

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА МАШИНОБУДУВАННЯ

DOI: 10.20535/kpi-sn.2019.2.167770

УДК 621.791.01.6

Г.П. Болотов¹, Р.М. Рижов^{2*}, М.Г. Болотов¹

¹Чернігівський національний технологічний університет, Чернігів, Україна

²КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

*corresponding author: r.m.ryzhov@gmail.com

ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ТЛІЮЧОГО РОЗРЯДУ В УМОВАХ ЗВАРЮВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯМ МУЛЬТИСЕКЦІЙНИХ ЕЛЕКТРОДНИХ СИСТЕМ

Проблематика. Тліючий розряд широко застосовується як джерело поверхневого нагріву для дифузійного зварювання та паяння завдяки можливості регулювання в широких межах енерговиділення в плямі нагріву. Водночас за тисків, притаманних цим процесам, виявлено певні порушення, пов'язані головним чином із частковою або повною втратою його стабільності і, як наслідок, його переходом у більш стабільну форму газового розряду – електричну дугу.

Мета дослідження. Метою роботи є підвищення стабільного існування потужнострумовевого тліючого розряду постійного струму в умовах зварювального нагрівання, тобто за тисків газу 1,33–13,3 кПа і струмів розряду до 10 А.

Методика реалізації. Із використанням методів теорії фізики газового розряду, електродинаміки та електромагнетизму визначено основні причини появи зовнішніх збурень і нестабільностей, що призводять до появи стійкого дугового розряду на локальних ділянках поверхонь деталей, які зварюються.

Результати дослідження. Встановлено, що за постійного струму розряду застосування 5-секційного анодного вузла з рухомим електричним полем розширює область стабільного існування тліючого розряду в 1,5–1,7 разу порівняно з аналогічною електродною системою зі стаціонарним електричним полем. Застосування цієї системи при нагріванні тліючим розрядом дає змогу також підвищити щільність енергії в плямі нагріву стабільним тліючим розрядом у 2,6–2,9 разу порівняно із застосуванням анода суцільного перерізу.

Висновки. Стабілізація потужнострумовевого тліючого розряду в умовах зварювального нагріву може бути досягнена застосуванням мультисекційних електродних систем, а саме заміною суцільного (контурного) анода на секційний. Однак така система не виключає можливості оплавлення деталей унаслідок стабілізації дугового розряду на окремій анодній секції (і відповідній ділянці катода).

Ключові слова: тліючий розряд; стабільне існування; прецизійне зварювання; плазма; багатосекційний анод; дифузійне зварювання.

Вступ

Відомо, що з усіх різновидів тліючого розряду найбільш стабільним і добре регульованим у широких межах є нормальний тліючий розряд, що горить за порівняно невисоких напруг на електродах (200–1000 В) і відносно невисоких щільностей струму (0,01–1,0 А/см²). Тому саме він набув найбільш широкого використання як джерело поверхневого нагріву в процесах дифузійного зварювання і паяння тонкостінних конструкцій [1]. Однак на практиці можливе виникнення найрізноманітніших умов, які можуть викликати не тільки зміни в різновиді форми тліючого розряду, а і його перехід в електричну дугу як найбільш стійку форму газового розряду, що характеризується зниженою напруженістю електричного поля. Нагрівання при цьому з розподіленого стає концентрова-

ним, що викликає локальні пропали та оплавлення поверхні деталей.

Нормальний тліючий розряд також не можна визнати достатньою мірою стійким. Це пов'язано з тим, що напруга на електродах розряду і, відповідно, напруженість електричного поля в міжелектродному проміжку в тліючому розряді на один-два порядки вищі, ніж у дуговому [2]. За сприятливих умов система буде прагнути перейти в стан, що характеризується мінімальною напруженістю електричного поля, яка відповідає саме дуговому розряду. У зв'язку з цим одним із основних завдань є пошук шляхів стабілізації необхідної форми тліючого розряду протягом досить тривалого часу і збереження її при зміні режимів у процесі зварювання та паяння.

