового електрода. В роботі [4] описана природа переміщення дуги по торцю стрічкового електрода за рахунок його періодичних коротких замикань на виріб і шлях їх усунення за рахунок розряду попередньо заряджених конденсаторів через короткозамкнену перемичку. Це сприяє підвищенню стабільності проплавлення основного металу. Однак, в залежності від режимів наплавлення, обраних матеріалів і ряду інших чинників, необхідним є вибір ємності розрядних конденсаторів і напруги їх зарядки.

**Мета роботи** – розробка технології наплавлення та автоматизованого обладнання для управління процесом руйнування перемички в моменти коротких замикань стрічкового електрода на виріб.

**Викладення основного матеріалу.** При дуговому наплавленні стрічковим електродом дуга періодично переміщується по його торцю, оплавляючи останній. Це призводить до розподілу введення теплоти в основний метал по ширині електрода і від закономірності цього розподілу значною мірою залежить якість і стабільність сплавлення наплавленого шару з основою.

В роботі [6] показано, що переміщення дуги по торцю електрода відбувається не шляхом послідовного його оплавлення, а дискретно за випадковим законом від області горіння дуги до точки дотику торця електрода з основним металом (в точці короткого замикання).

При живленні дуги від звичайного зварювального джерела, наприклад, ВДУ-1600, періодично відбувається розплавлення перемички в зоні короткого замикання і збудження нової дуги. Розплавлення перемички здійснюється джоулевым теплом, при цьому на швидкість і надійність розплавлення перемички велику роль відіграють динамічні характеристики джерела живлення і його вольт-амперна характеристика (ВАХ). Так, використання при дуговому наплавленні джерела живлення зі зростаючими ВАХ [7] дозволило підвищити надійність сплавлення наплавленого шару з основою. Недоліком застосування таких джерел є вузький діапазон кутів нахилу ВАХ, в якому процес горіння дуги стабільний. Незначні відхилення від оптимуму призводять до різкого порушення стабільності процесу, істотного погіршення якості наплавленого виробу.

Як було сказано вище, авторами запропоновано підхід до вирішення цього завдання і обладнання для його реалізації [6], що полягає в підключенні паралельно виходу зварювального джерела живлення через силові ключі батареї конденсаторів. Керуючи роботою ключів, можна в моменти коротких замикань стрічкового електрода на виріб розряджати через короткозамкнену ділянку попередньо заряджений конденсатор. Це дозволяє ввести додаткову енергію в область короткого замикання, забезпечивши теплове руйнування перемички і здійснити стабільне збудження дуги.

Слід зазначити, що для стабільного процесу руйнування перемички при короткому замиканні електрода на виріб для різних типів і розмірів стрічкового електрода необхідна різна енергія, що виділяється при розряді конденсатора. Ця енергія становить

$$W = C \frac{U^2}{2},$$

де  $U$  – напруга конденсатора на початку розряду;  $C$  – ємність конденсатора.

На величину цієї енергії впливають також і властивості (характеристики) основного джерела живлення.

Основним недоліком способу [6] є необхідність визначення і встановлення енергії конденсатора заздалегідь, що робить неможливою швидку реакцію на збурюючі фактори і значно ускладнює алгоритм управління, адже треба «передбачати», яка саме енергія розрядів дасть мінімальні флуктуації струму дуги. А для обчислення енергії, необхідної для руйнування перемички, необхідно мати інформацію про її розміри (об'єм), початкову температуру та знати механізм руйнування.

Розвиток сучасної силової електроніки і зниження ціни компонентів дають можливість вирішити питання підвищення стабільності горіння дуги під час наплавлення стрічковим електро-

дом за рахунок контрольованої інжекції в зону короткого замикання струму підвищеної частоти.

Для цього може бути використана схема з резонансною накачкою (рис.). Паралельно виходу зварювального джерела живлення через конденсатор  $C_R$  підключається вторинна обмотка силового високочастотного трансформатора  $T$ . До його первинної обмотки підключений інвертор напруги з мікроконтролерною системою керування.

