

impossibility of dismantling large-sized parts, makes it impossible to make current repairs in the factory. In this case, it is effective and only possible to use mobile portable technological equipment for mechanical processing of reconditioned and connecting surfaces of non-dismantled large-sized parts and units of turbine units. The unit-modular principle of creating machines is based on the use of standardized units and units. This campaign makes it possible to carry out systematization, typing of layouts and unification of the structures of mobile portable technological equipment, allowing to effectively solve the set technological problem. The definition of «unique equipment» is fully applicable to technological metal-cutting equipment created on the basis of the principle of aggregation, since almost every such machine tool system has no complete analogues. The long-term practice of creating and operating machines of an aggregate-modular structure constantly indicates that the right choice and a rational layout design have a great influence on their quality. In many cases, the creation of special and universal machines, this influence is decisive. The influence of the layout on the quality of the machine is manifested in two ways. First, through the structure, the correct choice of which provides the necessary universality or specialization and compliance with a number of technological and other requirements. Secondly, through the choice of rational design performances, dimensional proportions and the location of nodes in space, which ensures high technical and economic quality indicators.

Keywords: machine tool, aggregate-modular principle, layout, turbine unit, repair of non-dismantled parts.

Рецензент: професор, д-р техн. наук Хавин Г. Л.

Статья поступила 29.01.2019 р.

УДК 621.791.011

Носовський Б. І., Буріков С. В.

ПРИМУСОВЕ ПЕРЕНЕСЕННЯ ЕЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛУ ПРИ ЗВАРЮВАНІ В СЕРЕДОВИЩІ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ

Актуальність роботи полягає в тому, що при зварюванні в середовищі вуглекислого газу один з головних недоліків підвищене розбризкування електродного металу внаслідок коротких замикань краплею дугового проміжку, тому дослідження примусового перенесення електродного металу при зварюванні в середовищі вуглекислого газу є актуальним.

Досягнення зменшення розбризкування металу при зварюванні в середовищі вуглекислого газу виконується за рахунок примусового перенесення дрібних крапель рідкого металу.

Дослідити процес взаємодії коливань на торці електрода з краплею рідкого металу неможливо, так як дуговий процес випромінює великий світловий потік, крапля не прозора і побачити що відбувається всередині неї неможливо. Тому в якості рідкої краплі електродного металу дослідження проводилися на водяній краплі при кімнатній температурі.

При дослідженні встановлено, що при впливі коливань торця електрода на краплю спотворюється її форма. Появу виступів ймовірно можна пояснити виникненням потоків рідини всередині краплі.

У процесі спостереження виявлено, що в краплі виникають кільцеві потоки, причому з ростом частоти коливань торця швидкість обертання потоків збільшується. При досягненні резонансної частоти крапля відривається від торця.

Режим доступу: <http://sap.pstu.edu>

Машинобудування і зварювальне виробництво

Відомо, що основна причина розбризкування в середовищі вуглекислого газу – замикання краплею рідкого металу дугового проміжку. Якщо діаметр краплі буде меншим за довжину дугового проміжку, це дозволить різко знизити розбризкування. Таким чином, необхідно розробити механізм, що дозволяє впливати на торець електрода з частотою не менш 200 Гц. Таким механізмом став перетворювач електричних коливань в механіці.

Для створення перетворювача, здатного забезпечувати частоту 200 Гц і більше була запропонована схема двох стержнів, що коливаються проти фази.

Перевагою цієї схеми є те, що конструкція являє собою замкнутий врівноважений механічний коливальний контур, тому всі коливання всередині цього контуру будуть «гаситися» і не передаватися зварювальнику. Також перевагою цієї схеми є те, що верхня і нижня її гілки однакові, і при розрахунку можна розраховувати одну з них, вважаючи її жорстко затисненою.

Проведені розрахунки дозволяють розрахувати і сконструювати перетворювач електричних коливань в механіці, для проведення досліджень впливу частоти коливань на характер перенесення рідкого електродного металу при зварюванні в середовищі вуглекислого газу.

