

УДК 621.791.927

© Гулаков С.В.<sup>1</sup>, Бурлака В.В.<sup>2</sup>, Міроненко А.І.<sup>3</sup>**ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ НАПЛАВЛЕННЯ  
СТРІЧКОВИМ ЕЛЕКТРОДОМ**

Вивчена поведінка дуги на торці стрічкового електроду. Показано, що переміщення дуги по торцю здійснюється за рахунок періодичних коротких замикань дугового проміжку. При цьому нова дуга збуджується в точці короткого замикання. Це призводить до збільшення вірогідності формування дефектів в наплавленому шарі зміцнених виробів. Запропоновано фіксувати моменти коротких замикань електроду на основний метал і в ці моменти здійснювати розряди заздалегідь зарядженого конденсатора, підключаючи його між електродом і виробом. Для реалізації цих дій розроблено спеціальне автоматизоване устаткування.

**Ключові слова:** дугове наплавлення, стрічковий електрод, короткі замикання, якість наплавленого шару, дефекти наплавлення.

*Гулаков С.В., Бурлака В.В., Міроненко А.И. Усовершенствование технологии наплавки ленточным электродом. Изучено поведение дуги на торце ленточного электрода. Показано, что перемещение дуги по торцу осуществляется за счет периодических коротких замыканий дугового промежутка. При этом новая дуга возбуждается в точке короткого замыкания. Это приводит к увеличению вероятности формирования дефектов в наплавленном слое упрочненных изделий. Предложено фиксировать моменты коротких замыканий электрода на основной металл и в эти моменты осуществлять разряды предварительно заряженного конденсатора, подключая его между электродом и изделием. Для реализации этих действий разработано специальное автоматизированное оборудование.*

**Ключевые слова:** дуговая наплавка, ленточный электрод, короткие замыкания, качество наплавленного слоя, дефекты наплавки.

*S.V. Gulakov, V.V. Burlaka, A.I. Mironenko. Improving the technology of deposition using strip electrode. The behavior of the arc at the strip electrode tip is studied. It is shown that the arc is moving along the electrode tip due to periodic short-circuits of the arc gap. Thus, a new arc is excited at the point where short circuit occurred after a conductive bridge formed by molten metal is vanished due to a high welding current. This leads to an increase in the probability of defect formation in the deposited layer of workpiece under treatment. To improve deposited layer quality, it is suggested to identify the moments of short-circuits of the electrode to the base metal and to discharge the pre-charged capacitor at these instants, connecting it between the electrode and the product. High discharge current pulse speeds up the destruction of the molten metal bridge between electrode tip and workpiece, thus lowering the time needed for arc re-ignition and improving deposition process stability. A special automated equipment has been developed to implement this process. Capacitor discharge is done using power thyristor with series-connected inductance for limiting discharging current rate of rise and for limiting discharge current peak value such that it is not impairing thyristor reliability. The pre-charging of the capacitor is done by an auxiliary power supply. Several thyristor-capacitor networks can be used in parallel to allow for multiple current pulses mode and to reduce RMS currents in capacitors.*

<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, докторант 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)

*Keywords: arc deposition, strip electrode, short circuits, deposited layer quality, deposition defects.*

**Постановка проблеми.** У промисловості широке застосування знайшло дугове наплавлення стрічковим електродом, яке відрізняється високою продуктивністю, можливістю формування широких шарів з малою долею участі основного металу в наплавленому. Однією з причин, що обмежують застосування цієї технології, є вірогідність появи дефектів у вигляді локальних несплавлень основного металу з наплавленим і формування в ньому шлакових включень. Це пов'язано з розподіленним введенням теплоти в основний метал із-за періодичного переміщення дуги по торцю стрічкового електроду [1], а також особливостями горіння дуги на його торці і перенесення електродного металу в зварювальну ванну. В зв'язку з цим збільшення стабільності проплавлення основного металу при наплавленні стрічковим електродом дозволяє розширити сферу застосування цієї технології, знизити витрати на реалізацію процесів зміцнення і відновлення деталей.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Одним з істотних чинників, що визначають якісні характеристики шару, наплавленого стрічковим електродом, є природа і характер переміщення дуги по торцю стрічкового електроду, визначальні закономірності його плавлення [1-3]. На відміну від наплавлення електродним дротом процес наплавлення стрічкою характеризується переміщеннями дуги по торцю електроду [4]. За рахунок постійного переміщення рідких крапель металу уздовж краю стрічки міняється положення і число дуг [5]. За даними роботи [6] дуга прагне горіти в місці найменшої відстані між електродом і виробом при мінімальному опорі і падінні напруги. Автори роботи [7] стверджують, що при наплавленні стрічкою на її торці може горіти одна або декілька дуг, число яких залежить від струму дуги, напруги на ній і розмірів електроду.