Перехід тліючого розряду в дуговий супроводжується стрибкоподібним наростанням струму,

при цьому опір розрядного проміжку протягом короткого проміжку часу знижується на 1-2 порядки (з 50–500 до 5–20 Ом) [3]. Енергія, що виділяється в катодній плямі дуги за час її існування, може бути достатньою для пропалу поверхні виробу і порушення технологічного режиму зварювання.

У [4, 5] як стабілізацію потужнострумовею тліючого розряду в умовах зварювання було запропоновано включення в розрядне коло зовнішнього активного (баластного) опору, значення якого вибираються в межах від 1/3 до повного опору розряду. Однак така схема спричиняє значні енергетичні втрати – ККД такого джерела не перевищує 0,4–0,6.

Постановка задачі

Метою роботи є підвищення стабільного існування потужнострумовею тліючого розряду постійного струму в умовах зварювального нагрівання, тобто за тисків газу 1,33–13,3 кПа і струмів розряду до 10 А.

Методика проведення досліджень

Експериментальну перевірку схеми з багатосекційним анодом здійснювали при нагріванні сталевих заготовок циліндричної форми в середовищі аргону і гелію (рис. 1). Кожна з n секцій анода з'єднувалася з позитивним полюсом джерела живлення через окремий опір R величиною 100 Ом, що не нижче опору розряду. Тому можна вважати, що струми секцій приблизно однакові і рівні $J_n = J_0/n$. Оцінювали граничну величину тиску газу, який напускали в камеру зі швидкістю не більше 1,33 кПа/хв (0,16 мм рт.ст./с), що відповідає моменту переходу тліючого розряду в електричну дугу. У досліджах використовували односекційний (монолітний), 3- і 5-секційні аноди. Амперметром контролювали струм у нерозгалуженій частині кола. Тиск у камері вимірювали мембранним вакуумметром з ціною поділки шкали 0,5 кПа (3,8 мм рт.ст.).

Ефективність застосування багатосекційних анодів у зварюванні оцінювали за результатами нагріву сталевих циліндричних протяжного зразка діаметром 0,02 м 5-секційним анодом у середовищі аргону і гелію. Струм у зовнішньому колі підтримували на рівні $J = 4$ А, тиск газу в камері в кожному з дослідів встановлювали зниженням на 10 % відносно граничного, визначеного експериментально і

наведеного на рис. 2. ХА-термопара вводилася вглиб зразка через верхній торець, віддалений від зони дії розряду для усунення електричних наведень.

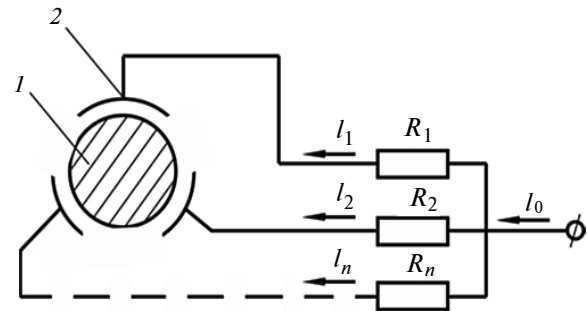


Рис. 1. Схема нагріву заготовок із використанням багатосекційного анода: 1 – катод (деталі, що зварюються); 2 – секціонований анод

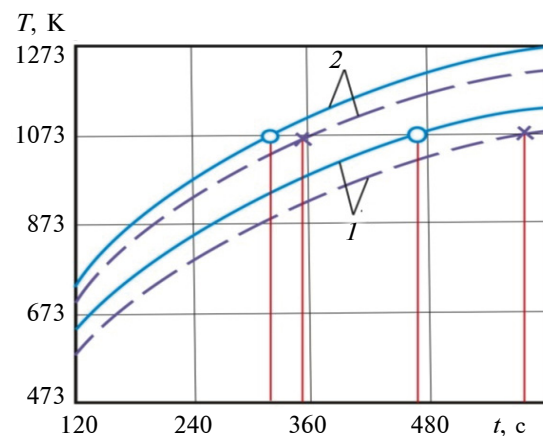


Рис. 2. Вплив секціонування анода на ефективність нагрівання в тліючому розряді: 1 – монолітний анод; 2 – мультисекційний анод; O – у середовищі аргону; X – у середовищі гелію