Ключові слова: перетворювач, дрібна крапля, коливання, резонансна частота.

Напівавтоматичне зварювання в середовищі CO₂ – відносно новий вид зварювання, активно розвивається останні 20-25 років. З його допомогою в основному зварюють металоконструкції товщиною до 25-30 мм. В даний час зварювання в захисних газах, є одним з основних видів механізованого дугового зварювання [1].

Цей вид зварювання має головний недолік - підвищене розбризкування електродного металу. Так, за даними роботи [1], в залежності від режиму зварювання, втрати електродного металу на розбризкування складають 5-25 %. Поряд з розбризкуванням існує пов'язане з цим процесом набризкування на поверхню виробів, що зварюються, зварювальних пристосувань і деталей зварювальної апаратури, що призводить до збільшення трудомісткості операції очищення цих поверхонь від бризок розплавленого металу на 30 – 40 % [2], додаткових витрат інструментів і електроенергії. Забризкування газо-підвідного сопла пальника погіршує захист зони зварювання і призводить до утворення пір в металі шва, а також викликає додатковий нагрів деталей зварювального пальника, що призводить до передчасного виходу з ладу сопел, втулок і струмопідводних наконечників.

Дослідити процес взаємодії коливань на торці електрода з краплею рідкого металу неможливо, так як дуговий процес випромінює великий світловий потік, крапля не прозора і побачити що відбувається всередині неї неможливо. Тому в якості рідкої краплі електродного металу дослідження проводилися на водяній краплі при кімнатній температурі.

В результаті аналізу властивостей перетворювача електричних коливань в механіці обраний звуковий генератор (ГЗ-112), що дозволяє регулювати частоту в межах 20 Гц-100 кГц, що цілком достатньо для проведення досліджень, а також електромагнітний перетворювач.

В якості перетворювача був обраний електродинамічний телефонний капсуль, тому що він відрізняється простотою експлуатації і широкими межами регулювання частоти. З одного боку пластина жорстко закріплена, а на вільний кінець, що коливається, приклеювали алюмінієвий циліндр, що імітує кінець електрода на якому силами міжфазного зчеплення, та поверхового натягу утримувалася крапля води.

Встановлено що АЧХ описується кривою з двома максимумами (440 і 950 Гц). При цих значеннях частоти амплітуда коливань досягала значення 0,25 мм. Відомо [3], що поріг кавітації залежить від фізико-хімічних властивостей рідини і частоти коливань. Так, для

Режим доступу: <http://sap.pstu.edu>

Машинобудування і зварювальне виробництво

збудження кавітації у воді при 900 Гц потрібна інтенсивність звуку близько 1 Вт/см^2 , при 200 кГц 10 Вт/см^2 , при 500 кГц 200 Вт/см^2 . Порівняння даних роботи [3] і амплітудно-частотної характеристики дозволяє зробити висновок про доцільність використання перетворювача для досліджень на частотах близьких до власних (900 Гц), так як на цій частоті кавітація виникає при незначній потужності (1 Вт/см^2). Зовнішній вигляд магнітоелектричного перетворювача представлений на рис. 1 і зовнішній вигляд установки на якій проводились дослідження представлені на рис. 2.

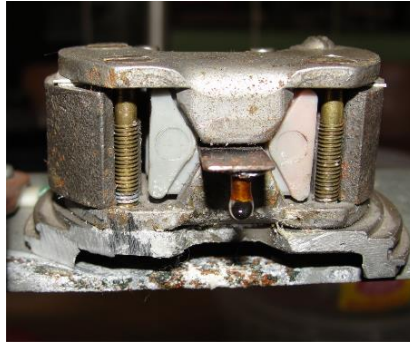


Рисунок 1 – Магнітоелектричний перетворювач з краплею води



Рисунок 2 – Експериментальна установка для досліджень

Методика проведення експерименту полягала в підрахунку кількості перенесених крапель і їх зважуванні в діапазоні близькому до резонансної частоти. Кількість крапель визначали підрахунком на аркуші паперу, попередньо підфарбовуючи рідину чорнилом для підвищення контрасту. Папір встановлювали на відстані 50 мм для виключення скупчення декількох крапель в одну. Вага рідини визначали на аналітичних вагах, відразу після експерименту, щоб виключити випаровування рідини. Експериментальна установка приведена на рис. 5.