**Мета роботи.** Розробка технології і устаткування для дугового наплавлення стрічковим електродом, що забезпечують високу якість наплавлених виробів.

**Виклад основного матеріалу.** Як було сказано вище, в літературі відзначається, що в процесі наплавлення стрічковим електродом дуга постійно переміщається по торцю стрічки, рівномірно оплавляючи його. Між тим, експериментальні результати показують нерівномірний характер розплавлення стрічкового електроду. Це може пояснюватися тим, що дузі (точніше, активним плямам) енергетично не вигідно переміщатися по торцю, послідовно оплавляючи його в ході процесу наплавлення, оскільки зі зниженням температури металу збільшується робота виходу, тобто і приелектродні падіння напруги.

Звідси витікає, що мінімальна напруга на дуговому проміжку буде у разі горіння дуги між областями з максимальною температурою. Крім того, у разі переміщення дуги уздовж торця стрічки вона (дуга) зустрічає опір нерозплавленого флюсу, подолання якого також вимагає додаткових витрат енергії і збільшення напруги на дуговому проміжку.

Авторами показано, що дуга, яка горить на торці електроду, переміщується по ньому за рахунок періодичних коротких замикань дугового проміжку. Таким чином, процес плавлення стрічкового електроду супроводжується постійними короткими замиканнями дугового проміжку з повторними збудженнями дуги. У моменти коротких замикань струм дуги приймає максимальне значення при нульовій напрузі на ній. При цьому повинні бути створені умови для стабільного періодичного збудження дуги в місцях коротких замикань. Чим скоріше і стабільніше буде відбуватися повторне збудження дуги, тим якісніше буде йти процес формування робочого шару наплавленням стрічковим електродом.

З цією метою авторами запропоновано в процесі наплавлення стрічковим електродом фіксувати моменти коротких замикань електроду на основний метал і в ці моменти здійснювати розряди заздалегідь зарядженого конденсатора, підключаючи його між електродом і виробом. Моменти коротких замикань надійно фіксуються за допомогою вимірювання зварювального струму і напруги на дузі. В ці моменти перший параметр приймає максимальне значення, а другий становиться близьким до нуля.

Для реалізації цього способу розроблений спеціальний пристрій (рисунок), що підключається до виводів зварювального випрямляча, що живить дугу. Пристрій складається з основного зварювального джерела живлення (випрямляча) G1, позитивний вихід якого підключений до електроду, а негативний – до виробу, що наплавляється.

