

DOI: 10.20535/kpi-sn.2020.3.209868

УДК 621.791.12

М.Г. Болотов, Г.П. Болотов*

Національний університет “Чернігівська політехніка”, Чернігів, Україна

*corresponding author: bolotovgp@gmail.com

УСУНЕННЯ СТАБІЛІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ ДУГ У ПРОЦЕСАХ ЗВАРЮВАННЯ ТА ПАЯННЯ В ТЛЮЧОМУ РОЗРЯДІ

Проблематика. Останні дослідження показали, що низькотемпературна плазма тліючого розряду, яка горить в інертних або активних газах за тисків нижче атмосферного, є перспективним джерелом нагріву для різних процесів, пов'язаних з обробкою металів, не кажучи вже про дифузійне зварювання і паяння. Однак у виробничій практиці можуть виникати різні умови на поверхні катода (що є зразками одночасно), здатні викликати зміни форми тліючого розряду або навіть його перехід в електричну дугу. Тривала дія дугового розряду на поверхні зразків неминуче призводить до порушення технологічного процесу і, як наслідок, до небажаного перегріву зразків.

Мета дослідження. Метою роботи є вдосконалення методів і засобів стабілізації тліючого розряду в технологічних процесах дифузійного зварювання та паяння.

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

Результати дослідження. Встановлено, що збільшення довжини міжелектродного проміжку в умовах виникнення дуги до величин 0,03–0,06 м за час 10^{-2} – 10^{-1} с є ефективним засобом гасіння електричних дуг, які виникають при порушенні стабільності горіння потужнострумовевого тліючого розряду в процесах зварювання та паяння.

Висновки. Визначено основні умови втрати стійкості нормального тліючого розряду та переходу його в іншу, більш стабільну, форму газового розряду – електричну дугу. Показано, що тривала дія дугового розряду на поверхні зварюваних деталей призводить до оплавлення останніх, що потребує створення додаткових дугогасних систем. Показано можливість застосування як засобу усунення виникнення та стабілізації електричної дуги на поверхні зварюваних деталей мультиелектродних систем із рухомими анодними секціями.

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

Вступ

Зварювання різнорідних матеріалів у більшості випадків має певні труднощі, пов'язані з їх суттєво відмінними фізико-хімічними властивостями, різною структурою та металургійною несумісністю. На сьогодні для отримання якісних з'єднань різнорідних матеріалів ефективно застосовуються способи зварювання у твердому стані, одним із яких є дифузійне зварювання, при якому з'єднання здійснюється за рахунок пластичної деформації поверхонь зварюваних заготовок за температури нижче температури плавлення. Дифузійне зварювання дає змогу з'єднувати практично всі відомі конструкційні матеріали на металевій основі, ферити, кераміку, скло, напівпровідникові матеріали в однорідних та різнорідних сполученнях. Широка номенклатура матеріалів і зварних з'єднань висуває до джерел енергії для зварювання комплекс

специфічних вимог, що стосуються їх прийнятності до будь-яких матеріалів і форм виробів, точності регулювання потужності джерела і температурного режиму зварювання.

Для дифузійного зварювання застосовують різні види джерел нагріву, що різняться способами перетворення електричної енергії на теплову, інтенсивністю і локальністю нагріву [1]. Одним із таких джерел є тліючий розряд, який має певні технічні та технологічні переваги над іншими способами нагріву.

Дослідження, виконані в різний час вітчизняними та зарубіжними вченими, показали високу ефективність і перспективність використання тліючого розряду як джерела нагріву при дифузійному зварюванні, паянні, хіміко-термічній та інших видах фізико-технічної обробки матеріалів. Однак розвиток і широке промислове застосування цього джерела енергії для технологічних процесів обмежується низкою факторів,

найбільш суттєвим з яких є недостатня стабільність тривалого існування тліючого розряду в межах вибраної форми при підвищенні його потужності. Дія зовнішніх збурень і флуктуація внутрішніх фізичних процесів можуть призвести до переходу тліючого розряду в іншу, більш стійку, форму газового розряду – електричну дугу [2]. Дія концентрованого дугового розряду на деталі, що зварюються, призводить до їх локального оплавлення та руйнування і є неприпустимою.

Проблему стабілізації тліючого розряду в технологічних процесах розглядають у двох аспектах: технологічному та технічному [3, 4].