Під час дослідження в діапазоні частот від 15 Гц до 1200 Гц виявлений вузький діапазон частот від 800 до 1050 Гц, в якому спостерігається інтенсивне розпилення, причому максимум цього процесу припадає на 950 Гц.

Машинобудування і зварювальне виробництво

При дослідженні встановлено, що при впливі коливань торця електрода на краплю спотворюється її форма. Появу виступів, ймовірно, можна пояснити виникненням потоків рідини всередині краплі (рис. 3).

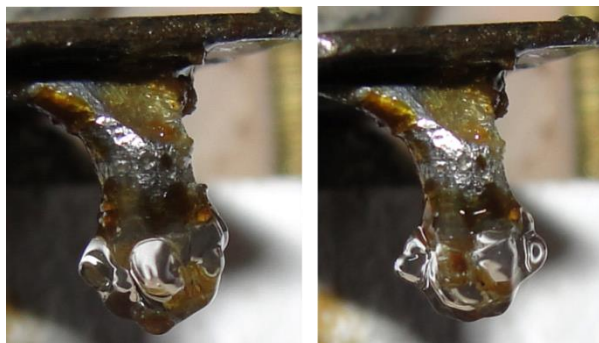


Рисунок 3 – Спотворення форми краплі рідини під дією коливань.

Для їх виявлення в краплю були введені частинки-індикатори руху, щільність яких близька до щільності води, що виключає вплив щільності на характеристики переносу рідини. Енергія імпульсу передається від поверхні електрода розташованій під ним рідині, а сусіднім обсягами не передається, так як в рідині дотичні напруження малі і ними можна знехтувати. Потік рідини, що виникає розвертається при контакті з нижньою поверхнею краплі, внаслідок чого виникають кільцеві потоки.

У процесі спостереження виявлено, що в краплі виникають кільцеві потоки, причому з ростом частоти коливань торця швидкість обертання потоків збільшується. При досягненні резонансної частоти крапля відривається від торця. Схема потоків і деформації, що виникають всередині краплі, представлені на рис. 4.

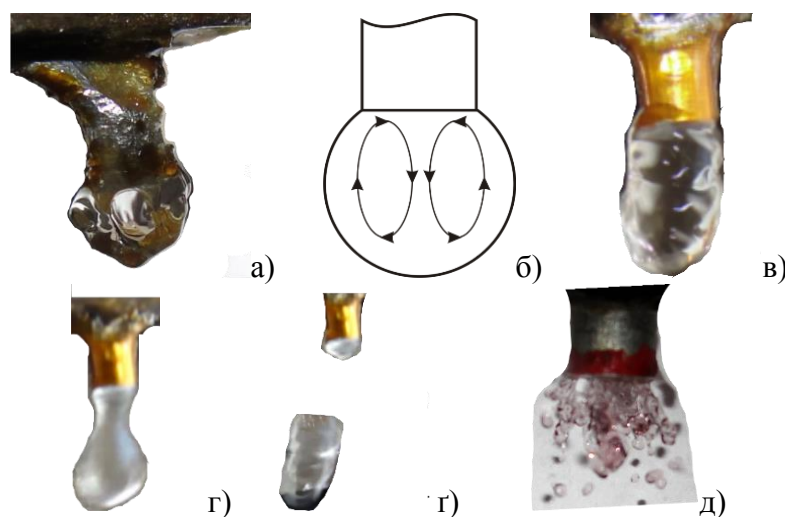


Рисунок 4 – Деформація краплі під дією коливань торця електрода:
 а) спотворення форми краплі під впливом частоти; б) кільцеві тороїдальні потоки;
 в) подовження краплі зі збільшенням частоти; г) утворення у краплі шийки;
 г) крапля, що відірвалася від торця електрода;
 д) дрібно-крапельне перенесення при резонансній частоті