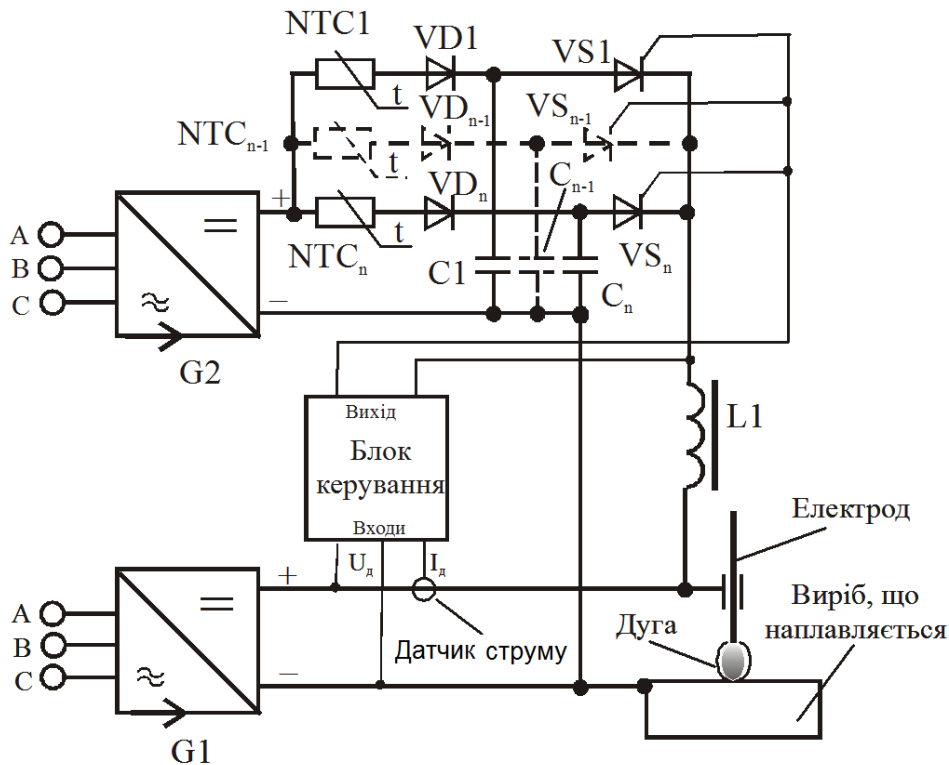


Рисунок – Електрична схема пристрою стабілізації горіння дуги на стрічковому електроді

У пристрій додатково введені: другий випрямляч G2 і блок керування. До позитивного виходу цього випрямляча підключені, щонайменше, три однакові електричні ланцюжки, що складаються з послідовно з'єднаних струмообмежувального терморезистора NTC, діода VD і тиристора VS, при цьому до точок приєднання катода діода і анода тиристора підключений один з виводів конденсаторів C. Другі виводи конденсаторів об'єднані і підключені до негативних виводів виходу обох випрямлячів. Катоди тиристорів об'єднані і через дросель L1 приєднані до позитивного виводу зварювального випрямляча (до електроду).

Працює пристрій таким чином. Під час наплавлення стрічковий електрод рівномірно рухається вниз до виробу із швидкістю подачі, а дуга, що горить на його торці, оплавляє останній, переміщуючись по ньому. В цей же час конденсатори C1–Cn заряджаються від випрямляча G2 через струмообмежувальні терморезистори NTC1–NTCn. У моменти коротких замикань торця електроду на виріб блок управління формує на виході короткий імпульс, який поступає на керуючі електроди тиристорів. Відкривається той тиристор, напруга на аноді якого в даний момент максимальна по відношенню до анодів інших тиристорів. Відповідний конденсатор через відкритий тиристор і дросель L1 розряджається через область короткого замикання електроду на виріб, руйнуючи перемичку. Збуджується нова дуга і процес триває до моменту чергового короткого замикання. Це забезпечує стабільне протікання процесу дугового наплавлення стрічковим електродом, підвищує якісні характеристики наплавлених виробів.

### Висновки

1. Показано, що дуга, яка горить на торці стрічкового електроду, переміщується по ньому за рахунок періодичних коротких замикань його на виріб, що наплавляється.
2. Запропоновано при дуговому наплавленні стрічковим електродом фіксувати моменти коротких замикань електроду на виріб і в ці моменти здійснюють розряди заздалегідь зарядженого конденсатора, підключаючи його між електродом і виробом.
3. Розроблений спеціальний автоматизований пристрій, що підключається до виводів зварювального випрямляча, який живить дугу, забезпечує розряди конденсатора в моменти коротких замикань дугового проміжку.

**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 Lichtbogenauftragschweißens mit Bandelektrode unter Schutzgas / F. Eichhorn, G. Lohrmann // *Schweissen und Schneiden*. – 1969. – Vol. 21, № 8. – Pp. 311-315.
5. Gert H. Modernes Unterpulver-Auftragschweissen mit Bandelektroden / H. Gert // *BBC-Nachrichten*. – 1969. – № 9. – Pp. 537-539.
6. Kretschmann G. Lichtbegeausbildung beim Band-Schweissen / G. Kretschmann // *Schweisstechnik*. – 1969. – Vol. 19, № 2. – Pp. 76-78.
7. Pelkofer D. UP-Auftragschweissen mit Bandelektroden / D. Pelkofer, T. Varga // *Technische Rundschau*. – 1970. – Vol. 3, № 27. – Pp. 62.

**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 Lichtbogenauftragschweißens mit Bandelektrode unter Schutzgas. *Schweissen und Schneiden*, vol. 21, no. 8, pp. 311-315. (Germ.)
5. Gert H. Modernes Unterpulver – Auftragschweissen mit Bandelektroden. *BBC – Nachrichten*, 1969, no. 9, pp. 537-539. (Germ.)
6. Kretschmann G. Lichtbegeausbildung beim Band-Schweissen. *Schweisstechnik*, vol. 19, no. 2, pp. 76-78. (Germ.)
7. Pelkofer D., Varga T. UP-Auftragschweissen mit Bandelektroden. *Technische Rundschau*, vol. 3, no. 27, p. 62. (Germ.)

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

Стаття надійшла 15.02.2017