У першому випадку необхідно забезпечити умови для існування тільки одного виду тліючого розряду (нормального, аномального або розряду в порожнистому катоді) та створити умови для виключення можливості стабілізації в розряді електричних дуг. Переважно це досягається раціональним вибором конструктивних форм виробів та якісною підготовкою їх поверхонь до зварювання, під чим розуміють насамперед відсутність у виробах у зоні дії тліючого розряду щілин і зазорів певного розміру, а також відсутність на поверхні виробів оксидів і забруднень, що мають низьку роботу виходу електронів.

Однак ці заходи є ефективними лише для малопотужних тліючих розрядів. Збільшення струму розряду, підвищення концентрації енергії в зоні нагріву роблять тліючий розряд більш чутливим до будь-яких флуктуацій електричної або фізичної природи, що супроводжуються виникненням і стабілізацією у міжелектродному проміжку потужних електричних дуг [5]. Крім негативного впливу на виріб, виникнення дуг призводить до перевантаження джерела живлення розряду. Для захисту джерел живлення і виробів від струмових перевантажень застосовують дугогасні пристрої, які реагують на зміну струму або напруги в розрядному колі і впливають на них таким чином, щоб привести їх до значень, які відповідають області існування тліючого розряду [6].

Відомі на сьогодні пристрої, що забезпечують усунення виникаючої дуги і стабілізацію тліючого розряду, можна розділити на дві групи. У пристроях першої групи усунення стабілізації дугового розряду забезпечується швидким відключенням напруги джерела [7] або зміною полярності електродів [8]. Наступна подача напруги на електроди розряду здійснюється через інтервал часу, що перевищує час деіонізації розрядного проміжку (10^{-3} – 10^{-2} с). Недоліком цього

способу є необхідність, унаслідок деіонізації, прикладання до електродів підвищеної напруги для повторного запалювання тліючого розряду, що призводить до необхідності підвищення напруги холостого ходу джерела живлення.

Пристрої другої групи забезпечують стабілізацію струму в розрядному колі. Для захисту джерел живлення і виробів від перевантажень дуговими струмами у розрядне коло вмикають пристрої на базі R - L - C -фільтрів або керованих вентилів – тиристорів [9, 10], які обмежують величину струму дугового розряду. Однак стабілізація струму горіння тліючого розряду не забезпечує запобігання утворенню і стабілізації в ньому електричних дуг, якщо не забезпечені нормальні технологічні умови.

Постановка задачі

Метою роботи є вдосконалення методів і засобів стабілізації тліючого розряду в технологічних процесах дифузійного зварювання та паяння.

Виклад основного матеріалу

Імовірність переходу тліючого розряду в дуговий зростає пропорційно потужності джерела живлення. За потужності розряду більше 3–5 кВт (струмів розряду 4–6 А) і наявності відхилень від технологічних вимог виникають стабільні дуги, що призводять до руйнування деталей. Енергія, яка виділяється у катодній плямі виникаючої дуги за час її дії

$$W = \int_0^{\tau} U(\tau)I(\tau)d\tau,$$

за такої потужності зазвичай достатня для оплавлення поверхні деталей і створення умов для появи стабільної дуги. Для обмеження дії дугового розряду на виріб необхідно забезпечити згасання дуги за час, не більший 10^{-2} – 10^{-1} с.

Процес гасіння електричної дуги в колі з джерелом постійної напруги, якою живиться тліючий розряд, можна розглядати як порушення стійкості в системі, в результаті якого струм знижується до нуля. Розглянемо найпростіший варіант лінійного кола з дугою, що має джерело постійної напруги (рис. 1) [11].

На схемі R – активний (баластний) опір, ввімкнений послідовно з розрядом, U_0 – напруга холостого ходу джерела при заданому струмі тліючого розряду, яка внаслідок жорсткої

зовнішньої характеристики силового трансформатора залишається практично на тому ж рівні при переході тліючого розряду в дугувий, L – власна індуктивність всього кола, U_d – спад напруги в міжелектродному проміжку за струму дуги I_d .