Машинобудування і зварювальне виробництво

Під час досліджень встановлено, що частота переходу крапель збігається з частотою коливань торця електрода, тому приймаємо, що за одне коливання з торця електрода в зварювальну ванну переходить одна крапля рідкого металу, тобто $n = f$.

$$D_k = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot S_e \cdot V_e \cdot t \cdot \gamma_{ТВ}}{\pi \cdot f \cdot \gamma_p}}, \quad (1)$$

де S_e - площа поперечного перерізу електрода, м²;

V_e - швидкість подачі електрода, м / с;

t - розрахунковий час (1 секунда),

$\gamma_{ТВ}$ - щільність твердого заліза, кг/м³;

γ_p - щільність рідкого заліза, кг/м³;

f - частота переходу крапель, Гц.

Встановлено, що діаметр краплі зворотно-пропорційний частоті переходу крапель. З графіка видно, що при частоті 200 Гц і більше відбувається значне зменшення діаметра перехідних крапель. Відомо, що основна причина розбризкування в середовищі вуглекислого газу – замикання краплею рідкого металу дугового проміжку. Якщо діаметр краплі буде менше довжини дугового проміжку, це дозволить різко знизити розбризкування. Таким чином, необхідно розробити механізм, що дозволяє впливати на торець електрода з частотою не менш 200 Гц. Таким механізмом став перетворювач електричних коливань в механічні.

Для створення перетворювача, здатного забезпечувати частоту 200 Гц і більше була запропонована схема двох стержнів, що коливаються в протифази, наведена на рис. 5.

Перевагою цієї схеми є те, що конструкція являє собою замкнутий врівноважений механічний коливальний контур, тому всі коливання всередині цього контуру будуть «гаситися» і не передаватися зварювальнику. Також перевагою цієї схеми є те, що верхня і нижня її гілки однакові, і при розрахунку можна розраховувати одну з них, вважаючи її жорстко затисненою.

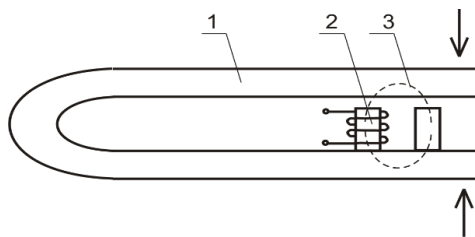


Рисунок 5 – Схема перетворювача електричних коливань в механічні:

1) механічний коливальний контур, 2) електромагніт, 3) магнітний потік

Перевагою цієї схеми є те, що конструкція являє собою замкнутий врівноважений механічний коливальний контур, тому всі коливання всередині цього контуру будуть «гаситися» і не передаватися зварювальнику. Також перевагою цієї схеми є те, що верхня і нижня її гілки однакові, і при розрахунку можна розраховувати одну з них, вважаючи її жорстко затисненою.

Якщо статично навантажену пружну систему типу балки вивести за допомогою електромагніту зі стану рівноваги, то внутрішні сили і згинальні моменти в деформованому стані вже не будуть перебувати в рівновазі з зовнішніми навантаженнями і виникнуть

коливання. У загальному випадку пружна система може здійснювати коливання за різними формами [4].

З метою визначення оптимальних геометричних параметрів перетворювача, досліджені значення власної частоти перетворювача від довжини при різних параметрах ширини і товщини коливальної частини.

Диференціальне рівняння поперечних коливань стержня має вигляд: [5]

$$\frac{\partial y^4}{\partial x^4} + \frac{1}{a^2} \frac{\partial y^2}{\partial t^2} = 0 \quad (2)$$

З точністю до постійної $\frac{1}{2}C_3$ побудована залежність для кожної з частот при заданих параметрах b, h, l [6].

$$X_i = \frac{1}{2}C_3(chk_i x - \cos k_i x) + \frac{1}{2}C_4(shk_i x - \sin k_i x) \quad (3)$$

З метою визначення оптимальних геометричних параметрів перетворювача, досліджені значення власної частоти перетворювача від довжини при різних параметрах ширини і товщини коливальної частини (рис. 6).