При включенні окремих секцій анода через розв'язуючі баластні опори досить великого рівня виникнення дуги на якій-небудь ділянці секції анода слабо впливає на режим горіння тліючого розряду на інших секціях. При цьому струм виникаючої дуги обмежений зовнішнім опором на цьому колі. Вплив дуги на деталі, що з'єднуються, істотно знижується, однак повністю не виключена ймовірність їх пошкодження при її тривалому горінні.

Обмеження тривалості існування дуги, що виникла для системи електрично розв'язаних електродів, можна досягти завдяки використанню рухомого електричного поля, що обігає з певною швидкістю (частотою) анодні секції. В цьому випадку дуга, що виникла на

одній із секцій у наступний момент часу, виявиться виключеною з електричного кола і буде змушена згаснути. Щоб уникнути повторного порушення дуги на цій же секції при її подальшому включенні, необхідно задати швидкість обертання електричного поля такою, щоб за період обертання електричного струму в міжелектродному проміжку встигли “розсмоктатися” всі флуктуації, викликані короткочасною дією дуги. У зв'язку з цим оптимальна частота перемикання анодних секцій повинна задовольняти дві суперечливі вимоги: бути досить високою, щоб обмежити тривалість горіння дуги на окремій секції і, відповідно, знизити ступінь її впливу на виріб, і в той же час бути досить низькою, щоб встигнути усунути умови для її повторного порушення.

У найбільш поширених установках потужністю 5–10 кВт перехід тліючого розряду в дуговий супроводжується підвищенням струму до 10–15 А і зниженням розрядної напруги з 300–600 до 50–100 В. Методом автографів при зміщенні дуги зовнішнім аксіальним магнітним полем встановлено, що діаметр її катодної плями в діапазоні струмів 5–15 А не перевищує 0,001 м, що дозволяє вважати її точковим джерелом теплоти на поверхні напівнескінченного тіла. Розрахунки, виконані із застосуванням відомих залежностей, відповідних такій схемі, показують, що для зазначених режимів горіння дуги оплавлення поверхні заготовок може відбуватися за час її дії 0,03–0,1 с, тобто цей процес є досить інерційним.

Зниження ймовірності повторного порушення дуги визначається насамперед швидкістю відновлення електричної міцності міжелектродного проміжку, тобто швидкістю зниження його електропровідності. Відновлення електричної міцності характеризується кількома факторами, що мають різну природу і різняться швидкістю їх перебігу. Частота обертання рухомого електричного поля буде визначатися тривалістю найбільш інерційного з них.

Після зняття напруги з електродів починається процес деіонізації, що характеризується швидкістю спаду концентрації зарядів у міжелектродному проміжку. Густина електронів у тліючому розряді при режимах, які використовуються для зварювання і паяння, становить $n_e T \approx 10^{10} - 10^{12} \text{ см}^{-3}$ [6, 7]. При переході тліючого розряду в дуговий щільність зарядів у каналі дуги зростає на два-три порядки. Дослідженнями Г.І. Лескова [8] встановлено, що повтор-

не збудження дуги ускладнюється при зниженні кількості зарядів $n_{ед}$ у міжелектродному проміжку на три-п'ять порядків порівняно з початковим $n_{ед}^0$. Переважним процесом зникнення зарядів у плазмі середніх тисків є процес дисоціативної рекомбінації, швидкість перебігу якої характеризується коефіцієнтом рекомбінації $\beta = (0,3-1) \cdot 10^{-7} \text{ см}^3/\text{с}$ для різних газів [9].