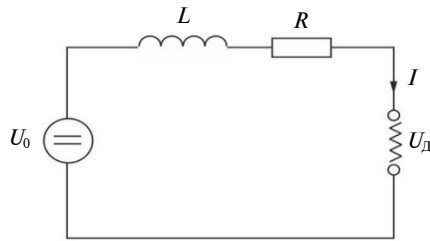


Рис. 1. Елементарна схема електричного кола розряду [11]

З рівняння електричного кола, зображеного на рис. 1

$$U_0 = RI_d + \frac{LdI}{dt} + U_d, \quad (1)$$

де LdI/dt – спад напруги на індуктивності кола при зміні струму, можна отримати вираз для похідної

$$\frac{dI}{dt} = \left(\frac{1}{L}\right)(U_f - U_d),$$

у якому $U_f = U_0 - RI$ – напруга, що поступає на електроди дуги.

Умова зменшення струму дуги в часі $dI/dt < 0$ виконується, якщо за всіх значень струму ($0 < I < \infty$) напруга дуги $U_d > U_f$. Вольт-амперна діаграма для аналізу умов гасіння дуги в колі постійного струму наведена на рис. 2, звідки видно, що гранична умова гасіння настає при $U_d = U_f$ (т. M_3), коли характеристика дуги стикається із навантажувальною прямою джерела $U(I) = U_0 - RI_d$ (лінія $U_0 - I_0$), тобто коли дуга досягає критичної довжини $l_d = l_{кр}$ при заданих характеристиках джерела і зовнішніх впливів на неї [12].

Як слідує з рис. 2, умови гасіння дуги можна забезпечити або збільшенням довжини дуги до $l_d > l_{кр}$, коли вольт-амперна характеристика дуги розміщується вище навантажувальної характеристики і не має з нею спільних точок, або за рахунок збільшення величини баластного опору R . У той же час другий спосіб супроводжується підвищенням витрат енергії в електричному колі, тому доцільно більш ретельно розглянути можливість забезпечення гасіння електричної дуги, в яку за певних умов може переходити тліючий розряд, збільшенням величини міжелектродного проміжку.

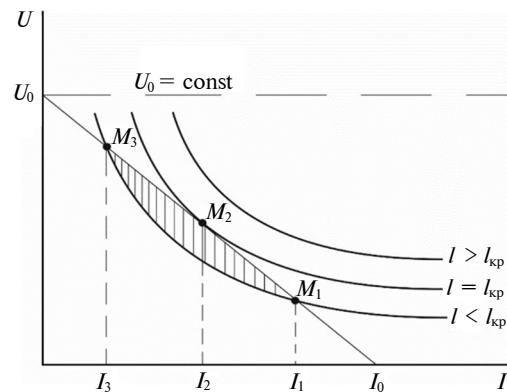


Рис. 2. Вольт-амперні характеристики дуги при збільшенні її довжини

У праці [13] наведені експериментально отримані залежності довжини дуги до її обриву від струму дуги в діапазоні 20–80 А для різних захисних середовищ за атмосферного тиску (рис. 3) в умовах напівавтоматичного зварювання на зворотній полярності. Видно, що гранична довжина дуги в цих випадках не перевищує 10–20 мм, що технічно досить просто забезпечити. В умовах нагріву тліючим розрядом гасіння виникаючої дуги необхідно забезпечувати за її струмів 2–15 А у розрідженому середовищі за тиску газу в межах 2,66–13,3 кПа.

Загальний спад напруги на дузі визначається як сума

$$U_d = U_k + U_a + U_c = U_k + U_a + E_c l_d, \quad (2)$$

де U_k , U_a , U_c – відповідно спад напруги в прикатодній і прианодній областях та у стовпі дуги; E_c – напруженість електричного поля у стовпі дуги; l_d – довжина дуги.

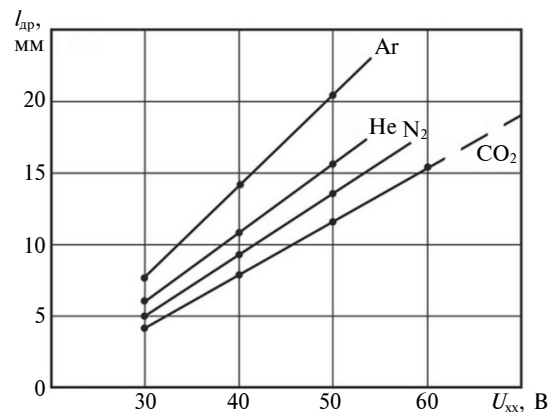


Рис. 3. Залежність довжини дуги до розриву від напруги холостого ходу джерела при напівавтоматичному зварюванні плавким електродом на зворотній полярності [14]