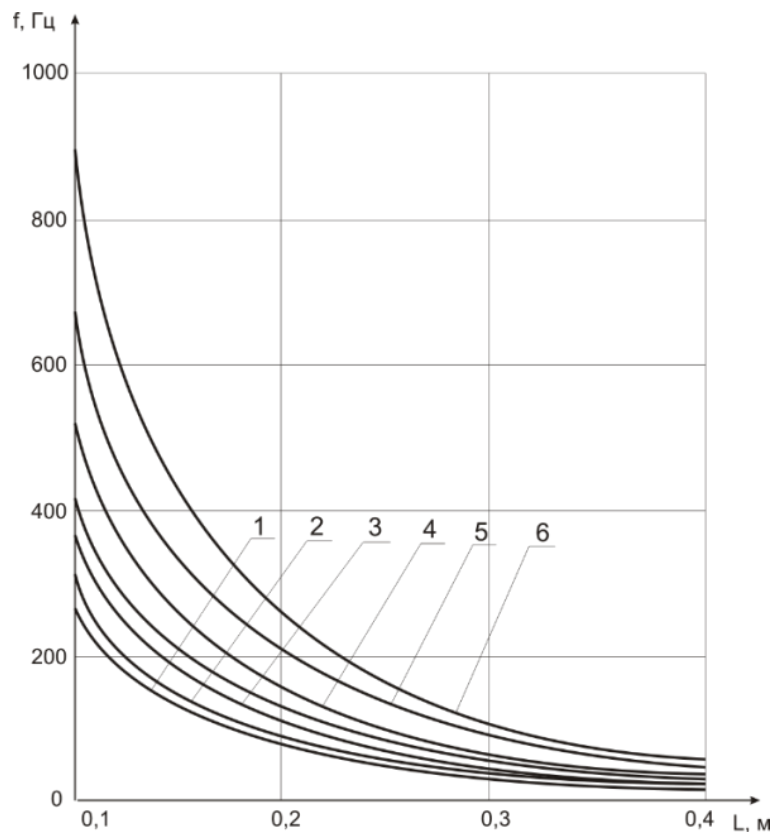


Рисунок 6 – Графік залежності частоти коливань від довжини коливальної частини перетворювача:

- 1 – $b = 0,018$ м, $h = 0,005$ м; 2 – $b = 0,015$ м, $h = 0,006$ м;
- 3 – $b = 0,013$ м, $h = 0,007$ м; 4 – $b = 0,009$ м, $h = 0,01$ м;
- 5 – $b = 0,007$ м, $h = 0,013$ м; 6 – $b = 0,006$ м, $h = 0,015$ м

Режим доступу: <http://sap.pstu.edu>

Машинобудування і зварювальне виробництво

З графіка видно, що найбільша частота перетворювача досягається зменшенням ширини b і збільшенням товщини h . Однак, практичний досвід конструювання показує, що зменшення b призводить до різкого збільшення жорсткості системи і, отже, значного зниження амплітуди. Остаточно, приймаємо параметри перетворювача $b = 0,015$ м, $h = 0,006$ м.

Щоб підвищити амплітуду і частоту коливань, необхідно налаштувати систему в резонанс. Для цього необхідно налаштувати частоту коливань генератора на резонансну частоту перетворювача. Для регулювання власної частоти коливань перетворювача необхідно змінювати довжину гілок.

Проведені розрахунки дозволяють розрахувати і сконструювати перетворювач електричних коливань в механічні для проведення досліджень впливу частоти коливань на характер перенесення рідкого електродного металу при зварюванні в середовищі вуглекислого газу.

ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що примусові коливання торця електрода призводять до виникнення в краплі рідини кільцевих тороїдальних потоків. Збільшенням частоти коливань торця електрода, частота обертання потоків збільшується, а їх енергія накопичується в кільцевих потоках, що ускладнює відрив краплі від електрода. При подальшому збільшенні частоти крапля подовжується, що приведе до замикання дугового проміжку при зварюванні.