Число актів рекомбінації пропорційна щільності рекомбінуючих частинок [10]:

$$\frac{dn_e}{dt} = -\beta \cdot n_e \cdot n_i. \quad (1)$$

У електронейтральній плазмі $n_e = n_i$ за допущення, що температура у всьому обсязі дугового каналу може вважатися однаковою, що може бути прийнято з огляду на вельми незначні його поперечні розміри, щільність електронів, які рекомбінують у плазмі дугового розряду, буде зменшуватися, відповідно до (1), згідно із законом

$$n_{ед}^0 / n_{ед} = 1 + \beta \cdot n_{ед}^0 \cdot t. \quad (2)$$

З виразу (2) можна орієнтовно оцінити час деіонізації дугового проміжку, що становить для зазначених вище умов $(1-5) \cdot 10^{-4} \text{ с}$.

Одночасно з розпадом плазми в міжелектродному проміжку відбувається охолодження і вирівнювання щільності газу, а також охолодження катодної плями дуги зі зниженням її емісійних властивостей. Температура газу в позитивному стовпі тліючого розряду досягає 1500–3000 К, підвищуючись до 4000–5000 К у каналі утворення дуги. Діаметр каналу підвищеної провідності, що формується в тліючому розряді, за даними низки досліджень, не перевищує 0,01 м [11, 12].

Спробуємо знайти залежність, яка дає можливість оцінити швидкість зниження температури дугового стовпа в наступні за відключенням струму моменти часу при заданому початковому її розподілі за умови, що в залишковому стовпі немає внутрішніх джерел тепла.

Наближений розв'язок поставленої задачі можливий на основі інтегрування диференціального рівняння теплопровідності методом джерел. Цей метод передбачає незалежність від температури теплових параметрів середовища. Тому подальше вивчення проводитиметься за умови сталості теплофізичних констант газового середовища.

Уявімо поперечний переріз стовпа дуги як сукупність миттєвих джерел тепла, розподіле-

них на ділянці від 0 до r_0 , де r_0 – радіус дугового каналу.

Виділимо на відстані r' від осі дуги кільце шириною dr' . Кількість тепла, що виділяється в такому кільці одиничної довжини, становить

$$dQ = c \cdot \rho \cdot T_0 \cdot 2 \cdot \pi \cdot r' \cdot dr',$$

де T_0 – температура газу на осі дугового розряду; $c\rho$ – об'ємна теплоємність газового середовища.

Вирівнювання температури в стовпі дуги визначається виразом [13]

$$T(r, t) = \int_0^{r_0} \frac{dQ}{4 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot t} \cdot \exp\left[-\frac{(r-r')^2}{4 \cdot a \cdot t}\right],$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності; a – теплова дифузія газового середовища; t – час деіонізації дугового проміжку.

Температура на осі дуги (при $r = 0$) буде змінюватися відповідно до залежності

$$T(0, t) = \frac{2 \cdot \pi \cdot c \cdot \rho \cdot T_0}{4 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot t} \times \int_0^{r_0} r' \cdot \exp\left[-\frac{(r-r')^2}{4 \cdot a \cdot t}\right] dr'. \quad (3)$$

Якщо температура в стовпі постійна на ділянці від 0 до r_0 і дорівнює T_e , то вираз (3) набуде вигляду

$$T(0, t) = T_0 \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{r_0^2}{4 \cdot a \cdot t}\right)\right].$$

З останньої залежності можна знайти вираз для часу охолодження стовпа дуги до деякої кінцевої низької температури $T_{\text{кп}}$:

$$t = \frac{r_0^2}{4 \cdot a \cdot \ln\left[\frac{T_0}{(T_0 - T_{\text{кп}})}\right]}, \quad (4)$$

де a – температуропровідність газового середовища.

Згідно з виразом (4), тривалість охолодження газу, що має температуру $T_e = 4000$ – 6000 К у момент згасання дуги, до середньої температури газу в плазмі тліючого розряду $T_{\text{кп}} = 2000$ – 3000 К для різних газових середовищ і поперечних розмірів дугового каналу $r_0 = (0,5$ – $5) \cdot 10^{-3}$ м може становити $\tau = (7$ – $35) \cdot 10^{-4}$ с.