З рівнянь (1) і (2) можна знайти вираз для критичної довжини дуги, якщо покласти $l_d = l_{кр}$. Також слід враховувати, що перехід тліючого розряду в дуговий здійснюється за час $10^{-6} - 10^{-4}$ с [15], тому вже за один-два напівперіоди (не більше 0,01–0,02 с) струм дуги досягає стаціонарних значень. У стаціонарному режимі спад напруги на індуктивності в рівнянні (1) $LdI/dt = 0$. Звідси критична довжина дуги становить

$$I_{кр} = \frac{U_0 - RI_d - U_e}{E_c}, \quad (3)$$

де $U_e = U_k + U_a$ – сума спадів напруги в приелектродних областях дуги, значення яких для малоамперних дуг, згідно з [16], можна покласти в межах для $U_k - 15 - 20$ В, для $U_a - 8 - 10$ В.

Напруга холостого ходу джерела живлення U_0 , за якої здійснюється перехід тліючого розряду в електричну дугу, відповідає режиму стабільного горіння тліючого розряду і може бути визначена як

$$U_0 = RI_p + U_p,$$

де I_p , U_p – струм і спад напруги в тліючому розряді.

Спад напруги в тліючому розряді залежить від тиску газу і величини міжелектродного проміжку (рис. 4).

Оскільки статична вольт-амперна характеристика нормального тліючого розряду наближається до жорсткої, залежність напруги розряду від струму є відносно незначною (не перевищує 10 %).

Перехід тліючого розряду в дугу супроводжується зростанням струму в колі в 1,5–3 рази (залежно від величини опору R) і зниженням напруги на розрядному проміжку. При цьому напруга горіння виникаючої дуги досить слабо залежить від тиску газу в розглянутому діапазоні його зміни (1,33–13,3 кПа) і суттєво залежить від величини струму дуги (рис. 5).

Обробка результатів, наведених на рис. 5, дала змогу отримати вираз для напруженості електричного поля в стовпі дуги у вигляді

$$E_c = AI^{-m}, \quad (4)$$

де A і m – емпіричні коефіцієнти, величина яких, згідно з рис. 5, становить для аргону $7,6 \cdot 10^3$ і 0,35, а для азоту – $1,05 \cdot 10^4$ і 0,4 відповідно.

Підстановкою виразу (4) у вираз (3) отримуємо вираз для практичного визначення критичної довжини дуги, за якої забезпечується її

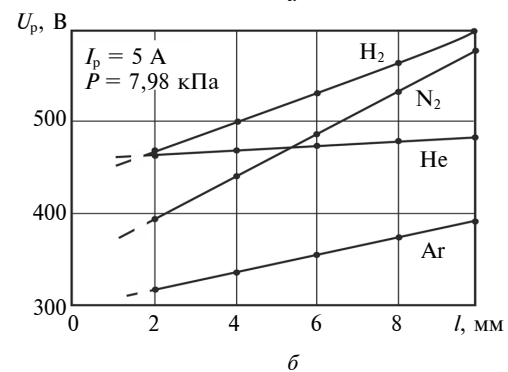
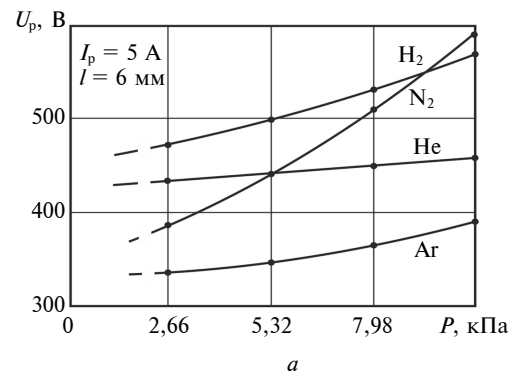


Рис. 4. Залежність спаду напруги в тліючому розряді від тиску газу (а) та міжелектродної відстані (б)