2. Встановлено, що кількість перенесених крапель води різко збільшується в діапазоні резонансної частоти 950-1050 Гц і описується кривою з максимумом. При цій частоті діаметр краплі значно менше довжини дугового проміжку і короткі замикання не відбудуться.

3. Розроблено конструкцію перетворювача електричних коливань в механічні, що дозволяє збільшити амплітуду коливань торця електрода, знизити вимоги до потужності генератора, що задає частоту, зменшує шкідливий вплив коливань на зварника.

4. Розрахована математична модель коливань гілок перетворювача, що дозволяє визначити частоту і амплітуду коливань перетворювача при заданих параметрах. Запропоновано методику конструювання перетворювача виходячи з його геометричних параметрів для заданої частоти і амплітуди з урахуванням нагріву струмоведучої гілки.

Список використаних джерел:

1. *Потапьевский, А. Г.* Сварка в защитных газах плавящимся электродом / *А. Г. Потапьевский*. – Томск : Изд-во Томского политехн. ун-та, 2012. – 208 с.
2. *Ved'ko T. V.* Main reasons for splashing and methods of protection of welded components against molten metal splashes / *T. V. Ved'ko, E. A. Zernin* // *Welding International*. – 2005 – N 6. – P. 495–497.
3. Разработка новой технологии дуговой сварки в защитных газах на основе применения пульсаций газовых потоков и потенциалов ионизации / *О. М. Новиков, Э. П. Радько, Е. Н. Иванов, Н. С. Иванов* // *Сварщик-профессионал*. – 2006. – № 6. – С. 10–13.
4. *Sankin, G. N.* Cavitation under spherical focusing of acoustic pulses / *G. N. Sankin* // *Acoustical Physics*. – 2006. – Vol. 52, N 1. – P. 93–103.
5. *Тимошенко, С. П.* Колебания в инженерном деле / *С. П. Тимошенко*. – М. : КомКнига, 2006. – 440 с.

6. *Nosovsky, B. I.* Development of resonant converter of electrical oscillations in mechanical for compulsory transfer of electrode metal in welding in carbon dioxide environment / *B. I. Nosovsky* Herald PSTU. – 2012. – № 24. – P. 206–210.

Nosovsky B.I., Burikov S. V.

ACCEPTABLE TRANSFER OF ELECTRIC METAL WELDED IN THE ENVIRONMENT OF CARBOHYDRATE GAS

When welding, in an environment of carbon dioxide one of the main disadvantages is increased spattering of electrode metal due to short circuits droplets of the arc gap, so the research of forced transfer of electrode metal, when welding in an environment of carbon dioxide, is relevant.

To achieve a reduction of spattering of metal when welding in an environment of carbon dioxide due to the forced transfer of small droplets of liquid metal.

It is impossible to study the process of interaction of oscillations on the ends of an electrode with a drop of a liquid metal, since the arc process emits a large light flux, the drop is not transparent and it is impossible to see what is happening inside it. Therefore, as a liquid droplet of an electrode metal, studies were conducted on a water drop at room temperature.

The method of conducting the experiment was to calculate the number of transferred droplets and to weigh, them in the range close to the resonance frequency. The number of drops was determined by counting on a sheet of paper, pre-coloring the liquid in ink to increase the contrast. The paper was installed at a distance of 50 mm to exclude the accumulation of several drops into one. The weight of the fluid was determined on the analytical scales, immediately after the experiment, to exclude the evaporation of the fluid.

During the research, it was found that when the fluctuations of the end of the electrode influence the drop, its shape is distorted. Occurrence of protrusions can be explained by the appearance of fluid flows inside the drop.

For their detection in the drop were introduced particles-indicators of motion, the density of which is close to the density of water, eliminating the influence of density on the characteristics of the transfer of fluid. The pulse energy is transmitted from the surface of the electrode under the liquid underneath, but is not transmitted in neighboring volumes, since in the liquid the tangent tensions are small and can be neglected.