Основною вимогою, що ставиться до систем стабілізації процесу нагріву в тліючому розряді,

є обмеження тривалості дії дуги, яка виникає, на виріб із тим, щоб температура ділянки виробу, яка локально нагрівається нею, підвищуючись, не досягала однак температури плавлення $T_{\text{п}}$. Після розпаду катодної плями дуги ця ділянка інтенсивно охолоджується за рахунок відведення теплоти вглиб виробу завдяки теплопровідності металу.

Граничною температурою, за якої сталевий катод практично втрачає свої термоемісійні властивості, за даними Г.І. Лєскова [8], можна вважати $T_{\text{к}} \approx 1073$ – 1273 К. Скориставшись запропонованою раніше схемою представлення виникнення короткочасної дуги миттєвим точковим джерелом теплоти на поверхні напівнескінченного тіла, можна визначити час, протягом якого температура катодної плями дуги зменшиться від $T \approx T_{\text{п}}$ до зазначеної вище температури $T_{\text{к}}$:

$$\tau = \frac{W^{\frac{2}{3}}}{(c \cdot \rho)^{\frac{2}{3}} \cdot 4 \cdot \pi \cdot a} \cdot \left(\frac{1}{T_{\text{к}}^{\frac{2}{3}}} - \frac{1}{T_{\text{п}}^{\frac{2}{3}}} \right), \quad (5)$$

де W – потужність дії дугового розряду; a – температуропровідність металу.

Для катодів із вуглецевих і легованих сталей за потужності розряду 1–5 кВт час охолодження від температури плавлення до $T \approx 1273$ К, відповідно до виразу (5), становить $\tau = (8$ – $15) \cdot 10^{-4}$ с.

З наведених результатів видно, що два останні процеси, маючи приблизно однакову інерційність, чинять визначальний вплив на тривалість відновлення електричної міцності міжелектродного проміжку. Орієнтуючись на сталі часу цих процесів, можна зробити висновок, що рекомендована частота обертання електричного поля може перебувати в межах 500–2000 Гц. Апаратурна реалізація цього способу із застосуванням сучасних комутаційних схем і високочастотних тиристорів не становить технічних труднощів.

Пристрій для створення обертового електричного поля було зібрано на основі схеми кільцевого багатозафазного тригера (рис. 3). Частота перемикання анодних секцій встановлювалася задавальним генератором.

Оцінку ефективності запропонованої методики підвищення стійкості тліючого розряду здійснювали в середовищі аргону на циліндричних зразках діаметром 40 мм і довжиною 150 мм зі сталі Ст3 із використанням 5-секційного анодного вузла та з частотою переми-