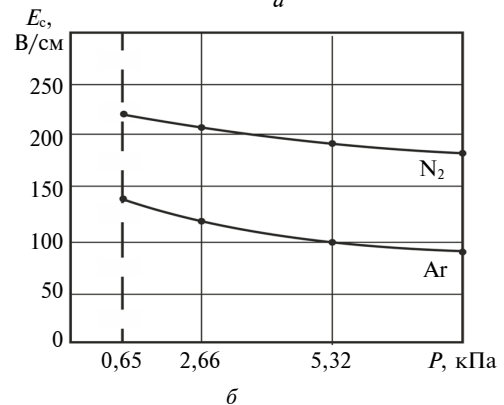
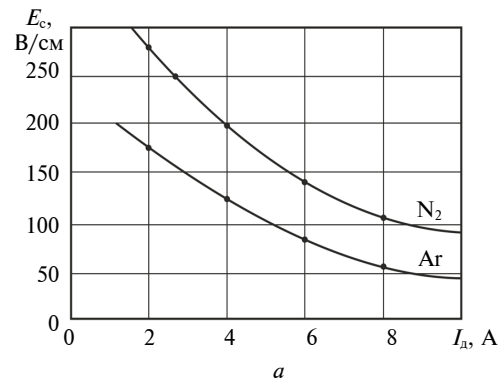


Рис. 5. Залежність напруженості електричного поля в стовпі дуги від струму (а) і тиску газу (б)

згасання в діапазоні характерних режимів горіння тліючого розряду:

$$I_{кр} = \frac{U_0 - RI_d - U_e}{A} I^m. \quad (5)$$

Розраховані за виразом (5) значення критичної довжини дуги наведені на рис. 6, звідки видно, що ці значення у 2-3 рази перевищують аналогічні значення, представлені раніше на рис. 3, що може бути пов'язано в першу чергу із суттєво вищою напругою холостого ходу джерела, необхідною для підтримання горіння тліючого розряду.

Практичну перевірку пропонованого рішення стабілізації горіння тліючого розряду проводили за допомогою пристрою, схема якого

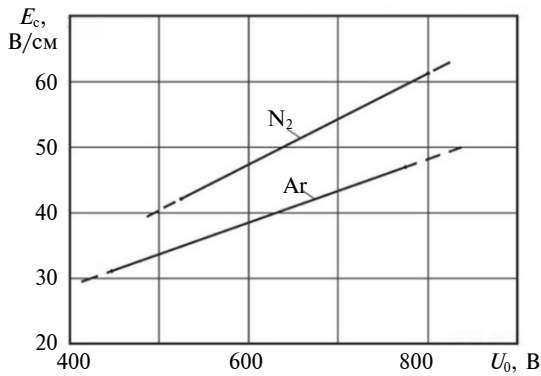


Рис. 6. Розрахункові значення критичної довжини дуги, необхідної для забезпечення її усунення, залежно від напруги холостого ходу джерела живлення тліючого розряду

зображена на рис. 7, а. Пристрій по суті являє собою мультиелектродну систему, в якій передбачено застосування секційного анодного вузла 1. Кількість секцій визначається конструктивними особливостями зварюваних деталей, насамперед їх габаритами та формою.

Кожна окрема секція складається зі стрижневого металевого анодотримача 2, виконаного з феромагнітного матеріалу, який виконує функції магнітного осердя для електромагніту 3; трансформаторного датчика імпульсів струму дугового розряду 4; випрямляча 5 і накопичувальної ємності (конденсатора) 6; регульовального гвинта 7 для попереднього завдання положення кожної анодної секції відносно катода; пружного елемента (зворотної пружини) 8. Для реєстрації імпульсів струму дуги, що зароджується в розрядному проміжку, первинна обмотка датчика струму вмикається послідовно в розрядне коло. Оскільки тліючий розряд живиться постійним струмом, то при стабільному режимі горіння розряду або при його повільному регулюванні в процесі налагодження та зварювання діючі е.р.с. на первинній і вторинній обмотках датчика і, відповідно, на обмотці електромагніту 3 будуть відсутні. Анодна секція займає незмінне положення, задане регульовальним гвинтом 7.