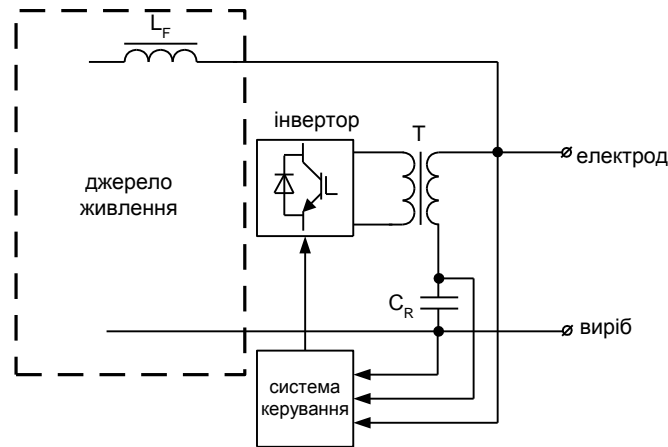


Рисунок – Схема силової частини установки для наплавлення стрічковим електродом

При виявленні замикання електроду на виріб шляхом аналізу напруги на дуговому проміжку керуючий мікроконтролер ініціює роботу інвертора. При цьому частота встановлюється рівній резонансній частоті контуру, утвореного конденсатором і індуктивністю вторинного ланцюга силового високочастотного трансформатора. В результаті має місце швидке зростання вторинного струму, який протікає через місце замикання електроду на виріб. Це призводить до руйнування перемички, факт якого відстежується мікроконтролером по появі напруги на дуговому проміжку. Робота інвертора одразу блокується. Повторне збудження дуги після усунення замикання полегшується тим, що на конденсаторі залишається напруга в декілька сотень вольт, і він розряджається на дуговий проміжок. Основне джерело живлення захищено від високочастотних компонент напруги та струму вихідним дроселем  $L_F$ , що присутній в його штатній схемі.

При ємності конденсатора 100 мкФ, індуктивності вторинного ланцюга 500 нГн, коефіцієнті трансформації 10 запропонована система дає можливість розвивати струм 5 кА на частоті 22 кГц, час встановлення струму становить приблизно 0,5 мс (інвертор напівмостовий, живлення від мережі 380 В через мостовий діодний випрямляч), що дозволяє руйнувати перемичку між електродом та виробом при короткому замиканні. При цьому амплітуда напруги на конденсаторі досягає 500 В. При збільшенні коефіцієнта трансформації до 25 зростає час встановлення струму – до 1 мс, зате суттєво знижується первинний струм трансформатора, що дозволяє оптимізувати собівартість інвертора за рахунок використання силових модулів з меншим робочим струмом.

Стабілізація струму руйнування перемички здійснюється шляхом зміни частоти перемикавання інвертора – за необхідності зменшити струм частота встановлюється вище резонансної. Регулювання «вниз» по частоті не використовується, оскільки при цьому втрачається перевага «м'якого» включення силових транзисторів і з'являються додаткові втрати енергії, пов'язані з відновленням зворотних діодів.

Вимірювання вторинного струму здійснено без встановлення датчиків струму – замість цього виконується його програмний розрахунок на основі результатів вимірювання напруги на резонансному конденсаторі і відомої частоти перемикавання інвертора.

Слід також зазначити, що при виборі силових модулів необхідно оцінювати втрати потужності у вбудованих в них затворних резисторах, адже з-за відносно високої частоти перемикавання їх перегрів може бути важко діагностованою причиною виходу інвертору з ладу.

Описаний вище підхід до вирішення задачі підвищення якості з'єднання наплавленого шару з основою при використанні стрічкового електроду дозволить суттєво розширити сферу

застосування технологічного процесу дугового наплавлення деталей машин, інструменту та інших виробів.