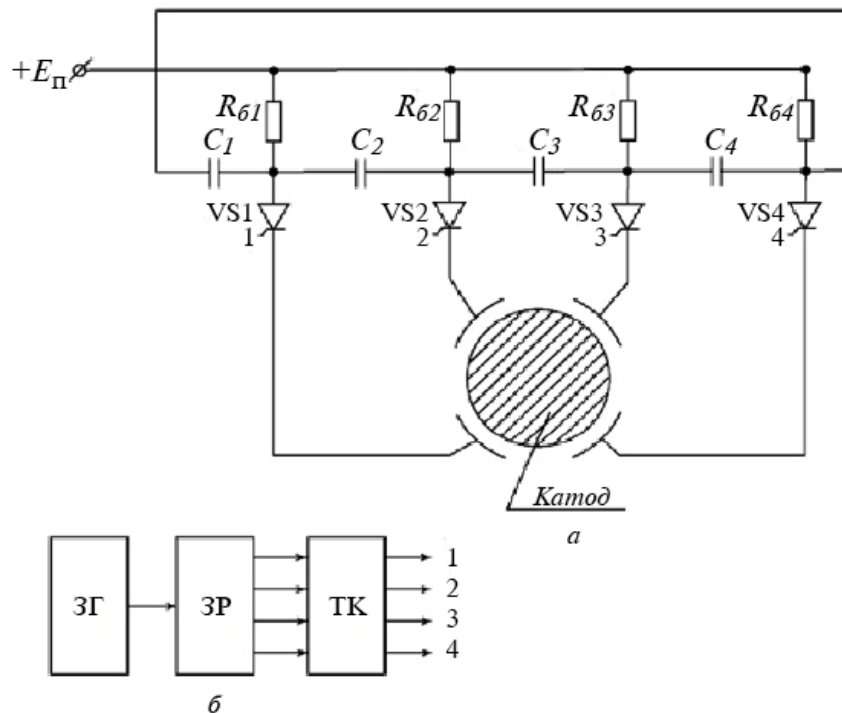


Рис. 3. Схема пристрою іонного нагріву з використанням рухомого електричного поля (а) і тиристорна схема управління (б): ЗГ – задавальний генератор; ЗР – зсувні регістри; ТК – транзисторні ключі

кання секцій 4000 Гц (частота обертання електричного поля 800 Гц). Струм розряду встановлювали на рівні 4 А і поступовим збільшенням тиску газу визначали межу переходу тліючого розряду в дуговий.

У цих умовах поява короточасних дугових пробів у міжелектродному проміжку починає спостерігатися після досягнення тисків газу 24–26 кПа, за яких на аналогічній електродній системі зі стаціонарним електричним полем уже фіксується дуга (рис. 4, б). Втрата стійкості розряду зі стабілізацією електричної дуги на одній з електродних секцій у цьому випадку відбувається за більш високого тиску – 28,2–29,3 кПа і, відповідно, більш високої щільності струму в катодній плямі розряду. За більш низького тиску газу 16–18 кПа дугові проби спостерігаються при загальному струмі розряду понад 11 А (струм на анодних секціях 2,2–2,4 А), а за тисків 10–12 кПа – при струмі 14–16 А.

Висновки

Показано, що найбільш стабільним і придатним для дифузійного зварювання серед усіх

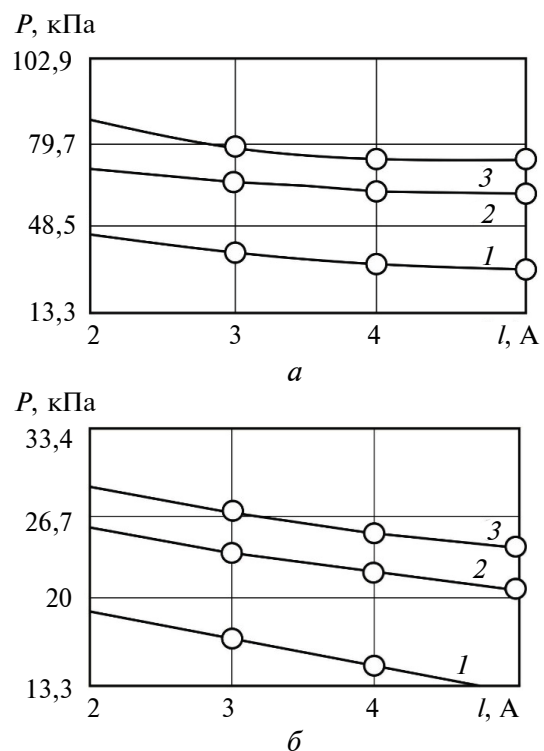


Рис. 4. Залежність граничного тиску P газу від струму розряду і кількості секцій анода: а – у середовищі гелію; б – у середовищі аргону; 1, 2, 3 – кількість анодних секцій

форм тліючих розрядів є нормальний тліючий розряд, який горить за середніх тисків газу 1,33–13,3 кПа і щільності струму 1 А/см². Однак через появу енергетичних або технологічних збурень можливі часткова або повна втрата його стійкості та перехід до більш стабільної форми газового розряду (електричної дуги).