При переході тліючого розряду в дуговий на будь-якій ділянці поверхні катода і відповідній анодній секції, що здійснюється за час 10^{-6} – 10^{-4} с і супроводжується різким зростанням струму I у колі, в первинній обмотці датчика

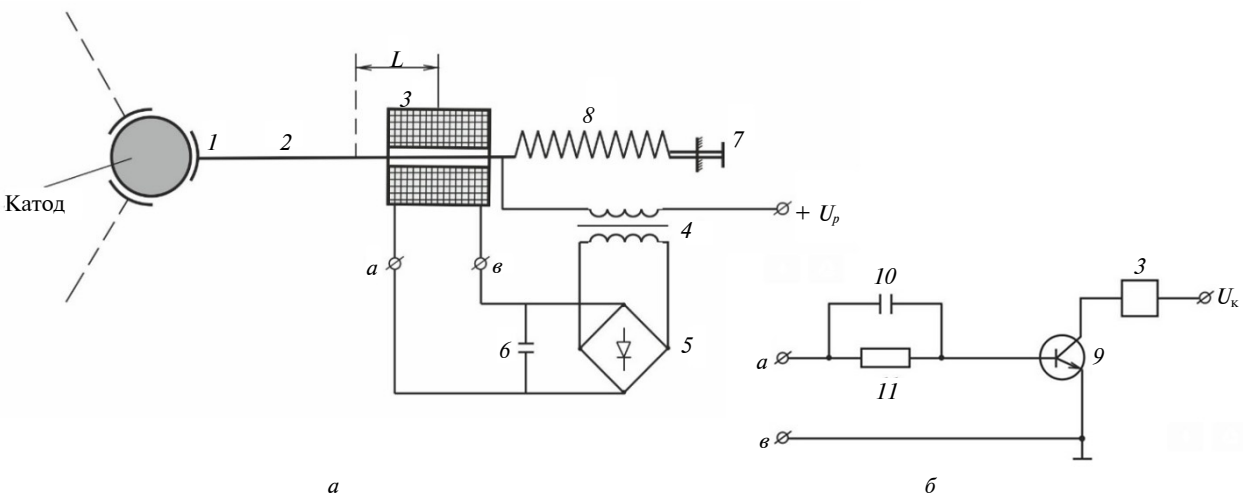


Рис. 7. Схема однієї секції анодного вузла тліючого розряду із пристроєм усунення виникаючої електричної дуги (а) та один із варіантів підвищення його чутливості (б)

струму наводиться е.р.с. $E = -L\delta I/\delta t$ (де L – індуктивність обмотки електромагніту), пропорційна швидкості зростання струму, яка трансформується у вторинну обмотку датчика і через випрямляч поступає на обмотку електромагніту 3. Одночасно конденсатор 6 заряджається до амплітудного значення е.р.с. вторинної обмотки датчика. Струм, що починає протікати по обмотці електромагніту, створює електромагнітну силу, під дією якої стрижень анодотримача втягується всередину котушки, збільшуючи довжину міжелектродного проміжку та його електричний опір і забезпечуючи тим самим зниження струму в колі відповідної анодній секції до згасання дуги. Анодотримач переміщується відносно обмотки електромагніту до тих пір, поки система котушка–осердя не досягне рівноважного стану, якому відповідає симетричне розміщення стрижня анодотримача відносно середньої площини котушки (відстань l на рис. 7, а).

Відстань, на яку повинна переміщуватись анодна секція, задавали відповідним розміщенням котушки електромагніту згідно з розрахунковими значеннями (див. рис. 6) критичної довжини дуги з урахуванням початкової величини міжелектродного проміжку, що становила в дослідах 10 мм. Експериментальна перевірка ефективності гасіння дуги пропонованим способом у різних режимах – струми тліючого розряду 2–6 А, тиски газу 1,33–7,98 кПа на сталевих катодах – показала, що описана система не завжди реагує на короткочасні збурення струму в колі тривалістю до одного напівперіоду струму, або до 0,01 с, але надійно усуває виникаючі електричні дуги більшої тривалості, що діють протягом 2–3 напівперіодів.

Для підвищення чутливості пристрою до сигналу виникаючої дуги котушка електромагніту може бути ввімкнена у вихідне коло підсилювача (рис. 7, б), виконаного, наприклад, за схемою електронного ключа на транзисторі 9, вхідне коло якого з'єднується із виходом датчика імпульсів струму дуги [17]. Конденсатор 10, що шунтує обмежуючий опір 11 на вході ключа, підвищує швидкодню спрацьовування транзисторного ключа. В цих умовах надійно усуваються електричні дуги протягом одного напівперіоду, тобто тривалістю до 0,01 с [18].