### Висновки

Запропонований спосіб підвищення стабільності горіння дуги під час електродугового наплавлення стрічковим електродом за рахунок активного усунування коротких замикань електродом на виріб шляхом інжекції струму підвищеної частоти.

Запропонована схема реалізації такого способу і описані відповідні алгоритми управління.

Показано, що енергетичні можливості запропонованого методу достатні для руйнування перемички між електродом та виробом при короткому замиканні.

### Список використаних джерел:

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. Размышляев А.Д. Автоматическая электродуговая наплавка ленточным электродом под флюсом / А.Д. Размышляев. – Мариуполь : ГВУЗ «ПГТУ», 2013. – 180 с.
4. Eichhorn F. Grundlagen des Lichtbogen Auftragschweißen mit Bandedelektrode unter Schutzgas / F. Eichhorn, G. Lohrmann // Schweissen und Schneiden. – 1969. – Vol. 21, № 8. – Pp. 311-315.
5. Gert H. Modernes Unterpulver-Auftragschweissen mit Bandedelektroden / H. Gert // BBC Nachrichten. – 1969. – № 9. – Pp. 537-539.
6. Гулаков С.В. Вдосконалення технології наплавлення стрічковим електродом / С.В. Гулаков, В.В. Бурлака, А.І. Міроненко // Вісник Приазовського державного технічного університету : Зб. наук. пр. / ДВНЗ «ПДТУ». – Мариуполь, 2017. – Вип. 34. – С. 94-97. – (Серія: Технічні науки).
7. Гулаков С.В. Применение источников питания с возрастающей внешней вольт-амперной характеристикой для широкослойной дуговой наплавки / С.В. Гулаков, В.Н. Матвиенко, Б.И. Носовский // Сварочное производство. – 1986. – № 5. – С. 14-15.

### References:

1. Kravtsov T.G. *Elektrodugovaia naplavka elektrodnoi lentoi* [Electric arc surfacing with electrode tape]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1978. 168 p. (Rus.)
2. Gulakov S.V., Matvienko V.N., Nosovskii B.I. *Naplavka pod fliusom lentochnym elektrodom* [Surfacing with flux tape electrode]. Mariupol, SHEE «PSTU» Publ., 2006. 136 p. (Rus.)
3. Razmyshliaev A.D. *Avtomaticheskaia elektrodugovaia naplavka lentochnym elektrodom pod fliusom* [Automatic arc welding surfacing with a ribbon electrode]. Mariupol, SHEE «PSTU» Publ., 2013. 180 p. (Rus.)
4. Eichhorn F., Lohrmann G. Grundlagen des Lichtbogen Auftragschweißen mit Bandedelektrode unter Schutzgas. *Schweissen und Schneiden*, vol. 21, no. 8, pp. 311-315. (Germ.)
5. Gert H. Modernes Unterpulver – Auftragschweissen mit Bandedelektroden. *BBC Nachrichten*, 1969, no. 9, pp. 537-539. (Germ.)
6. Gulakov S.V., Burlaka V.V., Mironenko A.I. *Vdoskonalennya tekhnolohiyi naplavlennya strichkoviyim elektrodom* [Improvement of electroplating technology by tape electrode]. *Visnik Priazovskogo derzhavnogo tehnicnogo universitetu. Seriya: Tekhnichni nauki – Reporter of the Priazovskyi State Technical University. Section: Technical Sciences*, 2017, vol. 34, pp. 94-97. (Ukr.)
7. Gulakov S.V., Matviyenko V.N., Nosovskiy B.I. *Primeneniye istochnikov pitaniya s vozrastayushchey vneshey vol't-ampernooy kharakteristikoy dlya shirokosloynoy dugovoy naplavki* [Use of power supplies with increasing external current-voltage characteristic for wide-layer arc surfacing]. *Svarochnoe proizvodstvo – Welding production*, 1986, vol. 5, pp. 14-15. (Rus.)

Рецензент: В.М. Матвієнко  
д-р техн. наук, проф., ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 15.10.2018