Встановлено, що стабілізація потужнострумowego тліючого розряду в умовах зварювального нагріву може бути досягнута застосуванням мультисекційних електродних систем, а саме заміною суцільного (контурного) анода на секційний. Однак така система не виключає можливості оплавлення деталей унаслідок стабілізації дугового розряду на окремій анодній секції (і відповідній ділянці катода).

Показано, що виключення стабілізації електричних дуг за постійного струму розряду із застосуванням 5-секційного анодного вузла

можливо досягти завдяки створенню рухомого електричного поля, яке оббігає секції анода із частотою 800 Гц.

Встановлено, що застосування запропонованої електричної системи стабілізації тліючого розряду в умовах зварювання забезпечує розширення області тисків стабільного існування тліючого розряду без його переходу в електричну дугу в 1,5–1,7 разу порівняно з аналогічною електродною системою зі стаціонарним електричним полем.

Подальші роботи в напрямі дослідження області стабільного існування потужнострумowego тліючого розряду в умовах зварювального нагріву доцільно здійснювати із використанням мультисекційних електродних систем.

References

- [1] G.P. Bolotov *et al.*, “Modification of materials surface layers by low-energy ion irradiation in glow discharge”, in *Proc. IEEE 36th Int. Conf. Electronics and Nanotechnology ELNANO'2016*, 2016, pp. 135–140. doi: 10.1109/ELNANO.2016.7493031
- [2] G. Ecker *et al.*, “Thermal instability of the plasma column”, *Phys. Fluids*, vol. 7, no. 212, pp. 2001–2006, 1964.
- [3] G.P. Bolotov *et al.*, “The ways of stabilization of high-current glow discharge in welding”, in *Proc. IEEE 3rd Int. Conf. Intelligent Energy and Power Systems (IEPS)*, 2018, pp. 358–363. doi: 10.1109/IEPS.2018.8559580
- [4] G.P. Bolotov and M.G. Bolotov, “Determination of external stabilizing resistor value in the glow discharge power supply while welding”, in *Proc. IEEE 37th Int. Conf. Electronics and Nanotechnology ELNANO'2017*, 2017, pp. 365–369. doi: 10.1109/ELNANO.2017.7939780
- [5] M.G. Bolotov, “Analysis of the main instabilities of medium pressure glow discharge in the conditions of material treatment”, *Visnyk of Chernihiv State Technological University, Ser. Technical Sciences*, no. 2, pp. 103–116, 2018.
- [6] Y.P. Raizer, *Gas Discharge Physics*. Moscow, SU: Science, 1987.
- [7] V.M. Smirnov, *The Physics of Low-Ionized Gas*. Moscow, SU: Science, 1978.
- [8] G.I. Leskov, *The Electric Welding Arc*. Moscow, SU: Machinebuilding, 1970.
- [9] K.N. Ulyanov, “Normal glow discharge medium pressure theory”, *Thermophysics of High Temperature*, vol. 10, no. 5, pp. 63–67, 1972.
- [10] F.M. Gysin and E.E. Son, *Electrophysical Processes in Discharges of Solid and Liquid Electrodes*. Sverdlovsk, SU: URPI, 1989.
- [11] Y.V. Kiselev and V.L. Cherepanov, *Spark Gaps*. Moscow, SU: Sovetskoe Radio, 1976.
- [12] M.A. Biondi, “Electron-ion recombination in gas lasers”, in *Gas Lasers. Applied Atomic Collision Physics*, vol. 3, E.W. McDaniel and W.L. Nighan, eds. Academic Press, 1982. doi: 10.1016/b978-0-12-478803-9.50012-4
- [13] A.V. Eletsii, *Transport Phenomena in Low-Ionized Plasma*. Moscow, SU: Atomizdat, 1975.