Після згасання дуги і зниження струму в обмотці електромагніту відповідна анодна секція в міру розряду конденсатора повільно повертається у вихідний стан під дією пружного елемента 8 протягом 0,05–0,2 с (залежно від величини ємності конденсатора).

Таким чином, здійснюється корегування енергетичних параметрів нагріву на окремій анодній секції і, відповідно, ділянці поверхні деталей, де виникає збурення у вигляді електричної дуги за незмінних умов горіння тліючого розряду і нагріву деталей на іншій поверхні. Оскільки в цьому випадку деіонізація міжелектродного проміжку в цілому не відбувається, повторне запалювання розряду на окремій анодній секції після усунення електричної дуги не вимагає підвищення напруги на електродах розряду.

Висновки

Визначено основні умови втрати стійкості нормального тліючого розряду та переходу його в іншу, більш стабільну форму газового розряду – електричну дугу.

Показано, що тривала дія дугового розряду на поверхні деталей, які зварюються, призводить до оплавлення останніх, що потребує створення додаткових дугогасних систем.

Показано можливість застосування як засобу усунення вірогідності виникнення та стабілізації електричної дуги на поверхні деталей, що зварюються, мультиелектродних систем із рухомими анодними секціями.

Встановлено, що збільшення довжини міжелектродного проміжку в умовах виникнення дуги до величин 0,03–0,06 м за час 10^{-2} – 10^{-1} с є ефективним засобом гасіння електричних дуг, які виникають при порушенні стабільності горіння потужнострумовевого тліючого розряду в процесах зварювання та паяння.

Подальші роботи з дослідження області стабільного існування потужнострумовевого тліючого розряду в умовах зварювального нагріву доцільно здійснювати із використанням мультисекційних електродних систем із рухомими анодними секціями.

References

- [1] H. Feng *et al.*, “Metallization and diffusion bonding of CoSb₃-based thermoelectric materials”, *Materials*, vol. 13, p. 1130, 2020. doi: 10.3390/ma13051130
- [2] E. Cejas, *et al.*, “Modelling of an atmospheric–pressure air glow discharge operating in high–gas temperature regimes: The role of the associative ionization reactions involving excited atoms”, *Plasma*, vol. 3, pp. 12–26. 2020. doi: 10.3390/plasma3010003
- [3] D.I. Kotelnikov, *Pressure Welding in Glow Discharge*. Moscow, SU: Metallurgia, 1981, 116 p.
- [4] A.V. Yelets’kiy and A.T. Rakhimov, “Instabilities in the gas discharge plasma”, *Himija Plazmy*, no. 4, p. 123, 1974.
- [5] G.P. Bolotov *et al.*, “Stabilization of a high-current glow discharge under the welding condition”, in *Proc. IEEE 38th Int. Conf. Electronics and Nanotechnology*, 2018, pp. 521–525. doi: 10.1109/ELNANO.2018.8477494
- [6] 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*, 2018, pp. 358–363. doi: 10.1109/IEPS.2018.8559580
- [7] A.L. Sivakov *et al.*, “Power supply”, USSR Copyright certificate 1156875, 1985.
- [8] Switzerland Patent 389797, 21h 16/60, 1965.
- [9] 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*, 2017, pp. 365–369. doi: 10.1109/ELNANO.2017.7939780
- [10] A.V. Vinogradov *et al.*, “Current limiting device in discharge installations”, USSR Copyright certificate 570221, 1977.
- [11] M.G. Bolotov, “Analysis of the main instabilities of a medium pressure glow discharge in the conditions of material processing”, *CNTU Bulletin, Ser. Technical Sciences and Technologies*, no. 2, pp. 103–116, 2018.
- [12] G.N. Alexandrov *et al.*, *The Theory of Electrical Apparatus*. Moscow, SU: Vysshaja Shkola, 1985, 312 p.
- [13] A.G. Potap’evskiy, *Fusion Welding in Shielding Gases*. Moscow, SU: Mashinostroenie, 1974, 221 p.
- [14] G.I. Leskov, *Electric Welding Arc*. Moscow, SU: Mechanical Engineering, 1970, 335 p.
- [15] A.V. Nedospasov and V.D. Hayt, *Fluctuations and Instabilities of Low-Temperature Plasma*. Moscow, SU: Nauka, 1979, 189 p.
- [16] F.M. Gaysin *et al.*, *Investigation of the Transition of a Glow Discharge into an Electric Arc at High Temperatures*. Kazan, SU: KAI, 1975, 12 p.
- [17] M.G. Bolotov and G.P. Bolotov, “Calculation of the glow discharge’s stability boundary while welding”, in *Proc. IEEE 40th Int. Conf. Electronics and Nanotechnology*, 2020, pp. 775–779. doi: 10.1109/ELNANO50318.2020.9088784
- [18] W. Chen *et al.*, “Characteristics of gliding arc plasma and its application in swirl flame static instability”, *Control. Processes*, vol. 8, no. 6, p. 684, 2020. doi: 10.3390/pr8060684