In the process of observation, it was discovered that in the drop, there are circular flows, and with increasing frequency of oscillations of the end, the speed of rotation of the flow increases. When the resonant frequency is reached, the drop separates from the butt end.

It is known that the main reason for spattering in a carbon dioxide environment is the closure of a drop of liquid metal in an arc gap. If the diameter of the drop is less than the length of the arc gap, this will dramatically reduce splashing. Thus, it is necessary to develop a mechanism to influence the end of the electrode with a frequency of at least 200 Hz. Such a mechanism has become a converter of electrical oscillations into mechanical ones.

To create a transducer capable of providing a frequency of 200 Hz or more, a circuit of two rods that were oscillating in phase opposite was proposed.

The advantage of this scheme is that the design is a closed, balanced mechanical vibrational circuit, so all the vibrations inside this circuit will be «extinguished» and not transmitted to the welder. Also, the advantage of this scheme is that its upper and lower branches are the same, and when calculating one can count one of them, considering it tightly clamped.

The calculations allow us to calculate and design a converter of electrical oscillations into mechanical ones to conduct research on the influence of the oscillation frequency on the nature of the transfer of liquid electrode metal when welding in carbon dioxide.

Keywords: *transducer, small droplets, fluctuation, resonant frequency.*

Носовский Б.И. Буриков С. В.

ПРИНУДИТЕЛЬНЫЙ ПЕРЕНОС ЭЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛЛА ПРИ СВАРКЕ В СРЕДЕ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

При сварке в среде углекислого газа одним из главных недостатков является повышенное разбрызгивание электродного металла вследствие которых происходит замыкание капель дугового промежутка, поэтому исследование принудительного переноса электродного металла при сварке в среде углекислого газа является актуальным.

Достижение уменьшения разбрызгивания металла при сварке в среде углекислого газа за счет принудительного мелкокапельного переноса жидкого металла.

Исследовать процесс взаимодействия колебаний на торце электрода с каплей жидкого металла невозможно, так как дуговой процесс излучает большой световой поток, капля не прозрачна и увидеть происходящее внутри нее невозможно. Поэтому в качестве жидкой капли электродного металла исследования проводились на водяной капле при комнатной температуре.

При исследовании установлено, что при воздействии колебаний торца электрода на каплю искажается ее форма. Появление выступлений вероятно можно объяснить возникновением потоков жидкости внутри капли.

В процессе наблюдения выявлено, что в капле возникают кольцевые потоки, причем с ростом частоты колебаний торца скорость вращения потоков увеличивается. При достижении резонансной частоты капля отрывается от торца.

Известно, что основной причиной разбрызгивания в среде углекислого газа является замыкание капель жидкого металла дугового промежутка. Если диаметр капли будет меньше длины дугового промежутка, это позволит резко снизить разбрызгивание. Таким образом, необходимо разработать механизм, позволяющий влиять на торец электрода с частотой не менее 200 Гц. Таким механизмом стал преобразователь электрических колебаний в механические.

Для создания преобразователя, способного обеспечивать частоту 200 Гц и более была предложена схема двух стержней, колеблющихся в противофазе.

Преимуществом этой схемы является то, что конструкция представляет собой замкнутый уравновешенный механический колебательный контур, поэтому все колебания внутри этого контура будут «гаситься» и не передаваться сварщику. Также преимуществом этой схемы является то, что верхняя и нижняя ее ветви одинаковы, и при расчете можно рассчитывать одну из них, считая ее жестко заземленной.

Проведенные расчеты позволяют рассчитать и сконструировать преобразователь электрических колебаний в механические для проведения исследований влияния частоты колебаний на характер переноса жидкого электродного металла при сварке в среде углекислого газа.

Ключевые слова: *преобразователь, мелкие капли, колебания, резонансная частота.*

Рецензент: проф., д-р техн. наук Хавин Г. Л.

Статья поступила 5.02.2019 р.

Режим доступа: <http://sap.pstu.edu>