Г.П. Болотов, Р.М. Рыжов, М.Г. Болотов

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА В УСЛОВИЯХ СВАРКИ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ МУЛЬТИ-СЕКЦИОННЫХ ЭЛЕКТРОДНЫХ СИСТЕМ

Проблематика. Тлеющий разряд нашел широкое распространение в качестве источника поверхностного нагрева для диффузионной сварки и пайки благодаря возможности регулировки в широких пределах энерговыделения в пятне нагрева. Наряду с этим при давлениях, присущих этим процессам, выявлены определенные нарушения, связанные главным образом с частичной или полной потерей его стабильности и, как следствие, его переходом в более стабильную форму газового разряда – электрическую дугу.

Цель исследования. Целью работы является повышение стабильного существования сильноточного тлеющего разряда постоянного тока в условиях сварочного нагрева, то есть при давлениях газа 1,33–13,3 кПа и токах разряда до 10 А.

Методика реализации. С использованием методов теории физики газового разряда, электродинамики и электромагнетизма были определены основные причины появления внешних возмущений и нестабильностей, приводящих к появлению устойчивого дугового разряда на локальных участках поверхностей свариваемых деталей.

Результаты исследования. Установлено, что при постоянном токе разряда применение 5-секционного анодного узла с бегущим электрическим полем повышает область стабильного существования тлеющего разряда в 1,5–1,7 раза по сравнению с аналогичной электродной системой со стационарным электрическим полем. Применение данной системы при нагревании тлеющим разрядом позволяет также повысить плотность энергии в пятне нагрева стабильным тлеющим разрядом в 2,6–2,9 раза по сравнению с применением анода сплошного сечения.

Выводы. Стабилизация сильноточного тлеющего разряда в условиях сварочного нагрева может быть достигнута путем применения мультисекционных электродных систем, а именно путем замены сплошного (контурного) анода на секционный. Однако такая система не исключает возможности оплавления деталей вследствие стабилизации дугового разряда на отдельной анодной секции (и соответствующем участке катода).

Ключевые слова: тлеющий разряд; стабильное существование; прецизионная сварка; плазма; мультисекционный анод; диффузионная сварка.

G.P. Bolotov, R.M. Ryzhov, M.G. Bolotov

INCREASING OF GLOW DISCHARGE STABILITY IN WELDING BY MEANS OF MULTISECTIONAL ELECTRODE SYSTEMS

Background. The glow discharge has been widespread as a source of surface heating for diffusion welding and soldering thanks to the possibility of regulation within a wide range of energy excursions in a heating spot. At the same time, due to the pressures inherent in these processes, certain violations have been identified, mainly due to the partial or complete loss of its stability and, as a result, its transition to a more stable form of gas discharge – an electric arc.

Objective. The purpose of the paper is to provide stabilization of the burning process of a high-current glow discharge in regimes that are used in precision welding processes at discharge currents of 10 A, and gas pressures of 1.33–13.3 kPa.

Methods. Using the methods of the theory of gas discharge physics, electrostatics and electromagnetism, the main causes of the appearance of external perturbations and instabilities that lead to the emergence of a stable arc discharge on the local sections of the surfaces of the welded parts were determined.

Results. It is established that at a constant current of discharge the application of a 5-section anode unit with a traveling electric field increases the region of stable existence of a glow discharge by 1.5–1.7 times in comparison with a similar electrode system with a stationary electric field. The application of this system, when heated by glow discharge, can also increase the energy density in the heating spot by a stable glow discharge by 2.6 to 2.9 times compared with the use of the anode of a continuous section.

Conclusions. The stabilization of the power current flare discharge in the conditions of welding heat can be achieved by applying multisection electrode systems, namely by replacing the solid (contour) anode with a sectional one. However, such a system does not exclude the possibility of melting of parts due to the stabilization of the arc discharge on a separate anode section (and the corresponding section of the cathode).

Keywords: glow discharge; stable existence; precision welding; plasma; multisectional anode; diffusion bonding.

Рекомендована Радою
зварювального факультету
КПІ ім. Ігоря Сікорського

Надійшла до редакції
26 лютого 2019 року

Прийнята до публікації
25 квітня 2019 року