М.Г. Болотов, Г.П. Болотов

УСТРАНЕНИЕ СТАБИЛИЗАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДУГ В ПРОЦЕССАХ СВАРКИ И ПАЙКИ В ТЛЕЮЩЕМ РАЗРЯДЕ

Проблематика. Недавние исследования показали, что низкотемпературная плазма тлеющего разряда, который горит в инертных или активных газах при давлениях ниже атмосферного, является перспективным источником нагрева для различных процессов, связанных с обработкой металлов, не говоря уже о диффузионной сварке и пайке. Однако в производственной практике могут возникать различные условия на поверхности катода (являющиеся образцами одновременно), которые могут вызывать изменения формы тлеющего разряда или даже его переход в электрическую дугу. Длительное воздействие дуги на поверхности образцов неизбежно приводит к нарушению технологического процесса и, как следствие, к нежелательному перегреву образцов.

Цель исследования. Целью работы является совершенствование методов и средств стабилизации тлеющего разряда в технологических процессах диффузионной сварки и пайки.

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

Результаты исследования. Установлено, что увеличение длины межэлектродного промежутка в условиях возникновения дуги до величин 0,03–0,06 м за время 10^{-2} – 10^{-1} с является эффективным средством тушения электрических дуг, возникающих при нарушении стабильности горения сильноточного тлеющего разряда в процессах сварки и пайки.

Выводы. Определены основные условия потери устойчивости нормального тлеющего разряда и перехода его в другую, более стабильную, форму газового разряда – электрическую дугу. Показано, что длительное воздействие дугового разряда на поверхности свариваемых деталей приводит к оплавлению последних, требует создания дополнительных дугогасящих систем. Показана возможность применения в качестве средства устранения возникновения и стабилизации электрической дуги на поверхности свариваемых деталей мультиэлектродных систем с подвижными анодными секциями.

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

M.G. Bolotov, G.P. Bolotov

ELIMINATION OF ELECTRIC ARC STABILIZATION IN WELDING AND SOLDERING PROCESSES IN GLOW DISCHARGE

Background. Recent studies showed that low temperature plasma of a glow discharge that burns in the inert or active gases at the pressures below atmospheric is the perspective heating source for different processes related with the metal treatment let alone the diffusion bonding and brazing. However, in manufacturing practice, various conditions on the cathode surface (welded or treated samples) that may cause the changes of a glow discharge form or even its transition into an electric arc may appear. The prolonged arc action on the samples' surfaces inevitably leads to the disruption of the technological process and, consequently, to undesirable samples overheating.

Objective. The purpose of this work is to improve the methods and to means of stabilizing the glow discharge in the technological processes of diffusion welding and soldering.

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 increasing of the electrode gap length in the conditions of the arc emergence to the values of 0.03–0.06 m for the time of 10^{-2} – 10^{-1} s is an effective means of quenching the electric arcs emerging in the stability infringement of combustion of the power-current glow discharge in the processes of welding and soldering.

Conclusions. The basic conditions for the loss of stability of a normal glow discharge and its transition to another, more stable form of gas discharge – electric arc – are determined. It is shown that the continuous action of the arc discharge on the surface of the welded parts leads to the melting of the latter, which requires the creation of additional arc extinguishing systems. The possibility of using multielectrode systems with movable anode sections as a means of eliminating the appearance and stabilization of an electric arc on the surface of parts welded is shown.

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

Рекомендована Радою
зварювального факультету
КПІ ім. Ігоря Сікорського

Надійшла до редакції
04 березня 2020 року

Прийнята до публікації
25 червня 2020 року